

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
AGRÓNOMOS Y DE MONTES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA RURAL

TESIS DOCTORAL

“EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LA RECOLECCIÓN
DEL OLIVAR POR VIBRACIÓN”

DOCTORANDO :

Ing. Agr. Gregorio Lorenzo BLANCO ROLDÁN

DIRECTORES :

Dr. Ing. Agr. D. Jesús GIL RIBES

Dr. Ing. Agr. D. Juan AGÜERA VEGA

CÓRDOBA, ENERO DE 2002

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
AGRÓNOMOS Y DE MONTES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA RURAL

TESIS DOCTORAL

“EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LA RECOLECCIÓN
DEL OLIVAR POR VIBRACIÓN”

Tesis Doctoral presentada por Gregorio Lorenzo Blanco Roldán, en satisfacción de los requisitos necesarios para optar al grado de Doctor Ingeniero Agrónomo. Dirigida por los Doctores Jesús Gil Ribes y Juan Agüera Vega, de la Universidad de Córdoba

DOCTORANDO :

Ing. Agr. Gregorio Lorenzo BLANCO ROLDÁN

DIRECTORES :

Dr. Ing. Agr. D. Jesús GIL RIBES

Dr. Ing. Agr. D. Juan AGÜERA VEGA

CÓRDOBA, ENERO DE 2002

Jesús Gil Ribes y Juan Agüera Vega, Profesores Titulares del Departamento de Ingeniería Rural de la Universidad de Córdoba,

INFORMAN:

Que el Ingeniero Agrónomo D. Gregorio Lorenzo Blanco Roldán ha realizado bajo nuestra dirección el trabajo con el título “EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LA RECOLECCIÓN DEL OLIVAR POR VIBRACIÓN”, que presenta en este ejemplar y que constituye su tesis para optar al grado de Doctor Ingeniero Agrónomo, habiéndolo desarrollado satisfactoriamente y logrando los objetivos propuestos.

Y para que conste a los efectos oportunos, en cumplimiento de la legislación vigente, damos conformidad para la presentación de la referida Tesis en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes de Córdoba, firmando el presente informe, en Córdoba a 14 de Enero de 2002.

Fdo.: D. Jesús GIL RIBES

Fdo.: D. Juan AGÜERA VEGA

A mis padres

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar, expresar mi agradecimiento al Plan Nacional de I+D que, a través del Proyecto FEDER 1FD97-AGF1-741 “Evaluación de vibradores”, ha permitido la financiación de este Trabajo.

A las empresas Esteban Morales Ruiz S.L. y Export Agrícola S.L., y en especial a D. Esteban Morales y D. Fernando Morales, por el interés mostrado y por facilitarme en todo momento el trabajo en las instalaciones de sus empresas, y a D. Juan José Hidalgo, por compartir su dilatada experiencia.

A la empresa Oficampo y Agroservicios S.L., y en especial a D. Fernando Fernández, por facilitarme las fincas de ensayo y por estar siempre en disposición de prestar su ayuda.

A D. Jesús Gil Ribes y D. Juan Agüera Vega, directores de esta Tesis, que durante estos años me han aportado su experiencia e inestimable ayuda, me han guiado en la investigación y me han brindado su amistad personal.

A los profesores del Departamento de Ingeniería Rural de la Universidad de Córdoba, D. Juan Barasona, D. Jesús López , D. Juan Fuentes y D. Juan Vicario , por su interés y ayuda durante el desarrollo de este Trabajo, y a D. Francisco León y D. Andrés Conde, por su colaboración continua.

A mis compañeros de la Universidad de Almería, D. Diego Luis Valera y D. Julián Sánchez-Hermosilla, por facilitar en todo momento mi labor docente y por resolver mis dudas.

Al profesor D. Joaquín Gimeno, por su amistad, por su ayuda y por sus consejos.

A mis compañeros, D^a María José Recio, D. Francisco Agrela y D. Sergio Castro, por su ayuda en el trabajo de gabinete, y a D. Rafael Muñoz y D. Karim Kouraba, por compartir tantas horas de ensayos en campo. A D^a María Luisa Barasona y D. Juan Manuel Leal, por su colaboración continua.

A mi hermano Ricardo, porque a pesar de sus ocupaciones, siempre ha estado dispuesto a prestarme su ayuda y consejo.

A mis padres, por su constante apoyo durante el desarrollo de este Trabajo, por haberme comprendido en todo momento y por haber compartido conmigo todos los momentos, sobre todo aquellos en que las cosas no son fáciles.

INDICE

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	I
INDICE DE FIGURAS.....	VIII
INDICE DE TABLAS	XIII
NOMENCLATURA Y SIMBOLOGÍA	XVIII
RESUMEN.....	XXIV
SUMMARY	XXVI
<u>INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN</u>	1
<u>OBJETIVOS</u>	5
<u>ANTECEDENTES</u>	6
1.-INTRODUCCIÓN.....	6
2.- RECOLECCIÓN POR VIBRACIÓN.....	7
3.- COMPORTAMIENTO DEL ÁRBOL FRENTE A LA VIBRACIÓN	10
3.1.- PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA.....	11
3.2.- INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURA DEL ÁRBOL.....	14
3.3.- SUBSISTEMA FRUTO-PEDÚNCULO	17
4.- ESTUDIOS SOBRE LAS TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DEL OLIVAR Y OTROS FRUTALES	20
5.- OTRAS TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN.....	24
6.- COMPORTAMIENTO Y ENSAYO DE LOS VIBRADORES DE MASAS EXCÉNTRICAS.....	28

<u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	35
1.-INTRODUCCIÓN.....	35
2.- PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA MECÁNICO-HIDRÁULICO DE GENERACIÓN DE VIBRACIÓN DE UN VIBRADOR DE INERCIA DE MASAS EXCÉNTRICAS.....	36
2.1.- CIRCUITO HIDRÁULICO	38
2.1.1.- DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO.....	38
2.1.2.- PRINCIPALES PARÁMETROS DE ESTUDIO EN EL CIRCUITO. OBTENCIÓN DEL BALANCE DE POTENCIAS	45
2.2.- SISTEMA MECÁNICO DE GENERACIÓN DE VIBRACIÓN	47
2.2.1.- DESCRIPCIÓN.....	47
2.2.2.- CARACTERÍSTICAS DE LA VIBRACIÓN GENERADA.....	49
2.2.2.1.- CINEMÁTICA DEL VIBRADOR MULTIDIRECCIONAL.....	49
2.2.2.2.- CARACTERIZACIÓN DE LA VIBRACIÓN	53
2.2.3.- PRINCIPALES PARÁMETROS DE ESTUDIO.....	53
2.3.- DISEÑO DE UN MÉTODO DE ENSAYO DE VIBRADORES	60
3.- EQUIPO DE CAPTURA, ALMACENAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	62
3.1.- INTRODUCCIÓN.....	62
3.2.- EQUIPO DE MEDIDA UTILIZADO EN ENSAYOS EN POSTE Y ÁRBOL	63
3.2.1.- SISTEMA DE CAPTURA (SENSORES).....	63
3.2.1.1.- SENSORES DE PRESIÓN.....	63
3.2.1.2.- SENSORES DE CAUDAL	69
3.2.1.3.- SENSORES DE VELOCIDAD DE ROTACIÓN.....	71
3.2.1.4.- SENSORES DE PAR	72
3.2.1.5.- SENSORES DE ACELERACIÓN	76
3.2.2.- SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO.....	79
3.2.2.1.- SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO.VARIANTE 1.....	80
3.2.2.2.- SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO.VARIANTE 2.....	83
3.2.3.- SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	88
3.2.3.1.- TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	89

3.2.3.1.1.- TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS. VARIANTE 1	89
3.2.3.1.2.- TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS. VARIANTE 2.....	89
3.2.3.2.- PROGRAMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	93
3.2.3.3.- ORDENADOR	95
3.2.4.- ANÁLISIS DE DATOS	96
3.2.4.1.- PROGRAMAS INFORMÁTICOS DE VISUALIZACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	97
3.2.4.1.1.- PROGRAMAS DE ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DEL CIRCUITO.....	97
3.2.4.1.2.- PROGRAMAS DE ANÁLISIS DE ACELERACIONES.....	99
3.2.4.2.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO	102
3.2.5.- CALIBRACIÓN	107
3.3.- EQUIPO DE MEDIDA UTILIZADO EN ENSAYOS EN CONDICIONES DE CAMPO	109
3.3.1.- SISTEMA DE CAPTURA.....	110
3.3.2.- SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO Y TRANSMISIÓN DE DATOS.....	111
3.3.3.- SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y ANÁLISIS	114
3.3.3.1.- SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE DATOS	114
3.3.3.2.- ANÁLISIS DE DATOS	115
4.- ENSAYOS	116
4.1.- ENSAYOS DEL CIRCUITO MECÁNICO-HIDRÁULICO DE GENERACIÓN DE VIBRACIÓN	116
4.1.1.- OBJETIVO.....	116
4.1.2.- METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL ENSAYO	117
4.1.3.- ENSAYOS EN POSTE.....	122
4.1.3.1.- DISEÑO EXPERIMENTAL.....	122
4.1.3.2.- DESCRIPCIÓN DE LOS POSTES UTILIZADOS	123

4.1.4.- ENSAYOS EN ÁRBOL.....	126
4.1.4.1.- DISEÑO EXPERIMENTAL.....	127
4.1.4.2.- DESCRIPCIÓN DE LOS ÁRBOLES UTILIZADOS.....	127
4.2.- ENSAYO DE MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS	
VIBRATORIAS	130
4.2.1.- OBJETIVO.....	130
4.2.2.- DISEÑO EXPERIMENTAL.....	130
4.2.2.1.- ELECCIÓN DE COMBINACIONES MECÁNICAS.....	130
4.2.2.2.- ESTABLECIMIENTO DE LAS VARIABLES	
DEL ENSAYO	139
4.2.3.- DESARROLLO DE LOS ENSAYOS.....	140
4.3.- ENSAYO DE UN PROTOTIPO.....	145
4.3.1.- OBJETIVO.....	145
4.3.2.- DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO	145
4.3.2.1.- PRIMERA FASE.....	145
4.3.2.2.- SEGUNDA FASE.....	147
4.3.3.- DISEÑO EXPERIMENTAL.....	147.
4.3.3.1.- PRIMERA FASE.....	148
4.3.3.2.- SEGUNDA FASE.....	149
4.3.4.- DESARROLLO DEL ENSAYO	149
4.3.4.1.- PRIMERA FASE.....	149
4.3.4.2.- SEGUNDA FASE.....	152
4.4.- ENSAYOS EN CONDICIONES REALES DE TRABAJO EN CAMPO	153
4.4.1.- OBJETIVO.....	153
4.4.2.- DISEÑO EXPERIMENTAL.....	153
4.4.3.- DESARROLLO DEL ENSAYO.....	155
5.- MAQUINARIA UTILIZADA EN LOS ENSAYOS	158.

<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	160
1.- OBTENCIÓN DE RESULTADOS	160
2.- ENSAYOS DEL CIRCUITO MECÁNICO-HIDRÁULICO DE GENERACIÓN DE VIBRACIÓN	162
2.1.-RESULTADOS	162
2.1.1.- PARÁMETROS DE ESTUDIO EN EL CIRCUITO. OBTENCIÓN DEL BALANCE DE POTENCIAS.....	162
2.1.1.1.- EVOLUCIÓN TEMPORAL	162
2.1.1.2.- VALORES DE LOS PARÁMETROS. BALANCE DE POTENCIAS	171
2.1.2.- COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA PINZA, POSTE O ÁRBOL.....	174
2.1.2.1.- EVOLUCIÓN TEMPORAL	174
2.1.2.2.- VALORES DE LOS PARÁMETROS	182
2.2.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	184
2.2.1.- INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE ENSAYO	184
2.2.1.1.- EN LA DEMANDA DE POTENCIA AL TRACTOR.....	184
2.2.1.1.1.- ENSAYOS EN ÁRBOLES	184
2.2.1.1.2.- ENSAYOS EN POSTE.....	192
2.2.1.2.- EN LA EFICACIA DE TRANSMISIÓN DE LA VIBRACIÓN.....	196
2.2.1.2.1.- ENSAYOS EN ÁRBOLES	196
2.2.1.2.2.- ENSAYOS EN POSTE.....	205
3.- ENSAYO DE MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS VIBRATORIAS.....	212
3.1.- RESULTADOS	212
3.1.1.- PARÁMETROS DE ESTUDIO. COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA PINZA-ÁRBOL (VIBRACIÓN).....	212
3.1.1.1.- PRIMERA FASE.....	212
3.1.1.2.- SEGUNDA FASE.....	218
3.2.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	221
3.2.1.- RELACIONES ENTRE PARÁMETROS DE ESTUDIO.....	221
3.2.1.1.- PRIMERA FASE.....	221

3.2.1.2.- SEGUNDA FASE.....	224
3.2.2.- INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE ENSAYO.....	225
3.2.2.1.- PRIMERA FASE.....	226
3.2.2.2.- SEGUNDA FASE.....	228
4.- ENSAYO DE UN PROTOTIPO.....	231
4.1.- RESULTADOS.....	231
4.1.1.- PARÁMETROS DE ESTUDIO EN EL CIRCUITO.	
COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA PINZA-POSTE O ÁRBOL	
(VIBRACIÓN).....	231
4.1.1.1.- PRIMERA FASE.....	231
4.1.1.2.- SEGUNDA FASE.....	247
4.2.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	250
4.2.1.- RELACIONES ENTRE PARÁMETROS DE ESTUDIO.	
SEGUNDA FASE.....	250
4.2.2.- INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE ENSAYO.	
SEGUNDA FASE.....	252
5.- ENSAYOS EN CONDICIONES REALES DE TRABAJO EN CAMPO.....	254
5.1.-RESULTADOS.....	254
5.1.1.- PARÁMETROS DE ESTUDIO EN EL CIRCUITO.....	254
5.1.1.1.- EVOLUCIÓN TEMPORAL.....	254
5.1.2.- VALORES DE LOS PARÁMETROS. BALANCE DE	
POTENCIAS.....	266
5.2.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	267
<u>CONCLUSIONES</u>	272
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	275

ANEXOS

ANEXO I . CALIBRACIÓN

ANEXO II . TABLAS DE RESULTADOS DE LOS “ENSAYOS DEL
CIRCUITO MECÁNICO-HIDRÁULICO DE GENERACIÓN DE
VIBRACIÓN”

ANEXO III . TABLAS DE RESULTADOS DE LOS “ENSAYOS EN
CONDICIONES REALES DE TRABAJO EN CAMPO”

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Evolución de la fuerza de desprendimiento en tres variedades.....	18
2. Elementos de un vibrador: cabeza vibradora, estructura soporte y depósito del circuito hidráulico.....	37
3. Cabeza vibradora. Sistema de accionamiento de las masas y vista inferior (doc. Halcón).....	48
4. Sensores de caudal y presión para la medida en la bomba hidráulica.....	67
5. Sensores de caudal y presión para la medida en el motor hidráulico.....	67
6. Sensores de presión para la medida a la entrada del motor y en el cilindro de apriete de la pinza.....	68
7. Sensor de presión para la medida en el cilindro de apriete de la pinza. Detalle.....	68
8. Sensor de par y velocidad angular de la toma de fuerza. Variante 1.....	74
9. Sensor de par y velocidad angular de la toma de fuerza. Variante 2.....	74
10. Medida de la aceleración longitudinal y transversal en la cabeza vibradora. Detalle de la colocación de los acelerómetros.....	77
11. Medida de la aceleración longitudinal y transversal en el árbol.....	77
12. Esquema de un acelerómetro piezoeléctrico.....	78
13. Sistema de acondicionamiento. Variante 1. Ubicación dentro del tractor (de arriba a abajo: “Caja Tractor, módulos de acondicionado y batería de alimentación).....	82
14. Sistema de acondicionamiento. Variante 2. Ubicación dentro del tractor (de arriba a abajo: “Caja acondicionadora”, “Caja Tractor” y batería de alimentación).....	82
15. Sistema de acondicionamiento. Variante 2. Vista interior.....	86
16. Sistema de acondicionamiento. Variante 2. Calibración de los convertidores frecuencia-tensión. Instrumentación utilizada, de izquierda a derecha : osciloscopio digital, generador de funciones, sistema de acondicionamiento y voltímetro.....	86
17. Sistema de adquisición de datos. Variante 1. Ordenador (izquierda), caja de entrada a la tarjeta y acondicionador de acelerómetros (derecha).....	90

18. Sistema de adquisición de datos. Variante 2. Ordenador portátil, caja de entrada a la tarjeta (izquierda) y acondicionador de acelerómetros (derecha)	90
19. Programa de adquisición de datos.....	95
20. Programas de análisis de los parámetros del circuito mecánico-hidráulico de generación de vibración.....	98
21. Programas de análisis de las aceleraciones	101
22. Esquema del equipio de medida en ensayos en condiciones de campo (Sánchez-Hermosilla, 1997)	109
23. Sistema de acondicionamiento y transmisión de datos : “Datalogger” (izquierda) y unidad de alimentación y telemetría (derecha).....	111
24. Ubicación de los acelerómetros en la cabeza vibradora	120
25. Ubicación de los acelerómetros en el poste	120
26. Poste móvil diseñado para el ensayo de vibraciones	125
27. Poste móvil. Detalle de la unión tubo de acero-base.....	125
28. Estrellas de vibración teóricas para $n = 24.64$ y $F_o = 0, 0.3$ y 0.6	138
29. Obtención de la fuerza de retención del fruto	143
30. Finca de ensayo.....	143
31. Masa excéntrica y polea utilizada en los ensayos.....	144
32. Pinzas utilizadas en los ensayos. Segunda fase.	144
33. Segunda fase del prototipo	148
34. Par y velocidad angular de la tdf.....	163
35. Presión a la salida de la bomba, caudal a la salida de la bomba y caudal después del distribuidor de vibración (caudal S.B.d).....	164
36. Presión a la entrada del motor (Presión motor), presión a la salida del motor (trazo verde), caudal del motor	165
37. Velocidad angular de la polea accionada por el motor hidráulico	166
38. Presión de apriete del cilindro hidráulico de la pinza	167
39. Parámetros de estudio en el circuito. Ensayo en poste móvil (Bloque HALCON 7, 2200 rpm del motor del tractor, altura de agarre 0.8 m).....	168

40. Potencias en el circuito hidráulico del vibrador. Ensayo en poste móvil (Bloque HALCON 7, altura de agarre 0.8 m, revoluciones del motor 1600 rpm, gráfico superior, y 2200 rpm, gráfico inferior)	169
41. Parámetros de estudio en el circuito. Ensayo en árbol.....	170
42. Aceleraciones longitudinal (X) y transversal (Y) en la cabeza vibradora.....	174
43. Aceleraciones longitudinal (X) y transversal (Y) en el poste. Espectros de frecuencias	175
44. Aceleraciones longitudinal (X) y transversal (Y) en la parte posterior de la cabeza vibradora.....	175
45. Estrella de vibración (superior: 0.4 segundos; inferior: 0.7 segundos)	176
46. Espectros de frecuencia(izquierda: cabeza vibradora; derecha: poste)	177
47. Aceleraciones longitudinal (X) y transversal (Y) en la cabeza vibradora y en árbol. Espectros de frecuencias. Ensayo con vibración multidireccional	178
48. Aceleraciones longitudinal (X) y transversal (Y) en la cabeza vibradora y en árbol. Espectros de frecuencias. Ensayo con vibración orbital.....	179
49. Vibración orbital: detalle de las aceleraciones longitudinal y transversal durante el régimen permanente. Diagramas de vibración	180
50. Vibración multidireccional: detalle de las aceleraciones longitudinal y transversal durante el régimen permanente	180
51. Formación de la “estrella de vibración”	181
52. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de la Ntdf demandada en función del diámetro del tronco del árbol. Ensayos ÁRBOL	186
53. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de la Ntdf demandada en función de las revoluciones del motor del tractor. Ensayos ÁRBOL 1.....	187
54. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de la Ntdf demandada en función del diámetro del tronco del árbol. Ensayos ÁRBOL 2	189
55. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de la Ntdf demandada en función de la altura de agarre de la pinza en el árbol. Ensayos ÁRBOL 2.....	190

56. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de la Ntdf demandada en función de las revoluciones del motor del tractor. Ensayos ÁRBOL 2.....	191
57. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de la Ntdf demandada en función de la altura de agarre de la pinza en el árbol. Ensayos en poste normalizado	193
58. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de la Ntdf demandada en función de las revoluciones del motor del tractor. Ensayos en poste normalizado.....	194
59. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de la Nm en función de la altura de agarre de la pinza en el árbol. Ensayos en poste móvil	195
60. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de Em, Aef,p y Aef,a. Ensayos ARBOL 1	198
61. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de Em en función de la altura de agarre de la pinza en el árbol. Ensayos ARBOL 2	200
62. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de Aef,p. Ensayos ARBOL 2	202
63. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de Aef,a. Ensayos ARBOL 2	204
64. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de Em, Aef,p y Aef,a. Ensayos en poste normalizado	208
65. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de Aef,t. Ensayos en poste móvil	211
66. Ensayo de un prototipo. Caudales y presiones en los dos motores hidráulicos (prueba con acople en Serie y mismo sentido de giro).....	236
67. Ensayo de un prototipo. Caudal y presión en el motor hidráulico 2 (prueba con acople	238
en Serie, sentido contrario de giro y punto de regulador 1.5)	
68. Ensayo de un prototipo. Presión de apriete de la pinza (prueba con acople en Serie, sentido contrario de giro y punto de regulador 1.5)	240
69. Ensayo de un prototipo. Aceleraciones longitudinal y transversal en cabeza vibradora y poste. Espectro de frecuencias (prueba con acople en Serie, mismo sentido de giro y punto de regulador 10)	243

70. Ensayo de un prototipo. Aceleraciones longitudinal y transversal en cabeza vibradora y poste. Espectro de frecuencias (prueba con acople en Serie, distinto sentido de giro y punto del regulador 1.5).....	246
71. Porcentajes de derribo obtenidos con dos cabezas vibradoras. Ensayo de un prototipo. Segunda fase.....	253
72. Caudal a la salida de la bomba (Qsb). Ensayo en condiciones reales de trabajo en campo: a) Descripción general (superior); b) Detalle del vibrado de un pie (inferior).....	255
73. Revolución del motor del tractor (RPM). Ensayo en condiciones reales de trabajo en campo: a) Descripción general (superior); b) Detalle del vibrado de un pie (inferior).....	256
74. Consumo acumulado de combustibles. Ensayo en condiciones reales de trabajo en campo.....	257
75. Presión en el cilindro hidráulico de apriete de la pinza (Pap). Ensayo en condiciones reales de trabajo en campo: a) Descripción general (superior); b) Detalle del vibrado de un pie (inferior).....	258
76. Caudal del motor hidráulico (Qm). Ensayo en condiciones reales de trabajo en campo: a) Descripción general (superior); b) Detalle del vibrado de un pie (inferior).....	259
77. Presión a la salida de la bomba (Psb). Ensayo en condiciones reales de trabajo en campo: a) Descripción general (superior); b) Detalle del vibrado de un pie (inferior).....	260
78. Presión del motor hidráulico (Pm). Ensayo en condiciones reales de trabajo en campo: a) Descripción general (superior); b) Detalle del vibrado de un pie (inferior).....	261
79. Velocidad angular de la polea accionada por el motor hidráulico (RPMmh). Ensayo en condiciones reales de trabajo en campo: a) Descripción general (superior); b) Detalle del vibrado de un pie (inferior).....	262
80. Aceleración longitudinal en la pinza (A1). Ensayo en condiciones reales de trabajo en campo: a) Descripción general (superior); b) Detalle del vibrado de un pie (inferior).....	263
81. Par en la tdf (Mtdf). Ensayo en condiciones reales de trabajo en campo: a) Descripción general (superior); b) Detalle del vibrado de un pie (inferior).....	264

ÍNDICE DE TABLAS

1. Características de los árboles y la vibración	8
2. Propiedades mecánicas de la madera de olivo	13
3. Principales parámetros que definen el circuito hidráulico del vibrador	45
4. Sensores de presión.....	64
5. Sensores de caudal (se referencian las medidas que se han realizado con cada uno, ordenándolas cronológicamente: 1 ^a , 2 ^a y 3 ^a etapa).....	69
6. Acelerómetros utilizados en los ensayos	79
7. Acondicionado de sensores	80
8 .Sistema de Acondicionamiento Miniatura MCS-1. Módulos acondicionadores y canales de medida	81
9. Sistema de acondicionamiento. Variante 2. Módulos acondicionadores y canales de medida	84
10. Medidas con el Equipo de Ensayo en Campo y tarjetas acondicionadoras empleadas	112
11. Ensayos del circuito mecánico-hidráulico de generación de vibración.....	117
12. Ensayos del circuito mecánico-hidráulico de generación de vibración. Ensayos en postes	122
13. Ensayos del circuito mecánico-hidráulico de generación de vibración. Ensayos en árboles.....	126
14. Descripción de los árboles del bloque de ensayos ÁRBOL.....	128
15. Descripción de los árboles del bloque de ensayos ÁRBOL 1	128
16. Descripción de los árboles del bloque de ensayos ÁRBOL 2.....	129
17. Diámetros de las poleas utilizadas en el ensayo	135
18. Combinaciones mecánicas	137
19. Sensores utilizados en el ensayo del prototipo	151
20. Ensayos HALCÓN 7. Valores de los parámetros de estudio en el circuito	172
21. Ensayos HALCÓN 7. Balance de potencias.....	173

22. Ensayos HALCÓN 7. Aceleraciones, frecuencias y eficacia de transmisión de la vibración.....	183
23. Tabla ANOVA multifactorial para la potencia demandada en la tdf (Ntdf). Ensayos ÁRBOL	184
24. Contraste de rango múltiple para la potencia demandada en la tdf (Ntdf) en función del diámetro del tronco del árbol (Árbol). Prueba LSD de Fisher. Ensayos Árbol.....	185
25. Tabla ANOVA multifactorial para la potencia demandada en la tdf (Ntdf). Ensayos ÁRBOL 1	186
26. Contraste de rango múltiple para la potencia demandada en la tdf (Ntdf) en función de las revoluciones del motor del tractor (RPMm). Prueba LSD de Fisher. Ensayos ÁRBOL 1	187
27. Tabla ANOVA multifactorial para la potencia demandada en la tdf (Ntdf). Ensayos ÁRBOL 2	188
28. Contraste de rango múltiple para la potencia demandada en la tdf (Ntdf) en función del diámetro del tronco del árbol (Árbol). Prueba LSD de Fisher. Ensayos ÁRBOL 2	188
29. Contraste de rango múltiple para la potencia demandada en la tdf (Ntdf) en función de la altura de agarre (Hag). Prueba LSD de Fisher. Ensayos ÁRBOL 2	189
30. Contraste de rango múltiple para la potencia demandada en la tdf (Ntdf) en función de las revoluciones del motor del tractor (RPMm). Prueba LSD de Fisher. Ensayos ÁRBOL 2	190
31. Tabla ANOVA multifactorial para la potencia demandada en la tdf (Ntdf). Ensayos en poste normalizado	192
32. Contraste de rango múltiple para la potencia demandada en la tdf (Ntdf) en función de la altura de agarre (Hag). Prueba LSD de Fisher. Ensayos en poste normalizado.....	192
33. Contraste de rango múltiple para la potencia demandada en la tdf (Ntdf) en función de las revoluciones del motor del tractor (RPMm). Prueba LSD de Fisher. Ensayos en poste normalizado	193

34. Tabla ANOVA multifactorial para la potencia del motor hidráulico (Nm). Ensayos en poste móvil	194
35. Contraste de rango múltiple para la potencia del motor hidráulico (Nm) en función de la altura de agarre (Hag). Prueba LSD de Fisher. Ensayos en poste móvil.....	195
36. Tabla ANOVA multifactorial para Em,Aef,p y Aef,a. Ensayos ARBOL 1	196
37. Contraste de rango múltiple para Em,Aef,p y Aef,a. Prueba LSD de Fisher. Ensayos ÁRBOL 1	197
38. Tabla ANOVA multifactorial para Em,Aef,p y Aef,a. Ensayos ARBOL 2.....	200
39. Contraste de rango múltiple para Em,Aef,p y Aef,a en función de la altura de agarre (Hagarre). Prueba LSD de Fisher. Ensayos ARBOL 2.....	200
40. Tabla ANOVA multifactorial para Aef,p. Ensayos ARBOL 2	201
41. Contraste de rango múltiple para Aef,p. Prueba LSD de Fisher. Ensayos ARBOL 2	201
42. Tabla ANOVA multifactorial para Aef,a. Ensayos ARBOL 2	202
43. Contraste de rango múltiple para Aef,a. Prueba LSD de Fisher. Ensayos ARBOL 2	203
44. Tabla ANOVA multifactorial para Em,Aef,p y Aef,a. Ensayos en poste normalizado	205
45. Contraste de rango múltiple para Em,Aef,p y Aef,a. Prueba LSD de Fisher. Ensayos en poste normalizado	206
46. Tabla ANOVA multifactorial para Em,Aef,p, Aef,a, Em t-p y Aef,t. Ensayos en poste móvil	210
47. Contraste de rango múltiple para Aef,t. Prueba LSD de Fisher. Ensayos en poste móvil	211
48. Ensayos de modificación de las características vibratorias. Primera fase. Valores de los parámetros de estudio en el circuito.....	213
49. Ensayos de modificación de características vibratorias. Primera fase. Aceleraciones, frecuencias y eficacia de la transmisión de la vibración.....	215
50. Ensayos de modificación de características vibratorias. Primera fase. Fuerza de retención del fruto (antes de la vibración, FRa, y después, FRd) y porcentaje de derribo (PD).....	217

51. Ensayos de modificación de características vibratorias. Segunda fase. Valores de los parámetros de estudio en el circuito.....	219
52. Ensayos de modificación de características vibratorias. Segunda fase. Aceleraciones, frecuencias y eficacia de la transmisión de la vibración.....	220
53. Ensayos de modificación de características vibratorias. Segunda fase. Fuerza de retención del fruto (antes de la vibración, FRa, y después, FRd) y porcentaje de derribo (PD).....	221
54. Tabla ANOVA I para el porcentaje de derribo (PD) en función de la combinación mecánica (C). Primera fase.....	226
55. Prueba HSD de Tukey para el estudio del porcentaje de derribo (PD) en función de la combinación mecánica (C). Primera fase.....	227
56. Comprobación de la hipótesis de normalidad para el estudio del porcentaje de derribo (PD) en función de la combinación mecánica (C). Segunda fase.....	229
57. Prueba “H” de Kruskal-Wallis para el estudio del porcentaje de derribo (PD) en función de la combinación mecánica (C). Segunda fase.....	229
58. Prueba “U” de Mann-Whitney para el estudio del porcentaje de derribo (PD) en función de la combinación mecánica (C). Segunda fase.....	230
59. Ensayos de un prototipo. Primera fase. Valores de los parámetros de estudio en el circuito	232
60. Ensayo de un prototipo. Primera fase. Valores máximos de potencias.....	242
61. Ensayo de un prototipo. Primera fase. Aceleraciones y frecuencias	244
62. Ensayo de un prototipo. Segunda fase. Valores de los parámetros de estudio en el circuito	248
63. Ensayo de un prototipo. Segunda fase. Aceleraciones, frecuencias y eficacia de la transmisión de la vibración	249
64. Ensayo de un prototipo. Segunda fase. Fuerza de retención del fruto (antes de la vibración, FRa, y después, FRd) y porcentaje de derribo (PD)	250
65. Comprobación de la hipótesis de normalidad para el estudio del porcentaje de derribo (PD) en función de la cabeza vibradora. Ensayo de un prototipo. Segunda fase	252

66. Tabla ANOVA I para el porcentaje de derribo (PD) en función de la cabeza vibradora. Ensayo de un prototipo. Segunda fase	253
67. Medias de los valores medios y máximos de los parámetros medidos en los ensayos en condiciones de campo.....	269
68. Análisis de tiempos.....	269
69. Consumos de combustible	270
70. Potencias y rendimientos en el circuito	271

NOMENCLATURA Y SIMBOLOGÍA.

2ⁿ: Potencia de dos.

A/D: Transformación analógico/digital.

A1: Aceleración eficaz de la cabeza vibradora en dirección longitudinal o X (Ensayos en condiciones reales de trabajo en campo).

A2: Aceleración eficaz de la cabeza vibradora en dirección transversal o Y (Ensayos en condiciones reales de trabajo en campo).

Aef,a: Aceleración eficaz del árbol o poste en el régimen permanente de la vibración.

Aef,p: Aceleración eficaz de la cabeza vibradora en el régimen permanente de la vibración.

Aef,t: Aceleración eficaz de la cabeza vibradora, medida en un punto en la parte posterior, en el régimen permanente de la vibración.

ANOVA, ANVAR: Análisis de la Varianza.

a₀, a_k, b_k: Coeficientes de la serie de Fourier.

aprox.: Abreviatura de aproximadamente.

C: Combinación mecánica.

Ca: Consumo de combustible durante el tiempo de apriete Ta.

Caf: Consumo de combustible correspondiente al tiempo final de apriete Taf.

Cai: Consumo de combustible correspondiente al tiempo inicial de apriete Tai.

Cep: Consumo de combustible durante el tiempo de desplazamiento entre pies Tep.

cdg: Centro de gravedad.

CH: Canal en una tarjeta de adquisición de datos.

Comb.: Abreviatura de combinación mecánica (en Tablas).

Cv: Consumo de combustible durante el tiempo de vibración Tv.

CETOP: Comité Europeo de Transmisiones Oleohidráulicas y Neumáticas.

D₁: Diámetro de la polea que soporta la masa excéntrica m₁.

D₂: Diámetro de la polea que soporta la masa excéntrica m₂.

DFT: Transformada Discreta de Fourier.

DI: Entrada digital.

D_m : Diámetro de la polea accionada por el motor hidráulico.
 DMA: Acceso Directo a Memoria.
 DO: Salida digital.
 D_p : Estadístico de contraste de la prueba HSD de Tukey.
 D_t : Valor crítico de la prueba HSD de Tukey.
 D_{tronco} : Diámetro del tronco del árbol.
 E.M.: A la entrada del motor (referido a caudal o presión).
 Em t-p: Eficacia de la transmisión de la vibración cabeza vibradora (cdg) – cabeza vibradora (punto en la parte posterior).
 Em: Eficacia de la transmisión de la vibración.
 F.E.: Fondo de Escala.
 F/V: Convertidor frecuencia/voltaje.
 f: frecuencia.
 F: Fuerza resultante de F_x y F_y .
 F_1, F_2 : Fuerzas centrífugas generadas en el movimiento de las masas excéntricas m_1 y m_2 , respectivamente.
 F_{ef} : Valor eficaz de la fuerza resultante F.
 FFT: Transformada Rápida de Fourier.
 $F_{máx}$: Valor máximo de F.
 $F_{mín}$: Valor mínimo de F.
 F_O : Factor de Orbitalidad.
 FR: Fuerza de Retención del fruto.
 Fra, FRd: Fuerzas de Retención del fruto antes y después de vibrar, respectivamente.
 F_x, F_y : Fuerzas centrífugas generadas en el movimiento de las masas excéntricas m_1 y m_2 , respectivamente, según los ejes cartesianos.
 g: aceleración de la gravedad.
 H_1 : Hipótesis alternativa en un contraste estadístico.
 Hag: Altura de agarre de la pinza sobre el tronco del árbol o poste.
 h_{cruz} : Altura de la cruz del árbol.
 H_o : Hipótesis nula en un contraste estadístico.

H_p : Estadístico de contraste de la prueba "H" de Kruskal-Wallis.

H_t : Valor crítico de la prueba "H" de Kruskal-Wallis.

ICP: Sensor con electrónica incorporada.

ISO: Organización Internacional de Normalización.

LGP: Lenguaje Gráfico de Programación.

m_1, m_2 : Masas excéntricas de un vibrador de inercia.

máx.: Abreviatura de máximo.

mín.: Abreviatura de mínimo.

Mtdf: Par en la toma de fuerza.

N: Número de muestras de una serie temporal discreta.

n: número de puntas de la "estrella de vibración".

Nb: Potencia hidráulica suministrada por la bomba.

Nm: Potencia hidráulica recibida por el motor.

Ntdf: Potencia mecánica demandada al motor de la unidad tractora a través de la toma de fuerza.

P: Presión.

PD: Porcentaje de Derribo de frutos.

PGA: Amplificador de Ganancia Programable.

PM: Potencia en el motor hidráulico (Ensayos de modificación de características vibratorias).

Pm: Presión a la entrada del motor.

Pm1: Presión a la entrada del motor hidráulico 1 (Ensayo de un prototipo, primera fase).

Pm2: Presión a la entrada del motor hidráulico 2 (Ensayo de un prototipo, primera fase).

Pret: Presión a la salida del motor.

Psb: Presión a la salida de la bomba.

PTD: Potencia demandada al tractor en la tdf (Ensayos de modificación de características vibratorias).

Q: Caudal.

Qm: Caudal (a la salida) del motor.

Qm1: Caudal a la salida del motor hidráulico 1 (Ensayo de un prototipo, primera fase).

Qm2: Caudal a la salida del motor hidráulico 2 (Ensayo de un prototipo, primera fase).

Qsb: Caudal a la salida de la bomba.

Qsbd: Caudal a la salida de la bomba después del distribuidor de vibración.

r, $r_{x,y}$: coeficiente de correlación de la muestra.

r_1, r_2 : Radios de excentricidad de las masas excéntricas m_1 y m_2 , respectivamente.

r^2 : Coeficiente de determinación de la muestra.

Ramas: Número de ramas principales del árbol.

RMS: Valor eficaz.

RPMm: Velocidad de giro del motor del tractor.

RPMmh1: Velocidad de giro de la polea accionada por el motor hidráulico 1 (Ensayo de un prototipo, primera fase).

RPMmh: Velocidad de giro de la polea accionada por el motor hidráulico.

RPMtdf: Velocidad de giro de la toma de fuerza.

r_t : Valor crítico de la prueba de Significación del Coeficiente de Correlación.

S.B.d.: A la salida de la bomba después del distribuidor de vibración (referido al caudal).

SAD: Sistema de Adquisición de Datos.

T: (1) Tiempo para que se formen las “n” puntas de una "estrella de vibración".
(2) Intervalo de tiempo considerado.
(3) Período de una señal temporal.

t: Tiempo.

Ta: Tiempo de apriete.

Taf: Tiempo final de apriete.

Tai: Tiempo inicial de apriete.

tdf: Toma de fuerza.

TDVT: Transformador diferencial de variación torsional.

Tep a-a: Tiempo de desplazamiento entre pies de distinto árbol (paso árbol-árbol).

Tep p-p: Tiempo de desplazamiento entre pies de un mismo árbol (paso pie-pie).

Tep: Tiempo de desplazamiento entre pies.

Tpie: Tiempo empleado en cada pie.

Tv: Tiempo de vibración.

Tvf: Tiempo final de vibración.

T_{vi}: Tiempo inicial de vibración.

u: Relación de diámetros de la polea motriz y de la polea que soporta la masa m_1 .

UHF: Ultra Alta Frecuencia.

v: Relación de diámetros de la polea motriz y de la polea que soporta la masa m_2 .

VIB: Vibración.

W_p: Estadístico de contraste de la prueba "W" de Shapiro-Wilk.

W_p: Valor crítico de la prueba "W" de Shapiro-Wilk.

x(t), X(t): Función temporal.

X: Dirección longitudinal, según eje homónimo del tractor

X₁, X₂, ..., X_p: Medias muestrales.

X_p, X_a, X_t: (1) Aceleración eficaz de la cabeza vibradora (X_p), del árbol o poste (X_a), o de la cabeza vibradora (medida en un punto en la parte posterior) (X_t), en el régimen permanente de la vibración en dirección longitudinal o X.

(2) Precedido de las palabras "Aceleración" o "Frecuencia", o referido a estos conceptos, indica la representación en el dominio del tiempo o de la frecuencia, de la señal de aceleración medida en la cabeza vibradora, árbol o poste, o cabeza vibradora (parte posterior), según la dirección X..

x_{ef}: Valor eficaz o RMS de una vibración.

Y: Dirección transversal.

Y_p, Y_a, Y_t: (1) Aceleración eficaz de la cabeza vibradora (Y_p), del árbol o poste (Y_a), o de la cabeza vibradora (medida en un punto en la parte posterior) (Y_t), en el régimen permanente de la vibración en dirección transversal o Y.

(2) Precedido de las palabras "Aceleración" o "Frecuencia", o referido a estos conceptos, indica la representación en el dominio del tiempo o de la frecuencia, de la señal de aceleración medida en la cabeza vibradora, árbol o poste, o cabeza vibradora (parte posterior), según la dirección Y..

Z: Transformada de Fisher.

α : ángulo entre dos puntas contiguas de la “estrella de vibración”.

$\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p$: Medias poblacionales.

τ : tiempo entre la formación de dos puntas consecutivas de la “estrella de vibración”.

ω_1, ω_2 : Velocidades angulares de las masas excéntricas m_1 y m_2 , respectivamente.

ω_m : Velocidad angular de la polea accionada por el motor hidráulico (polea motriz).

ω_{tdf} : Velocidad angular de la tdf

RESUMEN

En este trabajo se aborda la mejora de las máquinas de derribo por vibración de la aceituna, que es el único método viable para la recolección mecanizada en la mayor parte de nuestro olivar. La consecución de elevados porcentajes de desprendimiento es clave en los costes de recolección y en la calidad del aceite, por la necesidad de separar la aceituna del árbol de la caída al suelo. Esto conlleva especiales dificultades cuando no ha madurado la aceituna si se adelanta la época de recolección o en el verdeo.

Para mejorar una máquina hay que conocer su funcionamiento y ensayarla en condiciones reales de trabajo, por ello hemos desarrollado una metodología de ensayo válida para investigación y para su transferencia a los fabricantes basada en un sistema electrónico de medida compuesto por un PC portátil con una tarjeta de adquisición de datos de 32 canales y su soporte lógico para la adquisición y análisis de datos a alta velocidad incluyendo el análisis espectral de las señales dinámicas.

A este sistema se le acoplan diversos sensores para caracterizar el comportamiento del conjunto tractor-vibrador-árbol: potencia en la toma de fuerza (par y revoluciones), potencia hidráulica en la bomba y motor (caudal y presión), presión de apriete, velocidad de giro de las masas excéntricas que generan la vibración, aceleración en la pinza y en el tronco.

Este equipo se ha aplicado a postes de ensayo (construidos según la prenorma existente), árboles y a un poste móvil que se ha desarrollado para su aplicación en fábricas, buscando analizar las frecuencias más adecuadas, el efecto de la altura de agarre, el tipo de vibración más conveniente (multidireccional, orbital o una combinación de ambos), el efecto de los cambios en el circuito hidráulico, etc. . Igualmente se ha usado en olivos de uno y varios pies para estudiar la incidencia del tipo de árbol y vibración en la eficacia de derribo y en la transmisión de la vibración entre la pinza y el tronco y en el árbol.

Para conocer el comportamiento de los vibradores en condiciones reales de trabajo en campo, se ha modificado la estructura del sistema de toma de datos, para permitir un uso sin interferir en la operación. Para ello se ha sustituido el equipo de adquisición por un “datalogger” embarcado en el tractor y dotado de un sistema de telemetría capaz de enviar a distancia la información de los sensores. Se ha eliminado la medida de la vibración en el tronco y se le han añadido nuevos captadores como los de consumo de gasoil. La frecuencia de toma de datos de este equipo es más lenta pero suficiente para caracterizar los tiempos de operación (desplazamientos, maniobra, agarre y vibración) y el funcionamiento y requerimientos de potencia de las máquinas.

La aplicación de ambos sistemas en fábrica y campo ha permitido el ensayo y mejora de diversos equipos comerciales, la realización de modificaciones en sus circuitos hidráulicos y la propuesta de nuevos equipos que están pasando de prototipo a la fase de fabricación. Por otra parte su uso en olivar ha permitido conocer que vibración es más adecuada y la incidencia del tipo de árbol en la obtención de porcentajes elevados de derribo y ha mostrado la necesidad de mejorar la organización del trabajo de recolección para aprovechar al máximo la capacidad de recolección de estas máquinas.

Palabras claves: olivar, recolección, derribo, vibración, instrumentación, ensayo, daños.

SUMMARY

SUMMARY

The improvement of shaker machines used to remove olives from the tree is approached in this work. At the present, these machines represent the only way for the olive mechanically harvesting on most of our orchards. A key to get low harvesting costs and a good olive oil quality is to obtain a high proportion of removed olives, since it is necessary to process separately olives from the soil, naturally fallen, and olives directly taken from the tree. This is especially difficult when the fruits are not mature, when the harvesting come early or when the olives are destined to preserve.

In order to improve a machine, it is essential to know how it operates as well as to test it in real field conditions. In this way, a test methodology, that is valid both for researchers and to transfer to manufacturers, has been developed. It is based on an electronic measurement system that includes a laptop equipped with a 32-channels acquisition data card as well as the necessary high-speed acquisition and analysis software that make possible, amongst others things, the study of the spectrum of dynamic signals.

A set of sensors was attached to that system in order to characterize the whole tractor-machine-tree behavior. Measured parameters include: Power at the PTO (torque and speed), hydraulic power both at the pump and at the motor (flow and pressure), pressure at the attachment clamp cylinder, rotating speed of the eccentrics masses generating the vibration, and accelerations both at the vibrating head and at the tree.

The developed methodology has been applied to machines shaking olive-trees as well as artificial test-trunks; one of them was built following a standard still in progress, and another was a portable artificial trunk to use in factories. The aim was to found the most suitable frequencies and kind of vibration (multidirectional, orbital or a combination of both), as well as to analyze the effects of the link height to the trunk and some changes of the hydraulic circuit of the machines. Also, olive trees with one and more than one trunks were tested, searching to know how the kind of tree and the applied vibration influence the removing efficiency and the transmission of the vibration from the vibrating head to the tree.

A modification of that methodology was introduced in order to obtain data from shaker machines working in real field conditions, with no disturbance on the operation. In this way, the data acquisition system was replaced for an on board datalogger equipped with telemetry system, allowing the transmission of the information from the sensors to the laptop with no cables. Thus, registering and visualizing data in real-time were possible. Measure of the vibration on the trees was suppressed but other sensors as fuel consumption were introduced. The data acquisition velocity was lower in this way, but good enough to characterize the operation times (movement on the field, maneuver, linkage, and vibration), as well as the operation and power requirement of the machines.

The use of the described methodologies on shaker machines, both in factory and in field tests, led to the improvement of commercial equipment by introducing some modifications on its hydraulic circuit. Also a new prototype is being manufactured. On the other hand, tests in real field conditions have permitted to know the most appropriate kind of vibration and the influence of the tree on the proportion of removed olives. These trials showed too that a good organization of the harvester works is essential in order to take advantage of the great harvesting capacity of these machines.

Key words: olive tree, harvesting, olive removing, vibration, instrumentation, test, damage.

INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

La importancia del olivar en España, 2.300.00 ha, y en Andalucía 1.400.00 ha y el 80% de la producción, centrada especialmente en las provincias de Jaén y Córdoba, donde el olivar supone hasta un 40% de la tierra cultivada, está fuera de toda duda. La mecanización de su recolección es el principal problema con el que se encuentran nuestras explotaciones, que supone entre el 30 y el 50% del coste total de la producción, dependiendo en gran medida el futuro de este sector del hallazgo de soluciones satisfactorias al respecto.

Los métodos tradicionales de recolección de aceituna son: la recogida del suelo, el ordeño y el vareo. El primero consiste en esperar a que los frutos caigan de una manera natural, a medida que maduran, y posteriormente recogerlos del suelo en una o varias pasadas. Este método presenta grandes inconvenientes en cuanto a la calidad del aceite (excesiva acidez) y tiene además una incidencia demasiado alta en el precio del producto. El ordeño es el sistema empleado en la recolección de aceituna de mesa, pero su coste actual es prohibitivo.

El vareo es el método más extendido en el olivar de almazara; el operario, provisto de una vara cuya longitud oscila, según zonas, desde uno a tres e incluso cuatro metros, golpea los ramones del árbol procurando que el golpe incida lateralmente a las zonas fructíferas con el fin de no causar daño en ellas. El fruto derribado se recoge en lienzos o mallas extendidas bajo los olivos para su posterior carga y transporte. El inconveniente del sistema es su coste por la elevada necesidad de mano de obra y el daño a la cosecha del año siguiente por el castigo a que se someten las ramas del olivo.

La mecanización del olivar reduce los costes de explotación y puede ayudar a conseguir una mayor calidad del aceite. Supone un aumento de la productividad de la mano de obra y una mayor oportunidad en la realización de los trabajos. La reducción de costes sólo se consigue si adaptamos el cultivo a los equipos a utilizar, realizamos una buena organización del trabajo y tenemos una producción suficiente (Barasona et al., 1999).

El deseo de los olivaderos sería que existiese un equipo integral de recolección de aceituna que hiciese todas o casi todas las operaciones. Esto sólo es posible en plantaciones de un solo pie y cuando no hay un porcentaje elevado de aceituna caída. La situación actual es tratar de mecanizar independientemente cada una de las operaciones o tareas en las que se descompone la recolección, dependiendo las operaciones a efectuar de la época en la que se realice.

Si la recolección se hace al principio de la campaña, cuando el porcentaje de la aceituna caída es pequeño, las operaciones a mecanizar son: derribo, recogida de la aceituna del suelo, movimiento de mallas, y separación de ramón grueso y carga; y si se hace cuando el porcentaje de aceituna caída es grande son: derribo, recogida de la aceituna del suelo, y separación de ramón grueso y carga.

La duración de la campaña viene limitada porque el principio debe coincidir con el momento en que se haya formado todo el aceite y el final cuando la caída natural alcance un porcentaje apreciable. A pesar de la diversidad del olivar, con plantaciones de uno o varios pies, tradicionales, intensivos y superintensivos, y con diferentes producciones por árbol, se pueden dar unas reglas generales sobre la recolección:

- 1) Para conseguir calidad de aceite hay que separar la aceituna del vuelo de la caída en el suelo y llevar los frutos lo más limpios posible a la almazara.
- 2) Hay que asumir que puede ser más rentable, y menos dañino para el árbol, la pérdida de un pequeño porcentaje de cosecha que su agotamiento.
- 3) Los olivos de un solo pie con troncos de suficiente altura son los más adecuados para la recolección mecanizada y los únicos para la integral.

En estos momentos, el método de recolección mecanizado que ha alcanzado una difusión apreciable en España, es el de derribar las aceitunas con vibradores de troncos y completar el trabajo con una cuadrilla de 6-8 operarios que colocan las mallas bajo los

olivos, recogen las aceitunas y las echan a una pala para su posterior volcado a remolque (Gil y López, 2001). El uso de vibradores de mochila de ramas tiene severos inconvenientes por su menor capacidad de trabajo y los altos niveles de vibración que soportan sus operarios (Vicario et al., 2001).

La necesidad de mecanización del olivar por la falta de mano de obra y lograr una mejor oportunidad en la recolección, está conduciendo al desarrollo de diversos vibradores, por distintas casas de maquinaria, con un alto grado de empirismo, en muchos casos, y sin que se tengan datos contrastados y fiables de las potencias y requerimientos que demandan de las unidades de tracción, ni de las frecuencias y amplitudes de vibración que generan, ni de sus resultados prácticos. Esto lleva a frecuentes errores en su utilización y a disminuir los posibles beneficios de su empleo y a correr riesgos innecesarios con las plantaciones.

La utilización de vibradores para el desprendimiento de aceitunas, a pesar de llevar más de veinte años utilizándose en nuestros olivos, está lejos de resolver el problema del derribo y de la prevención de daños al árbol, especialmente en los olivos tradicionales de varios pies y sometidos a podas severas de rejuvenecimiento, que suponen la inmensa mayoría en las zonas productivas de Jaén y Córdoba. Este problema se agudiza al extender el uso de este tipo de máquinas al verdeo con frutos con mayor fuerza de retención y con árboles más sensibles a los daños.

A pesar de las mejoras, los sistemas mecánicos e hidráulicos de los vibradores demandan una gran potencia y peso del tractor, esto los encarece y obliga al uso de tractores grandes y caros, lo que limita enormemente la viabilidad económica del sistema. Cualquier mejora en el diseño de los equipos que alivie esta situación será clave para la reducción de costes. Por otra parte, la capacidad para desarrollar frecuencias y amplitudes de vibración adecuadas y de reducir los daños, mejorando los sistemas de agarre y limitando las amplitudes en los períodos de arranque y parada es uno de los aspectos claves en la mejora y evaluación de los equipos a fabricar lo que exige disponer de equipos de medida y ensayo adecuados.

La mejora del sistema de recolección por vibración es fundamental por la incidencia que tiene en el beneficio de la explotación, en la calidad del producto y la necesidad de prevenir y evaluar sus posibles daños al árbol, lo que constituye una de las principales inquietudes de los olivareros sobre todo en las plantaciones en goteo.

OBJETIVOS

El objetivo general de esta Tesis es la evaluación y análisis de la recolección del olivar por vibración centrada en los vibradores de troncos.

Este objetivo general se concreta en los siguientes objetivos específicos:

- 1) Desarrollar una metodología de ensayo de vibradores basada en un sistema electrónico de medida, registro y análisis de datos, válida para investigación y para su transferencia a fabricantes, usuarios y técnicos. Este equipo deberá ser capaz de determinar todos los parámetros que caracterizan el funcionamiento del sistema mecánico-hidráulico que genera la vibración.
- 2) Analizar el comportamiento de los vibradores mediante el ensayo de sus circuitos hidráulicos y el estudio del sistema de generación de la vibración.
- 3) Determinar las características mecánicas óptimas de funcionamiento que consigan máximos porcentajes de derribo con cambios sencillos en la máquina.
- 4) Desarrollar una metodología de ensayo en condiciones reales de campo del conjunto tractor-vibrador, al objeto de conocer las potencias que demandan y sus tiempos de operación y maniobra.

El fin último es la mejora del diseño y aplicación de los vibradores de troncos en los diferentes tipos de olivar en los que se emplean.

ANTECEDENTES

1. INTRODUCCIÓN.

Son muchos los estudios realizados entorno a la recolección de frutales y del olivar. La gran importancia que supone la mecanización en este sector ha despertado el interés de muchos investigadores y técnicos en los países donde este cultivo, u otros de necesidades de recolección parecidas, están presentes.

Actualmente, los métodos de vibrado son inerciales y se basan en el modelo desarrollado por Brandt en 1965. El modelo de inercia consiste en dos masas excéntricas que giran sobre un eje común en diferentes sentidos y velocidades. Con esto se consigue una vibración multidireccional con dos frecuencias fundamentales, aunque próximas pero diferentes.

Atendiendo a la evolución de los sistemas de vibrado, los podemos clasificar con dos criterios:

Según el punto de unión:

- Vibradores de ramas
- Vibradores de troncos

Según el sistema de generación de vibraciones:

Desplazamiento lineal	- Con barra - Con cable
De inercia	- Biela-manivela - Masas excéntricas
De impacto	- Accionamiento hidráulico - Accionamiento neumático

Los sistemas que se aplican en nuestros olivos son los de inercia: biela-manivela en ramas y masas excéntricas en troncos. Con los actuales vibradores multidireccionales u orbitales se llegan a conseguir porcentajes de derribo cercanos al 95 %, pero normalmente este valor es más próximo al 85 % en condiciones de trabajo en campo.

La recolección es una operación decisiva para la obtención de aceites de calidad (Humanes, 2001) tanto por la época como por la forma en la que se realiza, siendo la recolección con vibrador comparable en cuanto a daños al fruto al método de ordeño y aconsejable desde el punto de vista económico.

Este trabajo se centra en el análisis de la recolección por vibración y para abordarlo se analizan los antecedentes agrupados en una primera parte sobre la recolección por vibración, seguida del análisis del comportamiento del árbol, los sistemas de recolección en el olivar y en otros frutales. Se estudian otras técnicas de recogida y se aborda por último el comportamiento y ensayo de los vibradores.

2. RECOLECCIÓN POR VIBRACIÓN.

La aplicación de sistemas de recolección basados en máquinas vibratorias, muy difundidos en otros frutales, encuentra serias dificultades en el olivo debido al poco peso del fruto, a su fuerte unión al árbol y a presentar una estructura inadecuada con ramas flexibles y péndulas que oponen una sustancial fuerza de inercia a la transmisión de la vibración (Fridley et al., 1971). Son multitud los puntos estudiados en la recolección, desde los referentes al propio árbol, como los de experimentación, desarrollo y optimización de la maquinaria empleada.

Actualmente, el aumento del uso de equipos de vibración de ramas y troncos obliga estudiar y mejorar estos equipos y sus condiciones de utilización buscando el mínimo daño, la máxima eficacia y calidad en la recolección. El estudio de la respuesta dinámica del olivo es imprescindible en la mejora del proceso de derribo, dada la poca uniformidad en la maduración del fruto, la elevada fuerza de desprendimiento y la escasa

transmisibilidad de la vibración a lo largo de la estructura. Estas son las principales dificultades con las que se encuentran los vibradores (Gil y Gracia, 1979; Tombesi, 1990), siendo, el olivo, el frutal cuya estructura más condiciona la recolección (Fridley y Yung, 1975).

Ortiz-Cañavate (1969) y Humanes (1976), pioneros en España en este campo, coinciden en afirmar que la fuerza de desprendimiento y su valor estacional no es el factor determinante en el desprendimiento de la aceituna. Concluyen que es más determinante la estructura del árbol y su posición dentro de él. Ortiz-Cañavate llegó a ésta conclusión a través de fotografías de las ramas de un árbol sometido a vibración. Humanes mediante el seguimiento por diversas campañas de recolección con vibradores de troncos, además indicó la necesidad de realizar ensayos para determinar la transmisión y sobre las formas idóneas del árbol para vibrar.

Fridley (1983), realiza un estudio de los mecanismos para el derribo por vibración e indica que son los más prometedores para la recolección de la mayor parte de los frutos. Analiza la evolución de las máquinas desde 1946 y realiza una clasificación de los frutales según las frecuencias y amplitudes aconsejables y la importancia relativa del sistema fruto-pedúnculo o de la estructura del árbol en la eficacia del sistema (Tabla 1).

Tabla 1. Características de los árboles y de la vibración.

Cultivo	Tipo de árbol	Frecuencia (ciclos/s)
Albaricoquero	1	15-30
Almendro	1	15-25
Cerezo	4	12-24
Ciruelo	2	15-25
Manzano	2	15-25
Melocotón	3	15-25
Nogal	3	15-20
Naranjo	5	10-15
Olivo	5	20-35

Un árbol del tipo 1 indica una estructura rígida y un fruto soportado por un pedúnculo rígido, por el contrario, un árbol del tipo 5 tiene una estructura menos rígida y un pedúnculo largo y flexible. Para el primer tipo, la frecuencia mejor coincide con la natural del subsistema fruto-pedúnculo. Para los del tipo 5 hay que intentar vibrar a la frecuencia natural de la estructura; como ésta no es única, ello obliga a realizar un barrido de frecuencias que las incluya, modificando la velocidad de rotación del motor hidráulico, variando el régimen de funcionamiento del tractor.

Para los frutales como el olivo recomiendan: podar las ramas péndulas y las secundarias que formen ángulos mayores de 45° con la vertical. Afirman que la buena transmisibilidad está asociada a ramas con elevadas frecuencias naturales; siendo ésta proporcional al diámetro de su base dividido por el cuadrado de su longitud, se puede aumentar su frecuencia natural acortándolas. Es fundamental que la vibración aplicada al tronco o a las ramas principales se transmita bien hasta el subsistema fruto-pedúnculo.

Estudia igualmente los daños al árbol señalando que los producidos en la corteza pueden ser muy considerables y pasar desapercibidos. Las ramas grandes se rompen con grandes amplitudes sobre todo si están injertadas o debilitadas, la caída de pequeñas ramas y hojas se asocia al uso de altas frecuencias y periodos largos de vibración. Señala que las vibraciones transitorias proporcionan más separación del fruto que las sostenidas (“steady-state vibration”). Además evalúa otros métodos alternativos de recolección y podemos afirmar que esta recopilación de sus experiencias es una aportación no superada en este campo.

Aunque los sistemas de recogida por vibración han mejorado están lejos de ser efectivos en la totalidad de los olivos y presentan especiales dificultades en los olivos con poda de renovación intensa con gruesos tocones de los que salen ramas con severas reducciones de diámetro.

Barasona (1991), realiza un análisis completo de la recolección mecanizada de aceituna indicando la dificultad del uso de cosechadoras integrales en la mayor parte de las explotaciones y la necesidad de ir a árboles de un pie y con marcos adecuados, dado que la rentabilidad de los vibradores está ligada a la producción por pie. Los vibradores han sido usados para la recolección de otros frutos (Whitney et al., 1998) y para la recolección selectiva (Coppock et al., 1981), como es el caso de las naranjas, no obstante su aplicación en el olivar no parece factible salvo en la variedad manzanilla dando una pasada en verdeo y otra para almazara.

Entre las últimas innovaciones en los sistemas de derribo de aceitunas cabe destacar: los vibradores desarrollados por Ortiz-Cañavate et al. (1993), el desarrollo de vibradores con sistemas de control de la amplitud y frecuencia (Pellenc, 1993) y los de Porras (1993) con un sistema hidrostático de detención de vibración. Pérez et al. (1997), han desarrollado un prototipo de amplitud y frecuencia variables, de aplicación en aceituna verde y de almazara, para mejorar las características de funcionamiento de modelos comerciales similares.

3. COMPORTAMIENTO DEL ÁRBOL FRENTE A LA VIBRACIÓN.

El olivo opone una fuerte resistencia a ser vibrado. Presenta serias dificultades principalmente por la alta relación fuerza de retención-peso del fruto, así como por la propia estructura del árbol, que dificulta la transmisión de la vibración. Su particular estructura y propiedades mecánicas hacen que sea difícil predecir una frecuencia de resonancia para el conjunto del olivo, por lo que se realiza el estudio buscando la resonancia en las partes más cercanas al fruto (Castro et al., 2001).

Un diseño óptimo de un vibrador mejora el uso de la energía generando sólo aquellas frecuencias aptas para el derribo de la aceituna, evitando dañar el árbol y la máquina. La oscilación natural media en el tronco es 26 ciclos por segundo, y la de una rama principal 16 Hz. Sin embargo, Di Candia y Pellerano (1975), sostienen que en las ramas y hojas se produce tanta pérdida de frecuencia que es bastante improbable que se

llegue a la frecuencia de resonancia crítica del árbol. Dependiendo del sistema de poda aplicado podría alcanzarse dicha frecuencia en una parte concreta del olivo.

Un estudio biométrico para la determinación del centro de gravedad de un olivo muestra que su centro de gravedad se encuentra a un tercio de su altura total y con una excentricidad que puede llegar a un 20% del diámetro de su tronco y que su masa en árboles de un pie adulto oscila entre los 300-400 kilogramos. Estos aspectos no pueden ser olvidados a la hora de modelizar su comportamiento y al diseñar postes de ensayo (Gil Amores, Chico y López, 2000).

Para un correcto diseño de la maquinaria es de gran importancia conocer cuál es el comportamiento del árbol ante las vibraciones. Para esto, es necesario conocer las propiedades biomecánicas de los árboles, así como realizar estudios experimentales de su respuesta ante vibraciones forzadas. El análisis de su comportamiento se puede dividir en tres apartados: las propiedades mecánicas de la madera, el efecto de la estructura en la transmisión y comportamiento del sistema fruto-pedúnculo que puede ser considerado aparte debido a su singularidad y a la incidencia de variables como la fuerza de retención y el peso del fruto.

3.1. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA.

Es de gran importancia conocer las propiedades físicas y mecánicas del material al cual estamos sometiendo a vibración. Estos estudios tuvieron un gran desarrollo e interés en los análisis por elementos finitos para predecir el posible comportamiento del olivo.

Desde un punto de vista biológico, la madera, material al que sometemos a vibración, está formada por un conjunto de células, las cuales presentan una anisotropía por sus diferentes orientaciones, lo que afecta a sus propiedades físicas, que además varían con su posición en el árbol, la edad, las condiciones de crecimiento y la clase de árbol, entre otros parámetros.

La respuesta del árbol ante la vibración dependerá en gran parte del tipo de amortiguamiento que presente. El amortiguamiento puede ser interno, relativo a la madera y corteza, o externo debido al rozamiento de las hojas y ramas con el aire.

Hoag et al. (1970), estudiaron la importancia del amortiguamiento en ramas sometidas a vibración. Distinguen un amortiguamiento interno, debido a las propiedades de la madera, y un amortiguamiento externo debido al movimiento de la rama en un medio fluido. El amortiguamiento interno lo consideran en tres casos diferentes y concluye que el valor aumenta con la frecuencia. El externo, producido por la resistencia del aire, lo consideran no lineal y proporcional al cuadrado de la velocidad.

Schuler y Bruhn (1973), formulan un modelo del comportamiento de las ramas del árbol en el que incluyen la inercia de rotación y el amortiguamiento. Encontraron una gran respuesta del sistema al amortiguamiento, y verificaron el modelo con datos obtenidos en ensayos en campo.

Suhas et al. (1975), en estudios en arándanos, calculan el módulo de elasticidad, el módulo de rigidez, el coeficiente de amortiguamiento interno y la masa específica. Suponen el sistema como una varilla no uniforme, compuesta por discos rígidos y unidos entre si por tubos circulares sin masa.

Ayuso et al. (1983), desarrollan estudios sobre la madera del olivo en ramas de diferentes edades, dimensiones y situaciones en el árbol para las variedades Hojiblanca y Picual. Los parámetros investigados fueron el amortiguamiento interno y externo, módulo de elasticidad y la frecuencia fundamental. Además, relacionan estos parámetros con otras propiedades como el diámetro, contenido de humedad, etc.

El contenido de humedad de las variedades de olivo Picual y Hojiblanca en la época de recolección variaba entre el 87.23 y el 42.26% por encima del punto de saturación de fibras (humedad en la cual toda el agua libre contenida en las cavidades de las células ha sido extraída, pero conservando todavía los espacios intercelulares saturados). Numerosos investigadores han descubierto propiedades de la madera

invariables para contenidos de humedad superiores al punto de saturación, como es el caso del factor de amortiguamiento.

El Módulo de Elasticidad es una de las propiedades que influyen en la frecuencia fundamental y en el tipo de modelo de estructura vibrante; si su respuesta se analiza matemáticamente aumenta con la edad y depende de la variedad (Tabla 2).

La frecuencia fundamental de ramas de olivo sin hojas obtenidas por el decrecimiento logarítmico en vibración libre de ramas en voladizo aumenta con la edad y depende de la variedad. El coeficiente de amortiguamiento interno de la madera de olivo depende de la edad y la variedad, valores pequeños se asocian a más facilidad para la recolección. El amortiguamiento externo obtenido en ramas completas es diez veces mayor que el interno e indica la importancia del rozamiento con el aire de las hojas.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de la madera de olivo.

Edad (Años)	Módulo Elasticidad (GPa)		Frecuencia Fundamental (Hz)		Factor Amortiguamiento Interno		Factor Amortiguamiento Externo	
	Hojiblanca	Picual	Hojiblanca	Picual	Hojiblanca	Picual	Hojiblanca	Picual
2	12.31	6.19	17.12	12.35	0.0424	0.0295	0.372	0.256
4	21.62	10.96	27.06	17.01	0.0426	0.0313	0.422	0.287
6	29.28	17.95	24.87	21.14	0.0435	0.0313	0.437	0.305
8	41.25	22.57	28.06	28.60	0.0446	0.0325	0.433	0.327

Porras et al. (1985), aplica el modelo de Kelvin de materiales viscoelásticos al sistema vibrador-árbol y obtiene las ecuaciones de la vibración. Estas ecuaciones teóricas quedan en función del coeficiente de amortiguamiento y del módulo de elasticidad del sistema. Realiza estimaciones de estos parámetros en plantaciones por la comparación de los resultados teóricos con los obtenidos de amplitud y aceleración de forma experimental.

3.2. INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURA DEL ÁRBOL.

La transmisión de la vibración en el árbol es otro factor vinculante en el derribo del fruto. En el olivo debido a que su estructura no está adaptada a la transmisión de vibraciones es un factor decisivo.

La transmisión de la vibración desde el tronco hasta el fruto puede variar desde 25 hasta un 130% dependiendo de diversos factores, como son:

- La elasticidad y rigidez del pedúnculo
- La longitud y flexibilidad de las ramas, tanto fructíferas como vegetativas
- La dirección de dichas ramas

Diversos autores han abordado este tema, Lenker y Hedden, (1968), relacionan dimensiones de las ramas de agrios, como son el diámetro y longitud, con las características de la vibración aplicada (frecuencia y amplitud) y establecen una ecuación experimental que las liga. De esta forma, estiman de manera aproximada la vibración que produce la mayor eficacia de derribo.

Summer (1973), estableció unas ecuaciones que relacionaban los parámetros de vibración con el porcentaje de derribo obtenido de naranjas maduras, además de la ecuación que indica el porcentaje de frutas maduras frente al de no maduras recogidas. El árbol es tratado como una caja negra, observando los parámetros de entrada y salida, pero sin analizar lo que sucede dentro.

Berlage y Willmorth (1974), investigan el derribo de frutos con la aplicación de altas frecuencias (> 40 Hz.) y de pequeña amplitud en diversos frutales (cerezo, albaricoquero, peral, ciruelo, melocotonero y manzano). Estudian la vibración en ramas y comparan las respuestas a diferentes frecuencias, afirmando que las frecuencias altas y de baja amplitud no producen una caída masiva de frutos. Recomiendan para un derribo completo una combinación de oscilaciones, como ya anticipó Ortiz-Cañavate (1969).

Gillespie et al. (1975), desarrollan un método de optimización de los parámetros de masa y velocidad angular de las masas excéntricas, de un vibrador de inercia. Admiten una relación directa entre la energía transmitida hasta el fruto y el desprendimiento obtenido. Empleando el análisis espectral trabajan con la Función de Transferencia, y para la determinación de las frecuencias óptimas usan el cuadrado de la función de transferencia por considerar que es el número real que expresa el cambio de energía producido cuando la vibración se transmite a las ramas. Usaron cinco acelerómetros obteniendo seis relaciones entre la energía de entrada y salida.

Alper et al. (1976), estudia la transmisión de vibraciones a través de la estructura del naranjo desde los puntos de aplicación hasta donde está el fruto suspendido. Con esto logra relacionar la posición de aplicación del vibrador y la frecuencia de vibración con el movimiento del fruto. La trayectoria de los puntos medidos en la vibración la describe, mediante tres ecuaciones de las componentes del desplazamiento, a través del análisis armónico. Con el análisis de estos movimientos concluye que al aumentar la frecuencia o la distancia entre el punto de agarre a la unión de las ramas, produce una mayor amplitud del movimiento en la zona de los frutos.

Gil y Gracia (1979), estudian la eficiencia de la transmisión de vibraciones en la estructura de los olivos relacionándola con sus características geométricas, para identificar cuales influyen positiva o negativamente en la transmisión de la vibración. Descarta los porcentajes de derribo y analiza los parámetros que miden la eficiencia de la transmisión. Usando el análisis espectral estudia la Función de Transferencia y los espectros obtenidos de las respuestas de las ramas para determinar la mejor frecuencia de transmisión de energía. Los valores de esta frecuencia estaban comprendidos entre los 18 y 34 Hz., con un valor medio de 25,5 Hz. A través de las relaciones entre aceleraciones del punto ensayado y del punto de agarre establece los parámetros que favorecen o no la vibración. Estudian la eficiencia de la transmisión por el valor de aceleración eficaz en dos variedades de olivo, con tres frecuencias de excitación diferentes. Emplearon un vibrador unidireccional del tipo biela-manivela y registraron puntos a la entrada y salida. Establecen relaciones entre la eficacia de la transmisión de la vibración con los parámetros geométricos de la estructura del árbol.

Hidalgo (1984), continúa el camino abierto por Gil en la aplicación del análisis espectral para determinar los parámetros que afectan a la transmisión de la vibración forzada en árboles. Convierte las señales analógicas de campo en señales digitales y desarrolla los recursos de programación que se requieren para su análisis espectral.

Giametta (1975), investiga sobre la relación que existe entre la situación de la aceituna en el árbol con el derribo a través de parámetros de la planta como son: número de ramificaciones, longitud de las mismas, dirección de las ramas, cota y distancia al eje central del árbol. Encontró que estos factores estaban relacionados con el porcentaje de derribo.

Fridley y Yung (1975), afirman la importancia de la transmisibilidad de la estructura del árbol. Según su experiencia, los árboles con troncos y ramas erguidas tienen buena transmisión y por el contrario, los olivos con ramas flexibles y colgantes transmiten mal la vibración. Aplican el método de elementos finitos y evalúan el efecto de la poda de las ramas flexibles en su transmisibilidad. Postulan que para árboles como el olivo la frecuencia natural del subsistema fruto-pedúnculo no tiene por qué ser la mejor para la vibración forzada.

Ghate y Rohrbach (1980), estudian las frecuencias naturales y los modos de vibración para una estructura de dos ramas con geometría variable. Realizan ensayos en aluminio y desarrollan una matriz de transferencia para ver la interdependencia de la flexión y las vibraciones longitudinales y torsionales. Su aplicación a ramas presenta diferencias con los valores previstos.

Upadhyaya et al. (1981), realiza un estudio analítico de la respuesta de ramas de olivo mediante el método de los elementos finitos, encontrado serias dificultades para extender su aplicación.

Antognozzi et al. (1984), sostienen que la presencia de múltiples ramas en un tocón estorban en el ataque al tronco por parte del vibrador, alargan el tiempo de recolección y reducen la eficacia del trabajo. También sostienen que los árboles de cosecha actuales son bastante bajos.

Baesdemaker y Jacques (1991), utilizan el análisis modal para estudiar la respuesta de estructuras arbóreas sencillas a partir de las señales de acelerómetros empleando un vibrador unidireccional.

3.3. SUBSISTEMA FRUTO-PEDÚNCULO.

El subsistema fruto-pedúnculo influye en el derribo del fruto. La resistencia al desprendimiento varía estacionalmente y con gran dependencia de la variedad del árbol. En la recolección mecanizada con vibrador éste es un parámetro que junto con el volumen y la estructura de los árboles condiciona la eficiencia, en porcentaje de derribo, del vibrado.

Si la fuerza de retención se utiliza como criterio para fijar el vibrado de frutales implicaría que todas las frecuencias que dan una misma aceleración máxima serían igualmente efectivas en el desprendimiento. Sin embargo, esto no es cierto porque algunas frecuencias son más efectivas que otras y se ha propuesto como criterio la velocidad máxima a que dan lugar (Gil, 1986)

La fuerza de desprendimiento muestra el momento del inicio de la recolección con un vibrado eficiente y el porcentaje de fruto caído, nos indica en qué momento pierde rentabilidad la recolección mecanizada, siendo los dos factores coyunturales que más condicionan la recolección mecanizada.

La resistencia al desprendimiento de los frutos varía estacionalmente, siendo en cualquier caso una característica varietal. En el caso del olivo, con frutos aún verdes, alcanza valores próximos a los 800-1000 g y desciende de forma acusada durante el

período de maduración y posteriormente desciende lentamente (Osuna et al., 1998) (Figura 1). En la recolección mecánica con vibradores, este factor tiene influencia aunque la eficiencia de las máquinas está también condicionada por el volumen y estructura de los árboles. Y en todo caso, la medida a tener en cuenta es la relación fuerza de desprendimiento y peso del fruto.

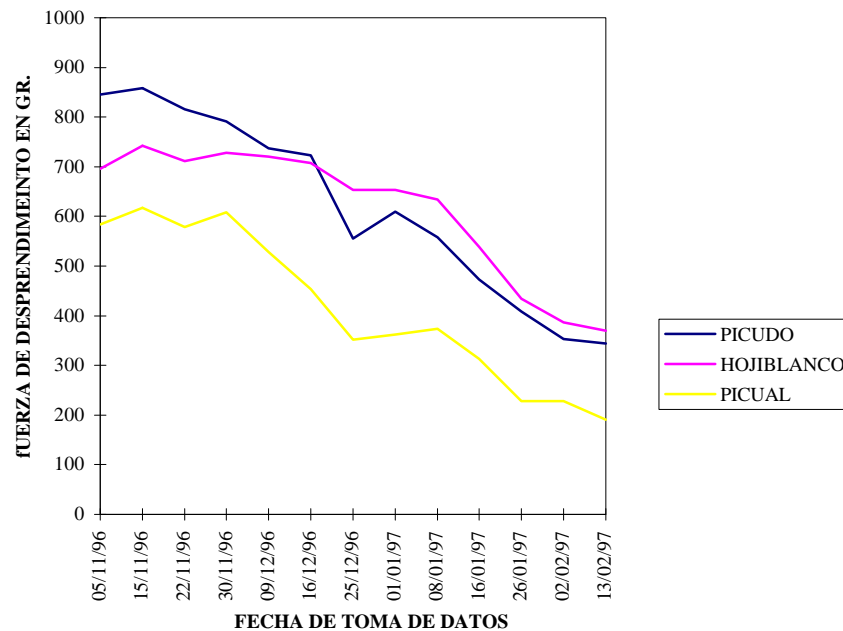


Figura 1. Evolución de la fuerza de desprendimiento en tres variedades.

López (1979), estudia el comportamiento dinámico del subsistema fruto-pedúnculo de aceituna, sometido a excitaciones forzadas de frecuencia y amplitud variables, a través de una modelización del mismo. Concluye que aunque durante el régimen transitorio gran parte de los frutos caen, estos necesitan un determinado número de ciclos para que se produzca la separación, ya que el derribo se debe a la fatiga del material; si la rotura se produjera por inercia, la aceleración necesaria haría inviable la aplicación de los sistemas de vibración.

Tsatsarelis et al. (1984), indican que existe un periodo óptimo para la recolección mecanizada en el cual la fuerza de desprendimiento y la aceleración necesarias para el desprendimiento son mínimas. Tsatsarelis et al. (1987) proponen un modelo del subsistema fruto-pedúnculo con dos grados de libertad. Considera amortiguamiento lineal viscoso y amortiguamiento no lineal externo, para los estudios de derribo de fruto. Estudia las fuerzas de vibración que causa la separación del fruto y la influencia de los principales parámetros que afectan al desprendimiento, fuerza y amplitud. Analiza los modos de vibración y los confirma experimentalmente. Indica que a bajas frecuencias las aceitunas caen con tallo y a altas sin él. El amortiguamiento externo del subsistema fruto-pedúnculo es pequeño y señala la importancia de encontrar la relación amplitud-frecuencia óptima.

Tombessi (1988), encontró que los mejores rendimientos en derribo son obtenidos con aceitunas cuyo peso sea superior a 3 gramos y que las que pesan menos de un gramo no son susceptibles de ser recogidas.

Porras (1994), señala que la resistencia al desprendimiento de los frutos varía enormemente durante el periodo de recolección, cayendo durante el periodo de maduración rápidamente para hacerlo después lentamente. Si el fruto permanece en el olivo después de activarse la vegetación se observa un ligero aumento de la resistencia al desprendimiento. A veces, se presentan cambios bruscos en la resistencia al desprendimiento debido a determinadas condiciones climáticas, pero señala que es una característica varietal la que condiciona la fuerza de desprendimiento.

Hermoso et al. (1997), demostraron que la fuerza de desprendimiento condiciona la caída natural de los frutos e incide en la eficacia de la recolección sea manual o mecanizada.

De Jaime et al. (1998), ensayaron derribos de aceituna con equipos de vibración de ramas tipo mochila en diferentes variedades de olivo. Muestran que el parámetro más importante es el peso del fruto seguido de la fuerza de retención del mismo. Los cultivares mejor adaptados a la recolección mecánica son aquellos que poseen un fruto grande, pedúnculo corto, maduración uniforme y una baja relación fuerza de

desprendimiento/peso, además de que el árbol tenga unos volúmenes de copa no demasiado grandes, un porte erecto y pocas ramas principales con ángulos no muy abiertos.

El desarrollo de técnicas químicas de ayuda a la abscisión sería un paso clave para facilitar la recolección por vibración; históricamente los resultados han sido desalentadores, aunque actualmente se están abriendo nuevas posibilidades con técnicas de abonado foliar (Garrido et al, 2001), tratando al olivo entre 5-15 días antes de su recolección. Whitney et al. (2000), han estudiado la abscisión química para reducir la fuerza de desprendimiento en naranjas Valencia, aumentando la eficiencia de derribo un 15% con reducciones de la fuerza de retención del 50%.

4. ESTUDIOS SOBRE LAS TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DEL OLIVAR Y OTROS FRUTALES.

Gil Sierra (1999), compara los diferentes tipos de vibración e indica que la orbital o circular continua puede reducir la efectividad del derribo y que esto se evita buscando que los círculos varíen a lo largo del tiempo usando dos masas excéntricas cuyos pesos y velocidades sean muy diferentes y giren en el mismo sentido. Señala que la tendencia actual es a aumentar la frecuencia y disminuir la amplitud, pasando los equipos actuales de 1400-1500 ciclos/minuto a 1800. Esto a veces se consigue usando la bomba auxiliar para el accionamiento de los cilindros como apoyo al vibrado. El uso de vibradores de frecuencia constante en los que las masas están siempre girando y sólo se desequilibran para vibrar, evitan los desplazamientos indeseables en el arranque y parada. Esto junto con la mejora de los sistemas de agarre capaces de adaptarse a diferentes tamaños de los troncos e incluso el uso de diferentes presiones de apriete, menores para los olivos jóvenes más sensibles, supone unas mejoras que deben irse incorporando.

Giametta (1991), realiza un estudio completo de la recolección mecánica de la aceituna detallando todas las técnicas posibles y los sistemas integrados y descompuestos y su extensión a frutales como el almendro, nogal, castaño, pino, avellano y pistachero.

Giametta y Zimbalatti. (1993), estudian posibilidades de recolección en olivos viejos mediante sistemas de vibración de follaje.

Ortiz-Cañavate y Gil Sierra (1993), estudian los sistemas de recolección integral de la aceituna. Analizan los sistemas descompuestos (vibrado y posterior recogida) y los de derribo e interceptación simultánea, señalando que el sistema más viable es el paraguas invertido, pero que su uso está limitado a árboles de un pie y con troncos suficientemente altos. En estos casos, su umbral de rentabilidad está en torno a los 15 kilogramos/árbol.

Bolli (1996), estudia las técnicas de recogida mecánica del olivo. Compara las máquinas peinadoras de gran tamaño, los vibradores de troncos y las vareadoras mecánicas de múltiples peines flexibles que trabajan aproximadamente 1 metro cuadrado de superficie de la copa. No encuentra que un sistema sea el mejor para todas las condiciones pues cada uno se adapta a diferentes tipos de árboles, aunque el vibrador es el que mejor se adapta en el caso de árboles de forma regular y sin excesivo porte.

Los olivares superintensivos ofrecen la posibilidad de la mecanización integral del cultivo pero su rentabilidad frente a un olivar intensivo mecanizado sólo está asegurada en suelos productivos y en regadío. Su concepción cambia radicalmente las técnicas de cultivo; es un desarrollo en seto similar a las viñas en espaldera y de hecho se usan vendimiadoras adaptadas al olivar aumentando el tamaño del túnel de vareo.

Fontanazza y Cappelletti (1993), lo analizan señalando que la densidad de plantación debe estar en relación con el vigor y la forma de conducción, la fertilidad del suelo y la disponibilidad de agua. Apunta que la principal limitación para su difusión está en disponer de variedades menos vigorosas.

Pastor (2000), analiza estas plantaciones y pone serios reparos a su viabilidad desaconsejando su implantación mientras que los avances agronómicos no permitan una mayor seguridad en su evolución. Recomienda las plantaciones intensivas de 250-300 árboles por hectárea de un tronco y con una calle ancha de 7-8 metros como la mejor solución actual. A esta misma conclusión llega Porras (2001), que reconociendo lo prometedor de estas técnicas incide en la falta de variedades o al menos patrones

enanizantes. Este mismo grupo (Porras, 2001), tras un estudio económico encuentra que es más rentable un olivar intensivo de un pie recogido con un sistema integral vibrador-paraguas.

Gil (2001), señala que la recolección es determinante en los costes del olivar y en la calidad del aceite. Esta depende, a igualdad de otros factores, de la separación de la aceituna caída del suelo de la aceituna del vuelo y adelantar en lo posible la época de recolección. Señala la necesidad de aceptar, como en otros cultivos, que una recolección mecanizada es incompatible con una efectividad del 100% y que es económicamente más rentable perder un pequeño porcentaje de cosecha que intentar agotarla con la ayuda de vareo complementario o recogidas posteriores del suelo. Dado el alto coste de estos equipos, entorno a los 45 euros / hora para el vibrador y 115 para los equipos de recogida y carga, la organización del trabajo es un factor clave en su rentabilidad y esta aumenta con la producción por pie.

Gil Amores et al. (1996, 1997a, 1997b, 1998), realizan un estudio económico de la recolección de la aceituna. Comparan los sistemas manuales y los mecanizados, señalando que puede ser más económico el trabajo a destajo que el uso del vibrador. Esto ocurre cuando la explotación no está adecuada a la recolección y además el trabajo está mal organizado, con frecuentes interrupciones del trabajo del vibrador. Señalan que para rentabilizar la mecanización de la recogida el fruto caído debe de ser menor del 20%, la eficacia del vibrador de más del 80%, disponer de tractores de doble tracción de 70 kW que trabajen al menos 500 horas/año, conseguir que el vibrador lo haga al menos 250 horas/año y que la producción sea de al menos 4000 kilos por hectárea. Señalan, por otra parte, los factores estructurales y coyunturales que afectan a la recolección, haciendo hincapié en que de estos últimos los claves son la maduración y la resistencia al desprendimiento del fruto.

Las técnicas de vibración para el derribo de frutos han sido aplicadas en numerosos frutales. En el cultivo de cítricos es en donde han alcanzado mayor desarrollo.

Los vibradores de impacto han sido utilizados en otros frutales con frutos de mayor peso como las manzanas (Pacheco et al., 1980). Pellerin et al. (1982), han desarrollado un vibrador de doble impacto para este mismo cultivo con un sistema de activación por muelle, indicando que causa menos daño que los vibradores de inercia y necesita menos energía. Studer et al. (1982), han desarrollado un mecanismo hipocicloidal de baja frecuencia y alta velocidad de impacto para la recolección de frutos colgados como los de las viñas en parral. Estos métodos no han dado resultado en el olivar debido al escaso peso del fruto y a la fuerte amortiguación de su estructura.

Hedden et al. (1984), evaluaron la eficacia del derribo y los daños producidos en 4 técnicas diferentes de vibración en el cultivo de cítricos. Emplearon vibradores lineales de tres masas excéntricas y vibradores multidireccionales con dos masas excéntricas, combinados con la aplicación de productos para facilitar la abscisión del fruto. Observaron que los daños en la corteza podían ser mínimos si se realizaba un manejo adecuado del vibrador y que no existía ninguna ventaja en los vibradores multidireccionales sobre los lineales. Además de ser estos últimos más fácil de agarrar al tronco.

Estudios sucesivos de Hedden et al. (1988), en cítricos, demostraron que un correcto diseño y uso del vibrador no tiene por que afectar a la producción de sucesivos años y que la aplicación de productos para favorecer la abscisión podían incrementar la eficiencia de derribo, pudiendo pasar del 65% al 90% sin reducir la producción de frutos.

Buscando la reducción de costes en la mecanización de la recolección de frutos, Summer et al. (1982) desarrollaron un modelo de vibrador de ramas para cítricos, montado en un tractor de baja potencia. El objetivo era disminuir el coste de inversión y alcanzaron un rendimiento de 40 árboles/h y con una eficacia de derribo del 95% usando productos de abscisión.

Parameswarakumar et al. (1991), diseñan un vibrador de tipo inercial para la recogida de frutos de mango. Los datos de campo muestran que la máxima recolección y mínimo daño se consiguen con desplazamientos de 76 a 102 milímetros y frecuencias de 13 a 11 Hz. durante cuatro segundos. Para minimizar el daño al árbol la pinza debe estar

recubierta de un material acolchado siendo el mejor el nylon, la rigidez aparente del árbol aumenta con la raíz cuadrada de la frecuencia, aumentando también con ella la potencia absorbida. Hay cabezas vibradoras de 250-300 kilogramos de peso capaces de absorber 50 kW de potencia con una buena relación peso potencia (Almirante, 1988); la tendencia actual es a reducir el tamaño de las pinzas.

5. OTRAS TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN.

Una alternativa al empleo de vibradores de tronco, tan extendidos en numerosos frutales, fueron los modelo de vibradores de follaje. Estos sistemas se utilizaron sobre todo en naranjas. Consistían en unas varas dotadas de movimiento vibratorio que se hacían incidir sobre la masa arbórea, ocasionando la caída del fruto. El movimiento se generaba mediante un mecanismo de cuadrilátero articulado.

Summer et al. (1975), desarrolló un modelo de vibrador de follaje en cítricos. La mayor ventaja que se le atribuía era la aplicación del movimiento en zonas más cercanas al fruto y resultaba de un control más sencillo. Realizó ensayos con dos modelos de vibradores a diferentes velocidades.

Investigaciones como la de Chen en 1973 llevaron al desarrollo de técnicas de no vibrado como método de recolección selectiva de naranjas Valencia. Empleó elementos flexibles en forma de dedos con una determinada curvatura y dureza para realizar el derribo del fruto. El resultado fue prometedor en los años 70. En 1982, Chen et al, realizaron ensayos con este tipo de recolección en campo. Determinaron que se podía derribar el 90% de las naranjas maduras mientras que dejaba la mayor parte de los frutos verdes en el árbol, la recolección se realizaba de forma aceptable en calidad y el rendimiento se situaba cerca de los 20 árboles / hora.

Más adelante en 1978, siguiendo con los ensayos de vibradores de tronco, Summer et al. estudiaron los efectos de diferentes vibradores en las aceleraciones y desplazamientos producidos en las ramas de los cítricos al modificar la rotación y situación de las masas excéntricas, para determinar las características del derribo. Determinaron que las

aceleraciones en las ramas crecían al subir la frecuencia del vibrado pero sin embargo el desplazamiento no seguía esta tendencia con la frecuencia. Como los demás autores, reconoció la importancia de los productos de abscisión en el derribo, pero actuaban de forma negativa al derribar frutos no maduros.

A finales de los años 70 se desarrollaron otras técnicas alternativas a la vibración de troncos o ramas. Se realizaron prototipos de recolección neumática en cítricos. Los primeros ensayos de vibración por aire los realizó Whitney y Patterson en 1972 y Whitney en 1977 y 1978, donde explicaban las ventajas e inconvenientes de estos sistemas. Ensayos posteriores con el empleo de tres ventiladores aplicados a cítricos, resultaron ser viables. Pero se produjeron problemas en la estabilidad de la máquina, en la adaptación a la altura de los árboles que podían ser cosechados, en la maniobrabilidad, coste y eficacia del método.

Whitney (1981), realizó ensayos con una cosechadora neumática autopropulsada concluyendo que los principales inconvenientes era el gran volumen de aire que debía moverse y la necesidad de dotarlo de la suficiente velocidad para el derribo. La capacidad de derribo fue mucho menor de lo que se esperaba.

En un paso más hacía la mecanización completa de la recolección de frutos, se integró la recogida de los frutos con superficies inclinadas al ser derribados por vibración. Zocca et al. (1977), propuso un vibrador de troncos unidireccional en el cual acoplaba dos plataformas inclinadas para la recolección de melocotones. Se consiguió reducir el coste de recolección frente al método manual y se mantenía una calidad aceptable en los frutos. El problema que se planteaba era la necesidad de preparar las plantaciones para ser mecanizadas de esta forma.

Peterson et al. (1977), desarrolló de forma paralela una cosechadora autopropulsada con sistema de vibración y recogida por lonas hacia un sistema de almacenaje en contenedores. La novedad que introdujeron fue la realización de la recolección de una forma continua en la línea de los árboles. Para esto ajustaron la velocidad de desplazamiento de la máquina con los tiempos necesarios desde agarre del árbol hasta

recogida del fruto. El nuevo sistema obtuvo unos resultados de 200 árboles/h en plantaciones con altas densidades.

McHugh et al. (1981), desarrollaron una cosechadora autopropulsada similar aplicada a la recolección de manzana y melocotón. En este nuevo diseño la máquina disponía de dos ruedas móviles y una fija, lo que mejoró la maniobrabilidad, la cual suponía unos de los mayores inconvenientes, se alcanzó un rendimiento de 1 a 2 min. por árbol.

Entre los sistemas de recogida dinámicos por vibración y lonas, surgen diversos modelos para reducir las pérdidas de frutos en la unión de las lonas o superficies inclinadas y el tronco del árbol. Una de estas alternativas fue la desarrollada por Young (1987) consistente en un juego de discos con ranuras que se adaptaban al tronco del árbol mientras que la cosechadora se va desplazando por la fila de árboles.

Berlage et al. (1981), ensayaron cosechadoras de frutos con 3 secciones diferentes en los planos inclinados de recogida, con el objetivo de determinar la calidad de los frutos, el tiempo de recolección y la facilidad de la operación.

Coppock (1983), propuso una alternativa de cosechadora de cítricos con lonas enrollables y derribo por vibrador, todo acoplado a un tractor. El estudio indicó que el sistema de lonas autoenrollables podría ser un sistema viable para una parte de la producción industrial al poder prolongar el trabajo de la máquina. Supuso que el coste de la recolección podría bajar de los valores que hasta entonces se mantenían.

Grosz et al. (1989), desarrollaron una cosechadora de cítricos para industria. Propusieron un modelo adaptado a trabajar en suelos pesados y húmedos, en donde no se necesitaban labores de preparación del suelo y poca poda específica para la aplicación de la cosechadora, minimizando así el coste. En este modelo se instaló un vibrador de tronco sobre un bastidor telescópico.

En los últimos años están apareciendo cosechadoras integrales de frutales autopropulsadas motivadas por las plantaciones intensivas y superintensivas que se están realizando. La tendencia hacia altas densidades y pequeños árboles hacen que sean más adaptables a la recolección y con esto reducir el coste.

Peterson y Monroe (1977), desarrollaron una cosechadora con un vibrador que permitía la recolección en movimiento, fue aplicada en manzanos con densidades de 250 a 800 árboles/ha. El movimiento continuo sobre la línea de árboles se ha estado empleando en otras plantaciones como arándanos o vid. Orlando et al. (1982) describe el vibrado interno en las espalderas de la uva para la recolección en movimiento. Otra posibilidad sobre la recolección de frutos en movimiento es la propuesta por Allshouse y Morrow en 1972, usando una columna vertical de dedos horizontales montados de forma excéntrica para vibrar el árbol. Tennes et al. (1976 y 1981) propusieron el empleo de un par de ruedas de inercia horizontales las cuales podían producir la vibración en el árbol.

Tennes et al. (1986), desarrollan un modelo de cosechadora continua en manzano por un sistema de vibración del árbol a través de barras laterales situadas en el interior de la cosechadora. Con una poda adecuada, las barras podrían entrar en la copa del árbol y lograr una velocidad en la recolección de 1.6 km./h. El mayor problema que se presenta son los daños producidos al fruto debido a los golpes en la vibración. Evoluciones de este sistema es el utilizado en la recolección de la uva y más recientemente en las cosechadoras de olivar, en donde los daños al frutos son bastante menores.

Aunque muchas de estas técnicas se ha aplicado al olivar la mayor parte de ellas no han resultado técnica o económicamente viables.

6. COMPORTAMIENTO Y ENSAYO DE LOS VIBRADORES DE MASAS EXCÉNTRICAS.

El funcionamiento de los vibradores multidireccionales (técnicamente conocidos como vibradores de inercia de masas excéntricas) se basa en dos masas excéntricas que giran alrededor de un eje común con velocidades angulares opuestas y distintas en valor absoluto, generando así una vibración multidireccional en un plano, que se conoce como estrella de vibración. El movimiento de las masas se consigue mediante correas planas o trapezoidales que transmiten la potencia desde una polea motriz, accionada por un motor hidráulico, hasta las poleas soporte de las masas.

A partir de los años sesenta se han utilizado métodos vibratorios para derribar los frutos de los árboles. Ya existen en el mercado diversos tipos de vibradores que tienen una aceptable eficiencia, pero los agricultores y técnicos carecen, en general, de experiencia a la hora de adquirir y utilizar este tipo de máquinas. Para evitarlo creemos necesario contar con una información rigurosa que sólo puede obtenerse, al igual que en otros tipos de máquinas, con una metodología de ensayo y homologación (Gil y Gracia, 1979; Brown et al., 1982; O'Brien et al., 1983; Blanco et al., 1999). Por ello es necesario hacer un estudio de cómo ha evolucionado el ensayo de las operaciones mecanizadas con tractor para luego conocer los sistemas de ensayo en recolección por vibración que son una evolución de ellos.

Al objeto de conocer, con la máxima exactitud posible, el valor de las variables que caracterizan a las operaciones mecanizadas, se han desarrollado desde los años ochenta los equipos necesarios aprovechando los avances de la electrónica y de la informática. En la evolución de los sistemas de medida, se ha tomado como objetivo el conseguir la máxima precisión y fiabilidad posible, así como el intentar que el equipo interfiera lo mínimo posible sobre el desarrollo normal de las operaciones.

Grevis-James y Bloome (1982), diseñan un equipo de monitorización para registrar la velocidad real, la velocidad teórica, la fuerza de tiro y la potencia a la barra. Apenas un año después Grevis-James et al. (1983), mejoran considerablemente el equipo anterior dotándolo de un soporte para el registro de datos en ordenador.

Green et al. (1985), proponen poner a punto la instrumentación necesaria para conseguir una mayor eficacia en el uso de la energía para disminuir los costes de producción. Como base fundamental para la toma de datos usaron un equipo comercial marca Dickey-John que agrupa varios sensores. Los datos en forma analógica son digitalizados e introducidos en el ordenador utilizando para el almacenamiento de los datos en un soporte permanente, un cassette grabador.

Watts y Longstaff (1989), diseñan y realizan la posterior calibración de un equipo constituido por una serie de sensores montados en el tractor y que generan una serie de señales analógicas que son acondicionadas a bordo del tractor, mientras que la recepción, visualización en pantalla de un ordenador y almacenamiento de los datos se produce en un vehículo situado en el exterior de la parcela ensayada. Los datos son transmitidos vía radio a través de una antena. El sistema de recepción, análisis y grabación de datos se sitúa en el vehículo auxiliar.

McLaughlin et al. (1993), desarrollan y aplican un sistema general de instrumentación y toma de datos para un tractor. Las señales de los sensores son registradas en un microordenador a través de un datalogger. Un soporte lógico flexible controla el sistema de toma de datos, modificándose la frecuencia de toma de datos y posibilitándose la futura expansión a otros transductores.

En esta misma línea, el Departamento de Mecanización de la Escuela Técnica Superior de Agrónomos y Montes de Córdoba desarrolló un dinamómetro para la medida de las fuerzas que transmite el apero al tractor durante el desarrollo de la labor agrícola, Illanes et al. (1990). Salas et al. (1993) adaptan varios sensores de medida al tractor y emplea el dinamómetro diseñado por Illanes, así como un sistema de recepción, acondicionado y transmisión por radio de los datos hasta un ordenador remoto, donde se

visualizan, y seguidamente se procesan y registran para el posterior uso de los datos obtenidos.

Blanco et al. (1997), estudia el efecto de diferentes aperos en los niveles de vibración, a partir de datos de velocidad, régimen de giro del motor, demandas de tiro de los aperos, etc. El equipo ya incluía un sistema de transmisión de la información por telemetría mediante el uso de dos emisoras y dos modem . Estos trabajos del Grupo de Investigación Mecanización y Tecnología Rural han sido la base para desarrollar los equipos de medida en vibradores en los que se ha cambiado el tipo de sensores y el sistema de medida para tener más velocidad en la toma de datos, pero la tecnología y los fundamentos son muy semejantes: el uso de sensores electrónicos cuyas señales son llevadas a un sistema de conversión A/D e introducidas en ordenador para su análisis.

Ante la necesidad de realizar pruebas comparables entre los distintos equipos surge el uso de postes de ensayo. Es imposible encontrar árboles con iguales características, e incluso la respuesta de uno está condicionada por su estado fenológico y las condiciones ambientales (Tsatsarelis et al., 1984 y 1987; López y Gracia, 1979). A este respecto cabe citar las experiencias de Ortiz-Cañavate et al. (1980), y Gil Sierra y Ortiz-Cañavate (1984), Di Candia et al. (1978) y Humanes et al. (1980), realizándose a partir de ellas una propuesta de normalización (ISO/TC 23/SC, 1980).

El proyecto de norma ISO/TC 23/SC de 16 de Febrero de 1980, establece que se realicen medidas en laboratorio (poste) de régimen (RPM) de la bomba, presión a la salida de la bomba (punta y régimen), caudal a la salida de la bomba, temperatura del líquido hidráulico, velocidad angular de las masas de inercia y aceleraciones (pinza y poste).

Barasona et al. (1986) y Barasona et al. (1988), describen las modificaciones que se proponen a la norma para el monitorizado del conjunto árbol-vibrador y de los elementos hidráulicos y mecánicos de éste, y la necesidad de estudiar los regímenes transitorios de puesta en marcha y parada, así como los tiempos de vibrado hasta alcanzar el régimen permanente. Whitney et al. (1990), elaboran un modelo que caracteriza el comportamiento en cuanto a fuerza y movimiento en el punto de unión

poste-vibrador. Uno de los problemas de los postes de ensayo es que mantengan sus características constantes tras repetidas vibraciones.

Affeldt et al. (1988a, 1988b, 1988c), estudian el consumo de potencia hidráulica y la variación de presión en el circuito hidráulico de un vibrador de inercia de 2 masas excéntricas independientes (accionada cada una por un motor) para la vibración de cerezos, utilizando sensores de presión a la entrada de los motores y sensores de proximidad para determinar la velocidad angular de las masas de inercia. Establecen ensayos en vacío (sin árbol) y ensayos con árbol (tres diámetros de tronco diferentes), obteniendo picos de presión al poner en funcionamiento las masas (los dos primeros segundos), que dependen del sistema de apertura de las válvulas. La mayor demanda de potencia se da por el uso en vacío.

Barasona et al. (1988), desarrollan la metodología y la elección de instrumentación necesaria para el monitorizado del conjunto vibrador-tronco. Las medidas que se efectúan en el circuito hidráulico del vibrador son: presión (captador extensométrico) y caudal (transductor de caudal por turbina) en la entrada al distribuidor que controla el cilindro del cierre de la pinza y el motor hidráulico, presión en la entrada y salida del cilindro hidráulico del cierre de la pinza (captadores extensométricos). Estos captadores son acondicionados por instrumentación específica para proporcionar, por una parte, lectura numérica en pantalla de cuarzo líquido y, por otra, una salida analógica. Para medir la vibración usan dos acelerómetros piezoeléctricos colocados perpendicularmente en un cubo (direcciones longitudinal y transversal), montados en la pinza y en un poste de ensayos. Determinan la potencia hidráulica suministrada por la bomba, la fuerza ejercida por el cilindro de apriete y las aceleraciones en los regímenes transitorios de arranque y parada.

Pérez (1997), continuando el trabajo anterior, mejora el equipo de toma, registro y análisis de datos del conjunto vibrador-tronco, así como de los elementos hidráulicos y mecánicos de éste y lo aplica en el diseño de un sistema de vibración multidireccional de frecuencia y amplitudes variables.

Barasona Villarejo (2000), caracteriza diversos sistemas de agarre en base a la transmisión de la vibración. Concluye que los criterios más adecuados para el diseño son:

contacto de tres o más puntos al árbol, utilización de tacos de caucho de dureza próxima a 70 sh y presión de contacto lo más alta posible pero no superando los 150 bares.

Aunque el uso de postes de ensayo es adecuado para diseñar y comparar vibradores es insuficiente para conocer su posible respuesta en campo dadas las enormes diferencias entre las estructuras vibrantes y no poder evaluar los daños al árbol.

El ensayo de vibradores exige el uso de avanzados sistemas de toma y análisis de datos. Actualmente se recurre al uso de sistemas electrónicos informatizados de alta velocidad de muestreo y proceso y dotados de un “software” muy potente (Blanco et al., 1999, y Blanco et al., 2000), ello permite estudiar el sistema mecánico-hidráulico de generación de la vibración y los tiempos de operación en condiciones reales (Blanco et al, 2001a, 2001b). El tipo de vibración (multidireccional, orbital o mixta), su duración y la organización del trabajo en campo ha sido abordado por Gil et al. (2001).

Por último, no podemos dejar de lado, en el estudio de la recolección mecanizada de aceituna la exigencia de que toda maquinaria debe ajustarse al cumplimiento de las normas y leyes que le afecten (Blázquez, 1990). Como muestra la Directiva 88/392/CEE conocida como de “Seguridad en las Máquinas” (puesta en vigor el 1 de enero de 1990 y transpuesta a la legislación española por el R.D. 1435/92), de obligado cumplimiento en todo el ámbito de la Unión Europea. Un aspecto especialmente importante es el nivel de ruido y vibración que reciben los operarios, a este respecto un estudio de Vicario et al. (2001), mostró que los vibradores de ramas transmiten una vibración al sistema mano-brazo que excede y casi duplica los niveles del “Riesgo Incrementado” de la Propuesta Modificada de Directiva sobre Exposición de los Trabajadores a los Riesgos Derivados de los Agentes Físicos, lo que obligaría a prohibir su uso sino mejoran claramente en estos aspectos. El desarrollo técnico, la evaluación y el cumplimiento de las normas de seguridad, son tres pilares básicos en los que debe apoyarse el desarrollo total de la mecanización del olivar español.

Los daños al árbol en su recolección preocupan a los agricultores y deben ser analizados y limitados, aunque se puede afirmar que son menores que los provocados por el derribo por vareo. Los más frecuentes son daños a la corteza en la zona de agarre.

La rotura de ramas está causada por grandes amplitudes utilizadas a cualquier frecuencia, siendo las vibraciones prolongadas las más dañinas (Antognozzi et al., 1984). La presencia de múltiples ramas en el tocón estorban en el ataque al tronco, alargan el tiempo de recolección y reducen la eficiencia del trabajo.

Estudios sobre daños producidos por rotura de ramas en cerezos recogidos por vibración han sido desarrollados por Brown et al. (1982) mostrando la importancia del área de contacto y la presión de agarre. Este frutal es muy delicado en estos aspectos y los daños a su corteza ocurren a menores presiones, lo que obliga a mejorar los diseños, instruir a los operadores, lubricar la zona de contacto y mantenerla en buenas condiciones, ajustar la presión de agarre al mínimo, limitar el tamaño de los troncos y revisar las válvulas de control hidráulico del equipo para asegurar su correcto funcionamiento, agarrar en el centro del tronco y no en su parte más baja y hacerlo de modo perpendicular al mismo. Tim et al. (1988), llevan a cabo un estudio técnico y económico sobre el tipo de material y los sistemas de lubricación de los sistemas de agarre en cerezos con vistas a reducir el daño por rotura de ramas y la caída de la producción en años posteriores. Encuentra que el uso de nitrilo y el poliuretano es mejor que el uso de neopreno, siendo preferible el primero por su mayor duración. Aunque el olivo es más resistente a los daños estas recomendaciones se pueden trasladar a él, especialmente en la recolección en verdeo o al final de la campaña de almazara.

Estudios en la zona de agarre de la pinza en cerezos y nogales, Brown et al. (1987) y Brown et al. (1988), valoran la tensión en la zona de contacto de la pinza y el árbol, para determinar la presión que causa daños en el cierre de la pinza. En el caso de cerezos, con estos datos establecen la presión de apriete de los cilindros, Frahm et al. (1988) buscando minimizar los problemas de roturas y de aplastamiento de la corteza de los árboles durante la vibración. A pesar de los estudios y recomendaciones sobre la resistencia de la corteza, diseño del vibrador, acolchado del sistema de agarre, fuerzas de apriete, etc., el problema no está resuelto.

Affeldt et al. (1988a, 1988b, 1988c), estudian el desplazamiento relativo entre tronco y pinza para distintas frecuencias y tamaños del mismo en cerezos. Llegando a la conclusión de que causan daño y son especialmente nocivos en el período de arranque y parada (transitorios) donde se producían grandes desplazamientos debido al efecto de resonancia del conjunto. Optimizaron el tipo de movimiento vibratorio que debía aplicarse para la recolección de estos frutales, desarrollando un vibrador de excentricidad variable en las masas, capaz de evitar los desplazamientos cerca de las bajas frecuencias. Este equipo, que elimina prácticamente los posibles daños al tronco, fue ensayado para determinar: las velocidades angulares de los contrapesos, los desplazamientos de la pinza y los relativos entre ésta y el tronco, completando el estudio con el análisis espectral de las vibraciones resultantes. Affeldt et al. (1989a, 1989b) terminan los estudios de los daños al tronco mediante técnicas de análisis digital de imágenes, aplicando los resultados al diseño de un nuevo vibrador.

Un aspecto clave y poco estudiado es el de la duración óptima de la vibración que consiga elevados porcentajes de derribo y mínimo daño. Para ello hay que conocer el derribo acumulado de aceitunas a lo largo del tiempo de vibración (no sólo el porcentaje total caído) para ver a partir de qué momento cae poca aceituna mientras que aumentan los daños al árbol y a la máquina al intentar agotar el árbol, que es la tendencia natural de los olivaderos. Agrela et al. (2001), realizaron unos estudios previos usando visión artificial para obtener a partir de una grabación de vídeo digital la caída acumulada de aceituna. Se muestra cómo la vibración más allá de los 5-6 segundos apenas aumenta el derribo mientras que lo hace la caída de hojas y se incrementan las posibilidades de daño en la zona de agarre.

La conclusión general de todos estos trabajos es que el estudio y mejora de los sistemas de recolección por vibración exigen el uso de sistema avanzados de instrumentación que trabajan en unas condiciones especialmente duras lo que aumenta las dificultades. Pero que no hay otra forma de hacerlo, salvo los sistema basados en la observación directa que carecen de rigor.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. INTRODUCCIÓN.

Como hemos visto en los Antecedentes, la tendencia actual de la mecanización de la recolección de la aceituna se ratifica en la utilización de los vibradores de troncos y que, en lo esencial, su construcción obedece a la concepción clásica.

Frente a la necesidad continua que el fabricante tiene de mejorar el funcionamiento de su máquina para adaptarse a las demandas cambiantes del mercado, que cada campaña exige y se ve gratificado con la aparición de nuevos modelos, planteamos dos cuestiones:

1) ¿Qué hay que mejorar?:

Como el funcionamiento del vibrador se basa en un sistema mecánico-hidráulico de generación de la vibración, habrá que actuar sobre:

- El sistema hidráulico, mejorando su eficiencia (disminuyendo sus pérdidas).
- El sistema mecánico, obteniendo la combinación de masas que proporcione un mayor porcentaje de derribo con una demanda adecuada de potencia.

2) ¿Cómo hay que mejorarlo?:

- a) Disponiendo de un sistema de medida que nos permita conocer los principales parámetros del circuito mecánico-hidráulico de generación de vibración.
- b) En base a este sistema, realizando los ensayos de campo y laboratorio necesarios para obtener los datos que permitan conocer qué reformas son necesarias y en qué grado

Siguiendo este planteamiento general, el apartado de “Materiales y Métodos” se va a comenzar abordando la caracterización del funcionamiento del vibrador (apartado 2), describiéndolo, en primer lugar, para a partir de ahí proponer los parámetros que lo definen

y que van a ser objeto de estudio en esta tesis. Se hace hincapié en este punto por su carácter teórico y por sentar las bases de todo el desarrollo posterior.

A continuación, y como consecuencia inmediata de lo expuesto en el punto anterior, se pasa a detallar todo el material instrumental utilizado, compuesto por sensores electrónicos acompañados de sus correspondientes sistemas de acondicionamiento, de las señales que generan, y almacenamiento de forma digital (apartado 3).

Por último, se describen todos los ensayos realizados definiéndolos en función del objetivo que persiguen y clasificándolos según la metodología e instrumentación empleada en su consecución (apartado 4).

2. PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA MECÁNICO-HIDRÁULICO DE GENERACIÓN DE VIBRACIÓN DE UN VIBRADOR DE INERCIA DE MASAS EXCÉNTRICAS.

La evaluación del funcionamiento de una máquina, en este caso el vibrador, exige como paso previo identificar las principales variables o parámetros en los que se basa su actuación, de tal forma que sirvan de referencia para determinar el correcto comportamiento de la misma o para introducir posibles mejoras.

Esto implica que debemos conocer de forma exhaustiva su construcción (sistemas que la forman) y principio de funcionamiento.

Aunque en este apartado haremos referencia a características particulares del vibrador que hemos utilizado en nuestros ensayos, la aplicación es general para todo tipo de vibrador de inercia de masas excéntricas, pues en esencia, tienen todos los mismos componentes. En este sentido, el trabajo se encuadra dentro del Proyecto FEDER 1FD97-AGF1-741, que se realiza en colaboración con fabricantes.

La vibración es generada por un sistema mecánico-hidráulico cuyos componentes son (Figura 2):



Figura 2. Elementos de un vibrador: cabeza vibradora, estructura soporte y depósito del circuito hidráulico.

- Sistema mecánico:
 - Unidad tractora
 - Soportes de anclaje a la unidad tractora
 - Vibrador:
 - Brazos de elevación
 - Mecanismos de articulación
 - Cabeza vibradora:
 - Carcasa
 - Sistema de generación de vibración
 - Pinza

- Sistema hidráulico:
 - Circuito hidráulico

A continuación nos centraremos en la descripción de los elementos fundamentales implicados en este trabajo: el circuito hidráulico y el sistema de generación de la vibración.

2.1. CIRCUITO HIDRÁULICO.

2.1.1. Descripción y funcionamiento.

El circuito hidráulico de todos los vibradores comercializados es muy parecido, ya que, responde a una misma función: dar potencia al motor hidráulico que acciona las masas excéntricas y dotar a la cabeza vibradora de los movimientos necesarios que permitan su fijación al árbol.

El sistema consta de dos circuitos independientes:

- 1) Circuito de generación de vibración.
- 2) Circuito de movimientos del vibrador.

Ambos toman el aceite de un mismo depósito o tanque situado en la parte trasera del tractor a través de dos bombas hidráulicas, una para cada circuito, accionadas por la tdf del tractor mediante una junta homocinética (doble cardan).

1) Circuito de generación de vibración.

Consta de los siguientes elementos:

- Bomba:

La bomba del circuito de vibrado es de engranajes simples y tiene los siguientes datos técnicos hidráulicos:

Caudal bomba (a 1500 RPM a 0 bar): 225 l/min

Cilindrada: 150 cm³/rev

Presión máx. continua: 175 bar

Presión máx. intermitente (5 seg. máx.): 200 bar

RPM máximas: 1750 rpm

RPM mínimas (según presión): 350 rpm (a 100 bar), 400 rpm (a 175 bar)

En la boca de aspiración de la bomba se dispone un filtro para evitar averías debidas a la suciedad del aceite.

- Distribuidor:

Distribuidor 4/2 de tipo paralelo de 1", paso libre como forma de retorno y accionamiento manual (por cable) desde la cabina del tractor. Está situado junto al depósito y recibe directamente el aceite de la bomba. Sus datos técnicos hidráulicos son:

Presión máx. de trabajo: 350 bar

Caudal nominal: 300 l/min

Presión máx. en retorno: 80 bar (corredera estática), 10 bar (durante accionamiento corredera)

Fuerza accionamiento directamente en corredera: 35 kgf

Carrera corredera: 11 mm

Gama de viscosidades: 1'5°E ... 8°E

Gama de temperatura: -20°C ... +80°C

Incorpora dos válvulas:

- Válvula limitadora de presión del circuito de vibrado (válvula de seguridad). Taraje de la válvula (tipo de regulación tuerca y contratuerca) entre 80 y 180 bar y presión máxima de 250 bar.

- Válvula limitadora de presión para regulación de frenado.

Permite la salida de fluido hacia el motor hidráulico, a través de la primera válvula y/o el retorno directo al depósito previo paso por un filtro exterior.

- Motor:

Se consigue utilizando una bomba de engranajes pero cambiando el sentido de entrada del aceite. Los datos técnicos hidráulicos empleados son:

Caudal: 100 l/min ó 125 l/min (dependiendo del modelo de vibrador)

Cilindrada: 66'6 cm³/rev ó 83'3 cm³/rev (dependiendo del modelo de vibrador)

Presión máx. continua: 225 bar

Presión máx. intermitente (5 seg. máx.): 250 bar

RPM máximas: 3000

RPM mínimas (según presión): 400 rpm (a 100 bar), 450 rpm (a 175 bar), 550 rpm (a 220 bar).

La salida del motor se dirige al depósito, pasando por la válvula de regulación de frenada situada en el distribuidor y por el filtro exterior del retorno directo del mismo. Además, tiene otra salida de drenaje para eliminar el sobrante de caudal.

El motor se ubica debajo de la cabeza vibradora y en su parte trasera, anclado en una bancada y protegido por una placa. Su eje se une por una brida a la polea motriz.

- Tuberías y elementos de unión:

El circuito de generación de vibración tiene dos tuberías principales:

- Tubería de alimentación del motor:

Sale de la bomba y llega hasta el motor hidráulico. Está formada por cuatro tramos: el primero, tubería flexible, une la bomba con el distribuidor; el segundo, también flexible; el tercero, que recorre todo el brazo de elevación, es de tubería rígida de acero; y el cuarto, que entra en el motor, es de tubería flexible.

La tubería flexible está fabricada con un forro interior de caucho sintético, resistente a los aceites, un trenzado metálico y revestimientos de acero de alta resistencia, y un forro exterior de caucho sintético negro resistente a la abrasión. Permiten transportar el fluido de un punto fijo (bomba) hasta otro móvil (motor) absorbiendo las vibraciones.

Toda la tubería de presión es de 1 pulgada de diámetro interior.

- Tubería de retorno:

Conduce el caudal que ha pasado por el motor al depósito del aceite. Tiene tres tramos: el primero, tubería flexible, de salida del motor; el segundo, de tubería rígida, recorre todo el brazo de elevación junto al tramo de la tubería de presión; y el tercero, tubería flexible, llega hasta el distribuidor. La unión con el depósito se realiza mediante una tubería flexible que lleva intercalado el filtro exterior.

Toda la tubería de retorno es de 1 ¼ pulgada de diámetro interior.

Además, hay una tubería para evacuar el sobrante del motor, que está dividida en tres tramos, siendo también el intermedio rígido de acero y situado sobre el brazo de elevación, y vierte directamente a tanque.

La unión entre tuberías o entre tuberías y componentes de la instalación se hace mediante racores con sistema de rosca Gas, de idénticas características que el B.S.P. pero con rosca cónica de 6'26% de pendiente y estanqueidad por el propio filete de rosca que puede mejorarse mediante productos anaeróbicos (resinas) o cinta de teflón. Las mangueras flexibles llevan los racores o enganches del terminal encajados a presión.

2) Circuito de movimientos del vibrador.

Consta de los siguientes elementos:

- Bomba:

Bomba de engranajes, unida a la del circuito de generación de vibración. El conjunto es accionado por la tdf del tractor.

- Distribuidor:

Distribuidor 4/3 de tipo paralelo de 3/8", retorno con presión y accionamiento manual (por cable) desde la cabina del tractor. Está situado al final del brazo de elevación izquierdo (mirando de frente al vibrador) y se compone de seis cuerpos (distribuidores sueltos que se montan en bloque y van conectados en paralelo) que permiten el paso del aceite a los actuadores (cilindros hidráulicos) que posibilitan los movimientos del vibrador:

- Elevación de los brazos de elevación y de la cabeza vibradora
- Accionamiento pinza (más conocido como apreite de la pinza)
- Inclinación lateral
- Avance longitudinal ("telescopio")
- Movimiento horizontal
- Movimiento vertical

Sus datos técnicos hidráulicos son:

Presión máx. de trabajo: 350 bar

Caudal nominal: 50 l/min

Presión máx. en retorno: 80 bar (corredera estática), 10 bar (durante accionamiento corredera)

Fuerza accionamiento directamente en corredera: 18 kgf

Carrera corredera: 5'5 mm

Gama de viscosidades: 1'5°E ... 8°E

Gama de temperatura: -20°C ... +80°C

Incorpora dos válvulas:

- Válvula limitadora de presión del circuito de movimientos (válvula de seguridad).
- Válvula limitadora de presión, para impedir que se cierre la pinza por su propio peso cuando esté inclinada y abierta. Se dispone sobre el cuerpo de accionamiento de la pinza.

- Cilindros hidráulicos:

Se utilizan un cilindro de simple efecto en cada brazo de elevación y cinco de doble efecto para el resto de los movimientos de la cabeza vibradora.

Están fabricados con tubo de acero de alta calidad con acabado interior que asegura un mínimo de rozamiento, consiguiendo una larga duración de las juntas. El vástago es de acero protegido contra la oxidación ambiente y desgaste.

- Tuberías y elementos de unión:

El circuito de movimientos del vibrador tiene dos tuberías principales:

- Alimentación del distribuidor
- Retorno del distribuidor.

Ambas son de 1/2 pulgada de diámetro interior y tienen un tramo rígido sobre el brazo de elevación y dos flexibles en la salida o entrada al depósito o al distribuidor.

De los diferentes cuerpos del distribuidor parten las tuberías flexibles (3/8 de pulgada) que accionan los cilindros.

El sistema de rosca utilizado en los racores también es el Gas cónico.

Los dos circuitos están conectados mediante una tubería flexible que toma aceite del circuito de vibración y lo aporta al cilindro de accionamiento de la pinza para ayudar a éste en el apriete del árbol durante la vibración, previo paso por una válvula antirretorno y una válvula reguladora de presión.

Por último, decir que el aceite recomendado para el circuito se clasifica según la categoría CETOP “HM” (aceite minerales que posean propiedades antioxidantes, anticorrosivos y antidesgaste) y clase ISO 3448 “68” que corresponde a la viscosidad cinemática media de la clase medida en cst, expresada a 40°C y definida por un intervalo de viscosidades mínima (61.2 cst) y máxima (74.8 cst).

Funcionamiento.

Como hemos visto, los dos circuitos tienen funcionamiento independiente y sólo están conectados durante la fase de vibrado por una derivación hacia el cilindro de accionamiento de la pinza.

En la cabina del tractor, en la parte derecha del volante de la dirección, se ubica un soporte con siete mandos para accionar, a través de un cable, las correderas de los cuerpos de los distribuidores y dar paso al aceite a los diferentes cilindros y al motor.

Siempre que la tdf del tractor esté funcionando, acciona las bombas las cuales aspiran a través del filtro el aceite contenido en el depósito, enviando un caudal a una presión máxima regulada por las válvulas de seguridad. Si el vibrador está en reposo, el fluido vuelve directamente al tanque previo paso por el filtro de retorno.

Cuando queremos mover el vibrador y la cabeza vibradora (circuito de movimientos) para fijar la máquina a un árbol, actuamos sobre el mando correspondiente al movimiento requerido con lo que en el distribuidor 4/3 correspondiente se cierra la vía de paso libre (retorno) y se abren las vías que estaban cerradas haciendo que el vástago del cilindro se mueva en un sentido o en el inverso, según lo elijamos en la palanca.

Cuando queremos vibrar un árbol (circuito de vibración) actuamos sobre el mando de vibrado y en el distribuidor 4/2, la vía de paso libre es cortada y el aceite es desviado por la tubería de alimentación del motor hasta éste. El motor transmite su giro a las masas excéntricas originándose así la vibración. Si se supera la presión de taraje de la válvula de seguridad del distribuidor, parte del caudal se deriva al retorno.

La derivación hacia el cilindro de accionamiento de la pinza incorpora una válvula antirretorno y una válvula limitadora de presión. Si apretamos la pinza y no hay vibración, la válvula antirretorno impide que pase aceite en sentido inverso (hacia el circuito de vibración) y se vaya desapretando. La válvula reguladora de presión se dispone para evitar, durante la vibración, las puntas de presión debidas a la reacción del árbol.

2.1.2. Principales parámetros de estudio en el circuito. Obtención del balance de potencias

El conocimiento del circuito hidráulico del vibrador nos permite determinar los principales parámetros que lo definen (Tabla 3).

Tabla 3. Principales parámetros que definen el circuito hidráulico del vibrador.

Elemento del circuito	Parámetro
Motor térmico de accionamiento (motor del tractor a través de la tdf)	Par en la tdf (Mtdf) Velocidad angular de la tdf (RPMtdf)
Bomba hidráulica	Presión (a la salida) de la bomba (Psb) Caudal (a la salida) de la bomba (Qsb)
Motor hidráulico	Presión a la entrada del motor (Pm) Presión a la salida del motor (Pret) Caudal (a la salida) del motor (Qm) Velocidad angular (RPMmh)
Cilindro de apriete de la pinza	Presión en el cilindro de apriete (Pap)
Válvulas: * Limitadora de presión (distribuidor del circuito de generación de vibración). * Limitadora de presión para regulación de frenado (distribuidor del circuito de generación de vibración) * Reguladora de presión (derivación al cilindro de accionamiento de la pinza)	Presión a la entrada del motor Presión a la salida del motor Presión en el cilindro
Fluido de transmisión de potencia (aceite)	Temperatura

A partir de ellos podemos controlar el comportamiento del vibrador para:

- comprobar posibles averías, y sobre todo
- determinar el funcionamiento de modelos comercializados o prototipos industriales.

Pero, fundamentalmente, nos interesa establecer la eficiencia energética del sistema, para lo cual definimos el balance de potencias:

- Potencia mecánica demandada al motor de la unidad tractora a través de la tdf (N_{tdf}):

$$N_{tdf} = M_{tdf} \cdot \omega_{tdf}$$

Donde: M_{tdf} = Par en la tdf

ω_{tdf} = Velocidad angular de la tdf (la simbolizamos, RPMtdf)

- Potencia hidráulica suministrada por la bomba (N_b):

$$N_b = P_{sb} \cdot Q_{sb}$$

Donde: P_{sb} = Presión a la salida de la bomba

Q_{sb} = Caudal a la salida de la bomba

- Potencia hidráulica recibida por el motor (N_m):

$$N_m = (P_m - P_{ret}) \cdot Q_m$$

Donde: P_m = Presión a la entrada del motor

P_{ret} = Presión a la salida del motor

Q_m = Caudal a la salida del motor

La misión de la bomba hidráulica es la de transformar en energía hidráulica la energía mecánica que se le comunica (un par y una velocidad de rotación). En el motor hidráulico se realiza la transformación inversa: la energía de presión contenida en el fluido se transforma en mecánica, mediante un eje giratorio suministrando una velocidad y un par de giro. Por tanto, la principal característica de estos elementos es el rendimiento de los mismos.

2.2. SISTEMA MECÁNICO DE GENERACIÓN DE VIBRACIÓN

2.2.1. Descripción.

Las casas de maquinaria agrícola que fabrican vibradores de inercia de masas excéntricas consiguen la transmisión de potencia desde el motor hidráulico a las masas excéntricas de diversas formas (Porrás, 1987).

El vibrador empleado en nuestros ensayos utiliza un solo motor y una correa trapezoidal única para las dos poleas soporte de las masas excéntricas, consiguiendo invertir su giro al utilizar ambas caras de la correa (Figura 3).

- Polea motriz:

De canal trapezoidal, es accionada directamente por el eje del motor hidráulico, que se sitúa debajo de ella y se une mediante una brida. El conjunto va ubicado en la parte posterior de la cabeza vibradora y es accesible por un registro practicado sobre la chapa superior de la carcasa.

- Poleas soporte de las masas excéntricas:

Se colocan una encima de la otra separadas por una arandela y van unidas mediante rodamientos a un eje fijado en ambos extremos a la carcasa. La polea superior es de canal plana o rectangular y la inferior de canal trapezoidal.

El conjunto está situado en el centro de la cabeza y cubierto por una chapa metálica circular que se atornilla sobre la carcasa.

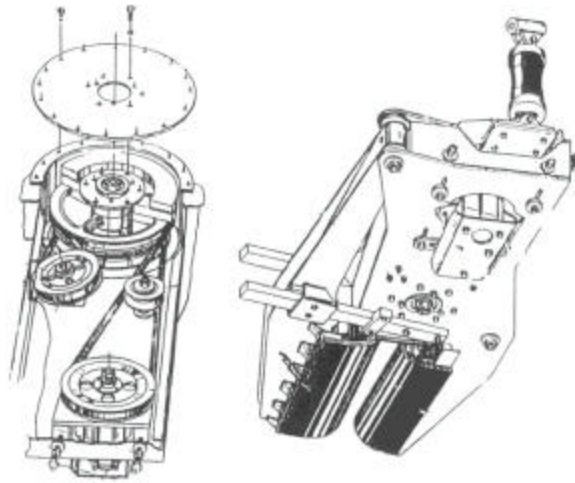


Figura 3. Cabeza vibradora. Sistema de accionamiento de las masas y vista inferior (doc. Halcón).

- Masas excéntricas:

Construidas en la forma clásica de sector circular, se colocan sobre cada una de las poleas soporte sujetándose con tornillos. Su masa y radio de excentricidad son características fundamentales para determinar la fuerza producida por el vibrador.

- Polea guía:

Como su nombre indica, sirve para guiar la correa evitando que se descentre y pueda salirse. Es de canal trapezoidal.

- Polea inversora:

Es de canal trapezoidal para poder invertir el lado de la correa, ya que llega a ella trapezoidal procedente de la polea superior y tiene que cambiarlo a plano para que funcione la polea inferior.

2.2.2. Características de la vibración generada.

2.2.2.1. Cinemática del vibrador multidireccional.

Consideramos un vibrador de inercia con dos masas excéntricas, m_1 y m_2 , que giran con velocidades angulares opuestas, ω_1 y ω_2 , alrededor del mismo o de distinto eje. De esta forma se genera un movimiento en el plano que tiene múltiples direcciones (multidireccional) y recibe el nombre de “estrella de vibración”. Cada punta de la estrella se forma al superponerse las masas en un determinado instante, de manera que el número de direcciones en las que se mueve la cabeza vibradora o el árbol durante la vibración, también llamado número de puntas de las estrellas (n), viene determinado por la siguiente expresión:

$$n = \frac{\omega_1 + \omega_2}{\omega_1 - \omega_2} \quad (1)$$

en la que suponemos $\omega_1 > \omega_2$.

Partimos de la situación inicial ($t = 0$) en la que las dos masas coinciden en el mismo punto 0. Definimos τ como el tiempo para que ambas masas vuelvan a coincidir en otro punto (en este caso punto 2) y α como el ángulo entre dos puntas contiguas, que viene dado por:

$$\alpha = \frac{2\pi}{n} \quad (2)$$

De esta forma, el espacio recorrido por las masas hasta llegar al punto 2 viene dado por:

$$2\mathbf{p} + \mathbf{a} = \mathbf{w}_1 \mathbf{t} \rightarrow \text{considerando(2)} \rightarrow \mathbf{t} = \frac{2\mathbf{p}}{\mathbf{w}_1} \left(1 + \frac{1}{n}\right)$$

$$2\mathbf{p} - \mathbf{a} = \mathbf{w}_2 \mathbf{t} \rightarrow \text{considerando(2)} \rightarrow \mathbf{t} = \frac{2\mathbf{p}}{\mathbf{w}_2} \left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

En el tiempo τ se describen dos puntas de la estrella, por tanto, las n puntas del total se describirán en el tiempo:

$$T = \frac{n\mathbf{t}}{2}$$

Luego,

$$T = \frac{2\mathbf{p}n}{2\mathbf{w}_1} \left(1 + \frac{1}{n}\right) = \frac{\mathbf{p}}{\mathbf{w}_1} (n+1) \rightarrow \text{considerando(1)} \rightarrow T = \frac{2\mathbf{p}}{\mathbf{w}_1 - \mathbf{w}_2} \quad (3)$$

$$T = \frac{2\mathbf{p}n}{2\mathbf{w}_2} \left(1 - \frac{1}{n}\right) = \frac{\mathbf{p}}{\mathbf{w}_2} (n-1) \rightarrow \text{considerando(1)} \rightarrow T = \frac{2\mathbf{p}}{\mathbf{w}_1 - \mathbf{w}_2} \quad (4)$$

En cuanto a la frecuencia f de la vibración será:

$$f = \frac{n/2}{T} = \frac{n/2}{\frac{\mathbf{p}}{\mathbf{w}_1} (n+1)} \rightarrow \text{considerando(1)} \rightarrow f = \frac{\mathbf{w}_1 + \mathbf{w}_2}{4\mathbf{p}}$$

O bien,

$$f = \frac{n/2}{\frac{\mathbf{p}}{\mathbf{w}_2} (n-1)} \rightarrow \text{considerando(1)} \rightarrow f = \frac{\mathbf{w}_1 + \mathbf{w}_2}{4\mathbf{p}} \quad (5)$$

Las fuerzas centrífugas, F_1 y F_2 , generadas por el movimiento de las masas, vienen definidas en módulo por las expresiones:

$$F_1 = m_1 \omega_1^2 r_1 \quad (6)$$

$$F_2 = m_2 \omega_2^2 r_2 \quad (7)$$

Donde r_1 y r_2 son los radios de excentricidad de las masas excéntricas m_1 y m_2 , respectivamente.

Las componentes, según los ejes cartesianos, de ambas fuerzas valen:

$$F_x = F_1 \cos \omega_1 t + F_2 \cos \omega_2 t$$

$$F_y = F_1 \sin \omega_1 t + F_2 \sin \omega_2 t$$

Y el módulo de la resultante:

$$\begin{aligned} F &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2(\cos \omega_1 t \cdot \cos \omega_2 t + \sin \omega_1 t \cdot \sin \omega_2 t)} = \\ &= \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos(\omega_1 t - \omega_2 t)} \end{aligned}$$

Siendo su valor eficaz:

$$F_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T F^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \left[(F_1^2 + F_2^2)t + \frac{2F_1F_2}{\omega_1 - \omega_2} \sin(\omega_1 t - \omega_2 t) \right]_0^T}$$

donde T ya ha sido definido en las expresiones idénticas (3) y (4). Sustituyendo su valor y resolviendo la ecuación, tenemos que:

$$F_{ef} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \quad (8)$$

El valor máximo de la resultante, $F_{\text{máx}} = F_1 + F_2$, determina en el tiempo un lugar geométrico de puntos (circunferencia exterior) en el que se sitúan las puntas de la estrella y, por tanto, donde se superponen ambas masas.

Cuando las masas están radialmente opuestas, la resultante adquiere el valor mínimo, $F_{\text{mín}} = |F_1 - F_2|$, que también va describiendo en el tiempo un lugar geométrico de puntos (circunferencia interior) siempre que se cumpla la condición $F_1 \neq F_2$. En caso contrario, éste quedará reducido a un punto.

Según esto y para determinar la forma de la estrella, hemos definido un parámetro al que llamamos Factor de Orbitalidad y cuya expresión es:

$$F_o = \frac{|F_1 - F_2|}{F_1 + F_2} \quad (9)$$

El intervalo de valores que puede tomar está entre 0 y 1, de tal forma que:

Si $F_o = 0 \rightarrow |F_1 - F_2| = 0 \rightarrow$ “Estrella pura” ($F_1 = F_2$)

Si $F_o = 1 \rightarrow |F_1 - F_2| = F_1 + F_2 \rightarrow$ “Circunferencia pura” (F_1 ó $F_2 = 0$)

Obteniéndose una vibración multidireccional “pura” u orbital “pura”, respectivamente.

2.2.2.2. Caracterización de la vibración.

Hemos caracterizado la vibración de un vibrador de inercia de masas excéntricas con cuatro parámetros:

1. Número de puntas (n).
2. Factor de Orbitalidad (F_O).
3. Valor eficaz de la resultante de las fuerzas centrífugas generadas por las masas excéntricas (F_{ef}).
4. Frecuencia de la vibración (f).

2.2.3. Principales parámetros de estudio.

Los parámetros empleados en la descripción tanto de la vibración generada por el vibrador como de la recibida por el árbol o poste son los siguientes :

- Valor eficaz
- Frecuencia
- Eficacia de la transmisión de la vibración

1) Valor eficaz.

La amplitud de las vibraciones puede ser definida a partir de diferentes valores : valor pico a pico, valor pico, valor medio o valor eficaz. De todos el más significativo es el valor eficaz, o RMS en terminología inglesa (“root mean square”), que representa la raíz cuadrada del valor cuadrático medio y cuya expresión matemática es :

$$x_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$$

donde $x(t)$ es la función temporal que representa el movimiento del sistema (desplazamiento, velocidad o aceleración) y T el intervalo de tiempo considerado.

Se considera importante tanto en señales periódicas como en aleatorias, debido a su relación directa con la cantidad de energía de la señal.

En los instrumentos de medida puede ser obtenido de dos formas : promediado temporal de tipo exponencial y promediado temporal lineal.

En el primer caso se da mayor importancia a la parte más reciente de la señal temporal, multiplicando su cuadrado por una función exponencial ; con ello se obtienen valores eficaces cambiantes en el tiempo, lo que limita la utilidad de este parámetro. Alternativamente, el promediado lineal da la misma importancia a todas y cada una de las partes de la señal, que influirán de igual modo en el valor eficaz.

En el presente trabajo ha sido utilizado el valor eficaz en la caracterización del régimen permanente de la vibración, estimando la aceleración en la cabeza vibradora y en el árbol o poste en dos direcciones perpendiculares contenidas en un plano. Dichas direcciones se han denominado longitudinal o dirección X, por seguir el eje homónimo del tractor, y transversal o dirección Y.

La medida de aceleración se realiza en el centro de gravedad de la cabeza vibradora y en un punto del árbol situado a la altura del agarre de la pinza, considerando como tal la que determina la mitad del alto de las almohadillas.

La determinación de la aceleración eficaz de la cabeza vibradora en régimen permanente de vibración, $A_{ef,p}$, se consigue gracias a la siguiente expresión :

$$A_{ef,p} = \sqrt{X_p^2 + Y_p^2}$$

donde : X_p = aceleración eficaz de la cabeza vibradora en el régimen permanente de la vibración en dirección longitudinal

Y_p = aceleración eficaz de la cabeza vibradora en el régimen permanente de la vibración en dirección transversal

De igual forma, $A_{ef,a}$ representa la aceleración eficaz del árbol o poste en el régimen permanente de vibración, viniendo definida por :

$$A_{ef,a} = \sqrt{X_a^2 + Y_a^2}$$

donde : X_a = aceleración eficaz del árbol o poste en el régimen permanente de la vibración en dirección longitudinal

Y_a = aceleración eficaz del árbol o poste en el régimen permanente de la vibración en dirección transversal

Para la medición en cualquier otro punto de la cabeza vibradora o del árbol o poste, las expresiones que permiten el cálculo de esta aceleración eficaz son similares a las anteriores.

2) Frecuencia.

Para la determinación del contenido en frecuencias de una señal se utiliza el Análisis Espectral. Para ello, y a partir del Análisis de Fourier, se consigue la descomposición de una función periódica, por compleja que sea, en sus componentes armónicas, sintetizándose con la suma de dichas componentes. Es decir, una función $X(t)$ periódica del tiempo t puede expresarse como una serie infinita de términos trigonométricos denominada serie de Fourier:

$$X(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \left(a_k \cos \frac{2\pi kt}{T} + b_k \sin \frac{2\pi kt}{T} \right)$$

donde T es el periodo y a_0 , a_k y b_k son los coeficientes de Fourier.

Las expresiones correspondientes a las distintas frecuencias representan el espectro en frecuencia de la vibración.

La descomposición de la función en componentes de frecuencia discreta no será posible cuando ésta no sea periódica ($T \rightarrow \infty$). La serie de Fourier se convertirá entonces en la Integral de Fourier, mientras que los coeficientes a_0 , a_k y b_k serán ahora funciones continuas de la frecuencia, denominadas transformadas de Fourier.

Las medidas experimentales se llevan a cabo mediante técnicas digitales, por lo que la señal temporal continua, $X(t)$, se desconoce, disponiéndose únicamente de los puntos muestreados en el proceso. Al utilizar una señal discreta, no continua, el algoritmo de Análisis de Fourier da como resultado un espectro frecuencial, también discreto, que recibe por ello el nombre de Transformada Discreta de Fourier, DFT en terminología inglesa (“Discrete Fourier Transform”).

La Transformada Rápida de Fourier, FFT en terminología inglesa (“Fast Fourier Transform”), es un algoritmo matemático utilizado en el cálculo de transformadas discretas de Fourier. Su desarrollo por Tukey y Cooley en 1.965 hizo cambiar considerablemente el enfoque del Análisis Espectral : en lugar de iniciar el cálculo de los espectros por el de las estimaciones discretas de la correspondiente función de correlación y continuar con el de su DFT, resulta más rápido el cálculo directo de la DFT de la serie temporal discreta original y luego manipular esa sucesión transformada para obtener las estimaciones espectrales requeridas (Newland, 1983).

La FFT opera con la partición de la serie temporal discreta en un cierto número de series más cortas a las que se le calcula la DFT. La DFT de la serie completa se obtendrá por combinación de las DFT de dichas series mediante la FFT. El cálculo directo de DFT requerirá N^2 multiplicaciones, siendo N el número de muestras de la serie temporal discreta. Mediante el algoritmo FFT el número de multiplicaciones se verá reducido hasta, aproximadamente, $N \cdot \log_2 N$.

Por tanto, son dos las ventajas que se obtienen con la utilización de la FFT, ventajas que lo convierten en el método más utilizado de forma práctica en Analizadores de Señales Dinámicas : reducción del tiempo empleado en el proceso y mejora de la precisión en los cálculos, debido a que el menor número de operaciones necesarias provoca la reducción simultánea del número de errores generados con el redondeo

Sin embargo, el aumento de velocidad de cálculo que proporciona la FFT ocasiona, como contraposición, dos restricciones :

- 1) Limitación de la longitud de la serie temporal. El número de muestras, N , tendrá que ser una potencia de 2 (2^n), debido a la definición del algoritmo. Este requisito posibilita la partición reiterada de la serie original hasta conseguir que las últimas series consten de un solo término.

Se considera aquí la denominada “FFT de base 2”, aunque si N no es una potencia de 2, pero contiene otros factores, la mera modificación de la ecuación base de método posibilita su aplicación. No obstante, la programación más sencilla de los instrumentos de cálculo, junto con la posibilidad de prolongar artificialmente una serie por adición de ceros, implica que la restricción $N = 2^n$ no presente problemas en la mayoría de las aplicaciones.

La limitación de la longitud de la serie origina la segunda de las restricciones, que a continuación se comenta.

- 2) El algoritmo FFT requiere que la serie temporal a evaluar, además de tener una longitud $N = 2^n$, contenga un número entero de periodos.

Al tener que emplear una longitud exacta de datos no se consigue, en la mayoría de los casos, que la serie contenga, además, un número entero de periodos. Es entonces cuando surge el problema conocido como “discontinuidad o error en el punto final”, “end-point error” en terminología inglesa. Como consecuencia de ello se produce un efecto de

“derrame”, o reparto de energía, desde la frecuencia original hacia las frecuencias cercanas, conocido como “leakage” (Randall y Tech, 1987).

Para la minimización de este efecto, y la obtención de un cálculo correcto del espectro de frecuencias, bastará con multiplicar, antes del cálculo de la FFT, la serie temporal por una función, conocida como “ventana de ponderación”; esta función atenuará la discontinuidad por aproximación de la señal a cero en ambos extremos de la ventana.

Existen diversas formas de representación del espectro de frecuencias en función de la unidad utilizada en la definición de la amplitud. Así, para señales deterministas, es decir, aquéllas que pueden ser descritas siempre por una expresión matemática definitoria de la variación de la vibración considerada con el tiempo, se emplea el valor eficaz y el valor cuadrático medio; en señales aleatorias, aquéllas que sólo pueden ser descritas por parámetros estadísticos, se utilizará la Densidad Espectral de Potencia, PSD en terminología inglesa, definida, en unidades absolutas, como u^2/Hz , donde, en este caso, u representa el valor eficaz.

3) Eficacia de la transmisión de la vibración.

Se ha constatado la importancia de la estructura del árbol en la transmisión de la vibración del tronco a los ramones fructíferos y la dificultad que presenta abordar teóricamente el comportamiento de un sistema tan complejo.

Para ello es necesario, buscar un parámetro que determine la eficacia de transmisión. El porcentaje de derribo de frutos ha sido usado en general para medir la respuesta del árbol a la vibración, siendo el parámetro final óptimo. A veces se hace necesaria la búsqueda de un criterio alternativo, ya que, al realizar un número elevado de ensayos sucesivos sobre los mismos árboles, resulta inviable considerar el porcentaje de derribo.

La vibración aplicada en punto del árbol se transmite al fruto, a través de las ramas, ocasionando su caída. El derribo de los frutos será, pues, un indicador positivo de la energía de vibración transmitida. Sin embargo, y debido a la dificultad de aplicación de la

misma cantidad de energía de vibración, se hace necesaria la especificación de un criterio que permita definirla con independencia de su valor de entrada. Para ello se utiliza la relación entre la energía de vibración aplicada y la recibida por el árbol.

La respuesta de un sistema a una excitación determinista puede establecerse mediante el método de la respuesta frecuencial, consistente en la determinación de las características dinámicas de un sistema sometido a una entrada sinusoidal. La relación de amplitudes de las señales de salida (respuesta) y entrada (excitación), junto con el ángulo de fase, definen las características de transmisión del sistema a una determinada frecuencia fija. Ambas magnitudes pueden representarse conjuntamente mediante un número complejo denominado Función (compleja) de Respuesta Frecuencial, $H(f)$, o Función de Transferencia, donde f es la frecuencia.

Gil (1979), propone la relación entre las aceleraciones eficaces en el punto ensayado y en el punto de agarre como criterio para evaluar la transmisión de la vibración, definiendo así el parámetro “Eficacia de la transmisión de la vibración” (E_m).

En el presente trabajo se utiliza el parámetro E_m , aplicándolo, principalmente, al estudio de la transmisión pinza-árbol. Este parámetro se define de la siguiente forma :

$$E_m = \frac{A_{ef,a}}{A_{ef,p}}$$

E_m podrá utilizarse, igualmente, para relacionar la aceleración eficaz de la cabeza vibradora con la obtenida como respuesta en cualquier otro punto de medida, tanto en dicha cabeza como en el árbol o poste.

En ensayos comparativos entre modelos de cabezas vibradoras y entre diversas modificaciones efectuadas en las características vibratorias, se ha utilizado el Porcentaje de Derribo (PD) como parámetro.

2.3. DISEÑO DE UN MÉTODO DE ENSAYO DE VIBRADORES.

Una vez descritos los parámetros que se proponen para el estudio del vibrador, se plantea la necesidad de obtener valores de los mismos, para lo cual es necesario realizar pruebas en las que se someta a la máquina a diferentes condiciones de funcionamiento y que sean representativas de su actuación en campo. En este sentido, ya se hizo referencia en los Antecedentes al ensayo de máquinas agrícolas, para dejar constancia de la importancia que tiene como fuente de información tanto para el usuario como para el fabricante.

Para el caso de los vibradores de troncos, proponemos la metodología de ensayo necesaria para caracterizar su funcionamiento. Se puede estructurar en dos fases:

- Fase 1: Ensayos de laboratorio.

Deben fundamentarse en el estudio de:

- Eficiencia del sistema mecánico-hidráulico de generación de vibración.

Obtención del balance de potencias: potencia mecánica de accionamiento a través de la tdf, potencia hidráulica de salida de la bomba y potencia hidráulica absorbida por el motor.

La mejora de los circuitos hidráulicos de los vibradores debe llevar, junto con la aplicación de una vibración más eficaz, a una reducción de la potencia necesaria y posibilitar el uso de tractores de menor potencia y más adecuados al resto de operaciones mecanizadas en el olivar, suponiendo una reducción fundamental en los costes de mecanización.

- Comportamiento del sistema pinza-poste o árbol.

Medida de la vibración de la pinza y del poste o árbol en dos direcciones ortogonales, para obtener la aceleración en un plano. Se persigue optimizar la transmisión de vibración.

Las medidas en laboratorio deben ser de tres formas:

- 1) Ensayo del vibrador en vacío: al vibrador suspendido se le hace vibrar a diferentes velocidades.
- 2) Ensayo del vibrador en poste de ensayos: se fija el vibrador a un poste o árbol artificial de características determinadas.

El poste debe situarse en la fábrica y permite que la máquina y cualquier modificación realizada sobre ella se pueda probar de forma inmediata, sin necesidad de tener que desplazarse al campo, lo que conlleva una considerable pérdida de tiempo en el proceso de producción y no siempre es posible porque no se deben vibrar árboles cuando la savia está activada.

Frente a los tradicionales postes de ensayos, proponemos un poste móvil, que sea fácilmente transportable (para poder llevarlo al sitio de la fábrica que más interese) y reparable (para poder sustituirlo por otro en caso de rotura, simplemente sacándolo de la base). Al diseño y construcción de este poste se hará referencia en el apartado 4.1.3.2.

- 3) Ensayo del vibrador en árbol: Una vez ensayado el vibrador o sus modificaciones en fábrica (poste), podemos comprobarlos en árboles de diferentes tamaños para corroborar los resultados obtenidos en poste o para retocar las modificaciones.

- Fase 2: Ensayos en condiciones de campo.

Comprobación de la máquina en condiciones reales de trabajo en campo. Permite además caracterizar la operación de vibrado, determinando los tiempos empleados y los rendimientos de trabajo.

En el apartado 4 se hace la descripción detallada de cómo se realiza cada tipo de ensayo y los parámetros medidos.

3. EQUIPO DE CAPTURA, ALMACENAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.

3.1. INTRODUCCIÓN.

Las características de funcionamiento del vibrador determinan una serie de parámetros que nos interesa estudiar para evaluar su comportamiento (apartados 2.1.2. y 2.2.3.) a través de una serie de ensayos en laboratorio y campo.

Estos ensayos van a definir dos equipos de medida:

- 1) Equipo de medida utilizado en ensayos en poste y árbol.
- 2) Equipo de medida utilizado en ensayos en condiciones de campo.

Ambos casos representan un Sistema de Adquisición de Datos (SAD) convencional que convierte la señal continua analógica proveniente de los sensores en una señal digital que puede ser procesada en un ordenador. Los componentes del SAD se han agrupado en tres subsistemas: captura (sensores), acondicionado y almacenamiento (tarjeta A/D y “software”). Toda esta instrumentación es directamente utilizada en los ensayos, obteniéndose ficheros con datos procedentes de los sensores empleados, que se almacenan en la memoria del ordenador. Esta información será posteriormente analizada de forma exhaustiva, en lo que constituye el trabajo de gabinete, para el cual se utiliza un “software” descrito junto al sistema de almacenamiento.

El desarrollo de los ensayos de esta tesis ha aportado, junto con los datos de los principales parámetros en estudio, una gran experiencia en la elección de los equipos de medida que queda reflejada en la evolución de los mismos orientada siempre hacia equipos ajustados a los rangos de medida, robustos y fácilmente transportables, dada la especificidad del trabajo en condiciones de campo. En este sentido, se presentan, dentro de los equipos de ensayo en poste y árbol, dos variantes (nombradas Variante 1 y Variante 2). Aunque cambian algunos de los sensores, la diferencia principal es que la primera variante incorpora un ordenador de sobremesa mientras que en la segunda se utiliza un portátil

además de un sistema de acondicionamiento más reducido, con lo cual se reduce el espacio ocupado en el tractor y en el vehículo de apoyo confiriéndole movilidad al conjunto.

3.2. EQUIPO DE MEDIDA UTILIZADO EN ENSAYOS EN POSTE Y ÁRBOL.

3.2.1. Sistema de captura (sensores).

El principal elemento de un sistema electrónico básico de medida es el sensor o transductor. Un transductor es un dispositivo que convierte la magnitud que se desea medir en una salida eléctrica utilizable.

La descripción de un transductor se basa principalmente en dos características: magnitud física de medida y principio de transducción en el que se fundamenta.

Vamos a realizar la clasificación de los sensores utilizados atendiendo a la primera característica, es decir, la magnitud física medida.

3.2.1.1. Sensores de presión.

Los sensores utilizados tienen principio de transducción por galgas extensométricas, es decir, se produce la conversión de cambios de presión en cambios de resistencia debido a la deformación de 4 galgas sobre una membrana que modifican su resistencia en los 4 brazos de un puente de Wheatstone. El diafragma o membrana es el elemento sensor utilizado y las galgas se aplican sobre él.

En la Tabla 4, se describen todos los sensores de presión utilizados y la medida que realizan en el circuito hidráulico del vibrador.

Tabla 4. Sensores de presión.

MEDIDA	VARIANTE 1			VARIANTE 2		
	MARCA	MODELO/ N° SERIE	SENSIBILIDAD	MARCA	MODELO/ N° SERIE	SENSIBILIDAD
P _{sb}	SENSOTEC	060-8144-02/ 574041	200 bar/4'9403 V	Parker	SCPT-600-0-02	600 bar/3 V
P _m	SENSOTEC	060-8144-02/ 574039	200 bar/4'9702 V	DRUCK	PMP1400/ S0067/09	250 bar/5 V
P _{ret}	SENSOTEC	060-8144-01/ 580915	350 bar/5'1384 V	DRUCK	PMP1400/ S00670/05	250 bar/5 V
P _{ap}	SENSOTEC	060-8144-01/ 580916	350 bar/5'1360 V	EFECTOR	PA9020	400 bar/10 V

Las especificaciones técnicas de los sensores marca SENSOTEC se exponen a continuación:

Rango de presión: 35 a 700 bar (en nuestro caso 200 y 350 bar).

Sobrepresión: 150% del rango

Presión de retorno: 400% del rango

Excitación: 12 a 32 VDC

Resistencia del puente: 5000 Ω (Silicona), 350 Ω (Metal)

Salida: 0 a 5 VDC

Cero offset: $\pm 0.25\%$ F.E. a 25°C

Precisión: $\pm 0.5\%$ B.S.L.

Rango de temperatura de operación: -30°C a 85°C

Rango de temperatura compensado: +15°C a 70°C

Efectos de la temperatura: $\pm 1.0\%$ Banda del Error Térmico Total (TEB) sobre el rango de Temperatura Compensado a 25°C

Conector de posición: G 1/4 B Hembra (según BS 2779)

Conexiones eléctricas: "L" (según DIN 43650)

Material de la cubierta: acero

Peso: 165 gramos

Grado de protección: IP65

Los sensores de la variante 2 suponen las siguientes ventajas:

- Conectores más robustos y herméticos, con lo cual se impide la entrada de partículas evitándose así el deterioro de las conexiones. En los sensores SENSOTEC detectamos frecuentemente fallos por mal contacto entre el conector aéreo y su base en la cabeza del sensor debido a suciedad.
- El sensor para la medida de la P_{sb} se incorpora junto a un caudalímetro de la marca PARKER, conformando así un grupo compacto que agiliza el montaje en las tuberías y reduce el espacio ocupado a la salida del depósito.

Las especificaciones técnicas de los sensores marca DRUCK son las siguientes:

Rango de presión: 250 bar

Salida: 0 a 5 VDC

Error de linealidad e histéresis: $\pm 0.25\%$ B.S.L. máx

Efectos de la temperatura: Banda total de error: $\pm 2\%$ máx. sobre -20°C a $+80^{\circ}\text{C}$

Conexiones eléctricas: según DIN 43650

Grado de protección: IP65

Conector de presión: G 1/4 Hembra

Torsión de instalación: 16-20 N· m

Las especificaciones técnicas del sensor PARKER, piezorresistivo, se exponen a continuación (sólo hacemos referencia a la presión):

Entrada:

Rango de presión: modelo SCPT-600: 0 a 600 bar

Sobrepresión máxima: 1000 bar

Salida:

Señal de salida: 0 a 3 VDC

Error de linealidad: 0.35% F.E.

Error de repetición: 0.2% F.E.

Curva de desviación característica (banda de tolerancia): 0.5% F.E.

Carga: $\geq 2 \text{ m}\Omega$

Tiempo de respuesta: $< 1 \text{ mB}$

Ruido: $< 0.1\% \text{ F.E.}$

Frecuencia de resonancia: $\cong 100 \text{ KHz}$

Estabilidad en grandes períodos: $< 0.5\% \text{ F.E./a}$

Resistencia a choques: 100 g

Precisión: $\pm 1.5\%$ del rango de medida

Alimentación:

Alimentación adicional: 7 a 12 VDC

Requerimientos decorriente: $\leq 5 \text{ mA}$

Condiciones medioambientales:

Rango de temperatura de trabajo: $-20 \text{ a } +80 \text{ }^\circ\text{C}$

Rango de compensación de temperatura: $0 \text{ a } 85 \text{ }^\circ\text{C}$

Conexiones eléctricas:

No protección contra sobretensiones

Protección contra cortocircuitos

Conectores: tipo Lemosa, serie S, tamaño 1, 5 pin

Grado de protección: IP54

General:

Peso: 125 gramos

En las Figuras 4, 5, 6 y 7, se muestran los sensores de presión utilizados ubicándolos en el lugar del circuito donde efectúan la medida.

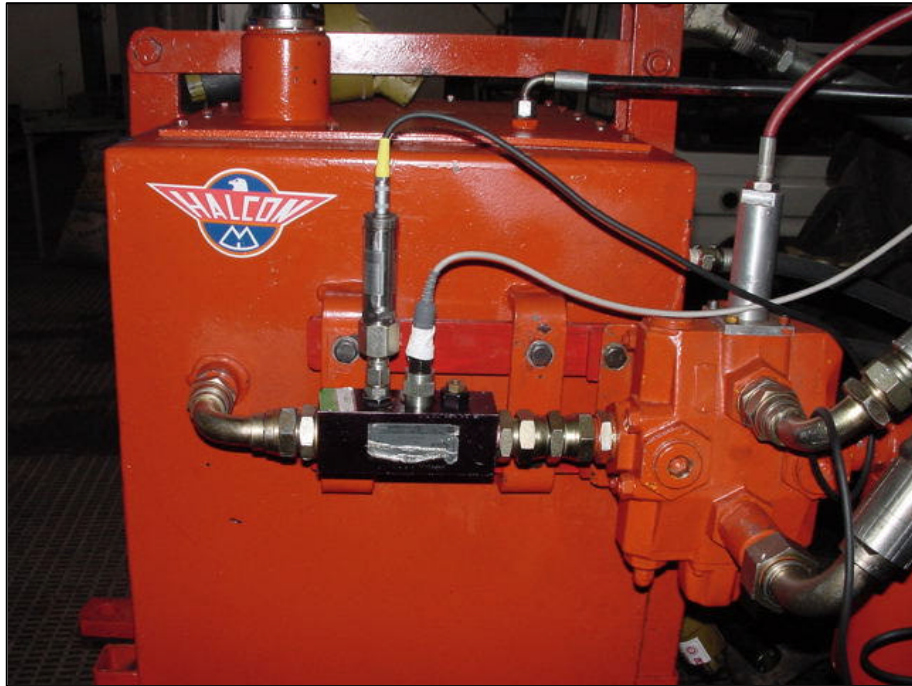


Figura 4. Sensores de caudal y presión para la medida en la bomba hidráulica.



Figura 5. Sensores de caudal y presión para la medida en el motor hidráulico.

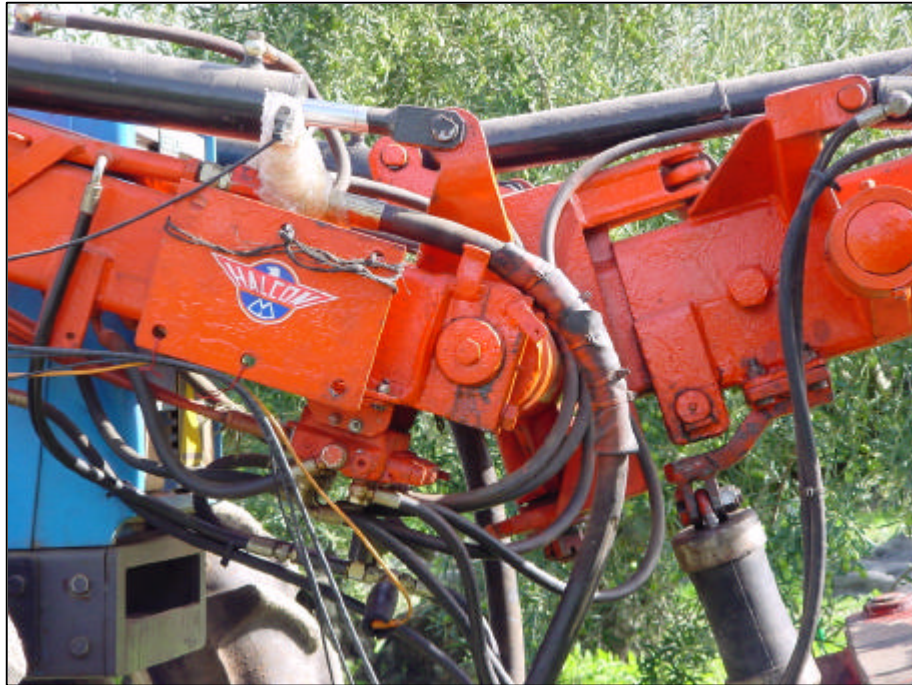


Figura 6. Sensores de presión para la medida a la entrada del motor y en el cilindro de apriete de la pinza.

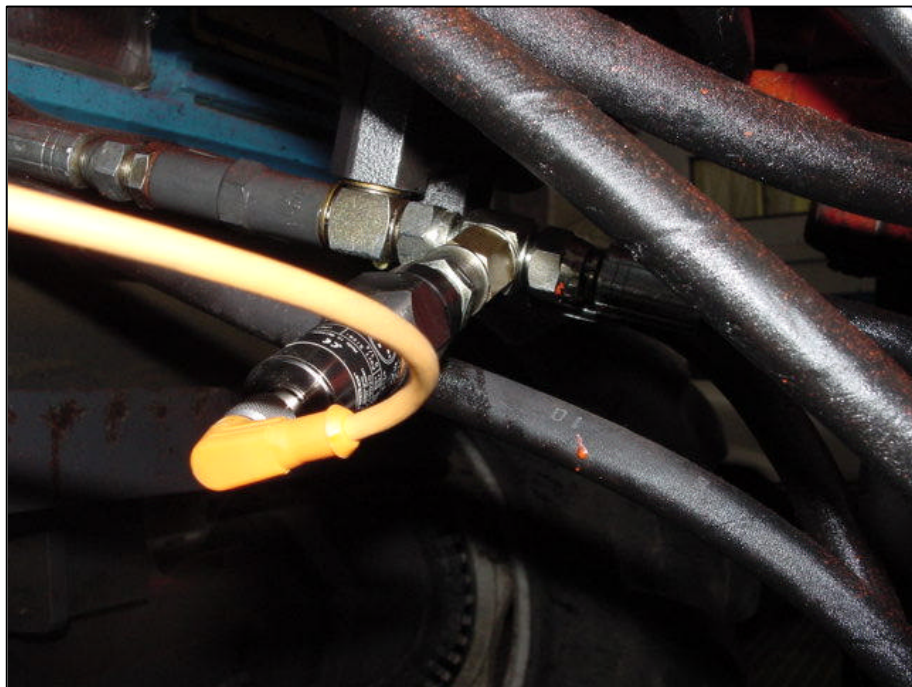


Figura 7. Sensor de presión para la medida en el cilindro de apriete de la pinza. Detalle.

3.2.1.2. Sensores de caudal

La medida del caudal mediante elementos sensores de flujo por rotación mecánica y en concreto los llamados medidores de caudal por turbina, son utilizados ampliamente. En concreto, nosotros hemos empleado tres (Tabla 5), para medir el caudal a la salida de la bomba hidráulica (Q_{sb}) (Figura 4), caudal después del distribuidor de vibrado (Q_{sbd}) y caudal en el motor hidráulico (Q_m) (Figura 5).

Tabla 5. Sensores de caudal (se referencian las medidas que se han realizado con cada uno, ordenándolas cronológicamente: 1ª, 2ª y 3ª etapa).

Caudalímetro		Medida		
MARCA	Modelo	1ª	2ª	3ª
PARKER	SCFT-300-01-02	Q_m	Q_m	Q_{sb}
PARKER	SCFT-600-01-02	Q_{sb}	Q_{sb}	
PARKER	SCFT-300-01-02		Q_{sbd}	Q_m

Estos sensores constan de una longitud de tubería en el centro de la cual hay un rotor de paletas múltiples, montado sobre cojinetes para que pueda girar con facilidad, y soportado aguas arriba y aguas abajo por un dispositivo de centrado tipo cruceta que, habitualmente, incorpora un enderezador de la vena fluida. El rotor está diseñado para que convierta la velocidad lineal del flujo en un equivalente de velocidad angular del rotor. Se utiliza una técnica de transducción electromagnética, de tal forma que la señal de salida es una frecuencia proporcional a la velocidad volumétrica del flujo, que puede ser de forma senoidal o de pulsos, producida al detectarse el paso de cada paleta alrededor del sensor situado en el cuerpo del medidor. De esta forma, la sensibilidad de un medidor de flujo por turbina se expresa como el coeficiente de flujo, en hertz (ciclos) por m^3 .

Las características técnicas de los caudalímetros de la marca PARKER son las siguientes:

Rango de caudal: modelo SCFT-300: 15 a 300 l/min

modelo SCFT-600: 30 a 600 l/min

Presión: modelo SCFT-300: 400 bar

modelo SCFT-600: 350 bar

Error: $\pm 1\%$ F.E.

Rango de temperatura: -20 a +150°C

Tiempo de respuesta: aprox. 200 ms

Viscosidad de calibración: 30 cst

Rosca: modelo SCFT-300: 1" BSP Hembra

modelo SCFT-600: 1 ¼" BSP Hembra

Conexiones eléctricas: conector tipo DIN

Material de la cubierta: aluminio resistente a la corrosión

Peso: modelo SCFT-300: 1500 gramos

modelo SCFT-600: 2500 gramos

Convertidor de señal:

Entrada: 10 a 2000 Hz (10-100 mVss)

Salida: 0 a 3 V

Precisión: $\leq 0.3\%$

Ondulación de salida: ≤ 5 mv

Carga: ≥ 10 k Ω

Desviación térmica: $\leq 0.05\%$ F.E.

Tiempo de respuesta: aprox. 200 ms

Este sensor permite conexión con un convertidor de señal, de la misma marca, que transforma la señal de frecuencia en señal de tensión y cuyas características también se han relacionado. En nuestro caso, no hemos utilizado este instrumento, sino que hemos llevado directamente la señal de frecuencia hasta unos módulos de conversión frecuencia/voltaje (F/V) situados en la caja acondicionadora de las señales de los sensores.

3.2.1.3. Sensores de velocidad de rotación.

Se emplearon detectores de velocidad angular (tacómetros) para determinar la velocidad de rotación del eje de la tdf y de la polea accionada por el motor hidráulico (polea motriz). En el primer caso, el sensor de velocidad está construido junto al de par permitiendo así el conjunto la medida de la potencia de accionamiento demandada en la tdf. El sensor de par en la tdf será descrito en el apartado siguiente.

En la medida de la velocidad angular de la polea motriz se utilizó un dispositivo fotoeléctrico (tacómetro electroóptico) basado en el método de reflexión. La cabeza sensora fija contiene una fuente de luz que permite un haz colimado hacia un área del objeto, sobre la que se dispuso una cinta reflexiva, y un sensor de luz que detecta un pulso de luz cuando el haz es reflejado (en este caso, un pulso cada revolución). Por tanto, vemos que la salida del sensor es una señal de frecuencia.

Las especificaciones técnicas del sensor utilizado, marca ONO-SOKKI modelo LG-9161, son las siguientes:

Método de detección: reflexión fotoeléctrica basada en fibras ópticas

Distancia detectable: máx. 20 mm (para una marca reflectante de 12 mm²)

Objetos detectables: materiales opacos, marcas reflectantes.

Máxima velocidad de respuesta: 20 m/s (para una marca reflectante de 12 mm²)

Tiempo de respuesta: 1 ms o menos

Fuente de luz: diodo emisor de luz (luz infrarroja)

Elemento foto-receptor: foto-transistor

Alimentación: 12 VDC \pm 2 V

Consumo: 50 mA o menos (a 12 V)

Voltaje de salida: +5 V \pm 0.5 V. La máxima corriente de salida absorbida es 20 mA y el máximo voltaje requerido es 30 V

Impedancia de salida: 1 k Ω o menos

Método de salida: tierra flotante

Corriente de protección: para polaridad de alimentación

Temperatura de trabajo: -10 a +60 °C

Resistencia de vibración: 1.2 amplitud, 30 Hz, durante 1 hora en las direcciones X e Y (según Norma JIS C 0911-1060)

Resistencia a choques: 490 m/s² (50 g), en las direcciones X e Y (según Norma JIS C 0912-1960)

Conector recomendado: R04-PBGF

Masa: aprox. 150 gramos

Reseñar la importancia que en la elección de los sensores ha tenido la resistencia que presentan a la vibración, ya que van a utilizarse en condiciones de vibración casi continua.

3.2.1.4. Sensores de par.

Para medir el par que se produce en el eje de la tdf se insertó, entre ésta y el acoplamiento cardánico que acciona el eje de la bomba hidráulica situada en el depósito del vibrador, un transductor de fuerza por reluctancia del tipo de transformador diferencial de variación torsional (TDVT) (Figuras 8 y 9).

Se utilizaron dos modelos de la marca VIBRO-METER. El sensor está constituido por un transformador cuyos devanados primario y secundario se separan por dos cilindros concéntricos (externo e interno), separados a su vez por unas ranuras con mucha exactitud, y conectados al eje de medida de torsión cada uno en un extremo, delimitando así la zona de deformación. Cuando no se aplica torsión al eje, las ranuras permanecen en su posición de reposo y no hay inducción entre primario y secundario. Cuando incrementa la torsión aplicada, la zona de deformación experimenta un aumento de la deformación angular, lo que causa un incremento del solape entre las ranuras y, por tanto, un incremento en la inducción entre los dos devanados del transformador. Así, cuando el devanado primario es excitado con una tensión alterna, el devanado secundario produce una señal de voltaje de magnitud proporcional a la tensión aplicada.

El sensor lleva incorporado un transductor de velocidad de rotación del eje, que se monta enfrentado a una parte dentada sobre el rotor y también sirve para determinar la dirección de rotación.

La cadena de acondicionado de las señales de par y rpm se basa en un sistema de frecuencia portadora que contiene un demodulador síncrono. También incorpora un filtro paso bajo de segundo orden tipo Butterworth que se usa para eliminar interferencias provenientes de los elementos mecánicos (máquina, acoplamientos, ...).

El sensor de la Variante 1 es el modelo TM215, cuyas especificaciones técnicas se relacionan a continuación:

General:

Torsión nominal (M_n): 2000 N· m

Masa: 10.8 kg

Masa del rotor: 5.8 kg

Momento de inercia del rotor: $2030 \cdot 10^{-6}$ kg· m²

Rigidez torsional: 656000 N· m/rad

Mínima velocidad de rotación: medible: 10 rpm
para detectar la dirección de rotación: 20 rpm

Máxima velocidad de rotación: Standard: 7000 rpm
Alta velocidad: 16000 rpm

Sistema de medida de torsión:

Salida: máx. rango: ± 10 VPC $\equiv \pm 200\%$ Mn

impedancia: $\leq 500 \Omega$ (0 Hz a 5 KHz)

protección de sobretensiones: ± 33 VDC

Precisión de medida: cero de calibración: $\leq \pm 0.1\%$ MR

sensibilidad de calibración: $\leq \geq 0.1\%$ MR

errores de linealidad e histéresis (a 100% Mn): $\leq 0.1\%$ MR

errores de linealidad e histéresis (a 200% Mn): $\leq 0.2\%$ MR

El rango de medida (MR) corresponde al valor nominal de la cantidad física medida (Mn).



Figura 8. Sensor de par y velocidad angular de la toma de fuerza. Variante 1.

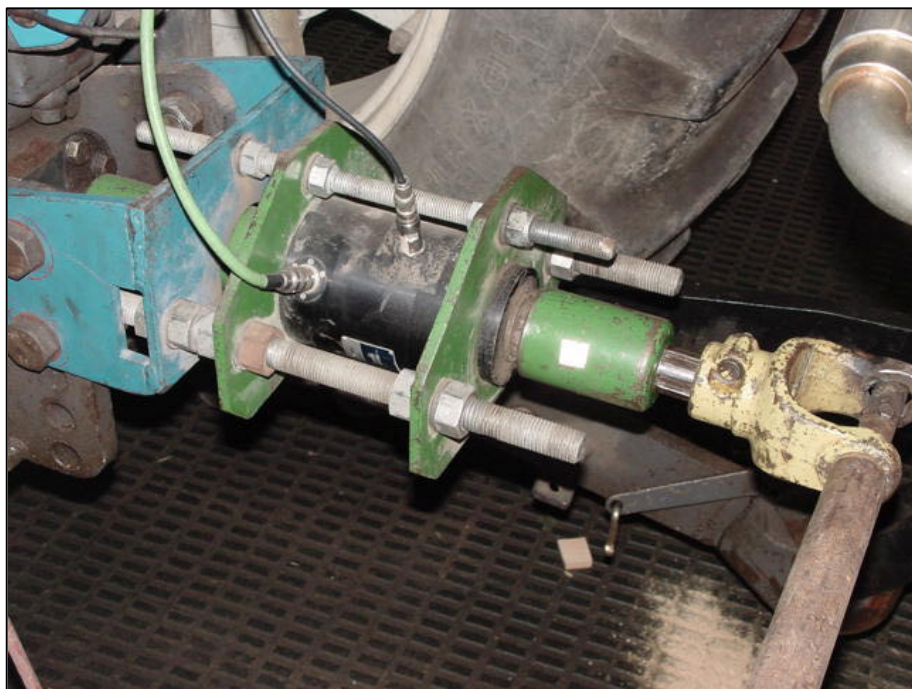


Figura 9. Sensor de par y velocidad angular de la toma de fuerza. Variante 2.

Temperatura: Rango de temperatura 1: +10°C a +60°C
Rango de temperatura 2: -25°C a +80°C

Sistema de medida de velocidad:

Número de pulsos por revolución: 30

Rango de medida: 5 Hz a 30 KHz

Alimentación:

Voltaje: 20 a 32 VDC \pm 0.5 VDC

Consumo de corriente: máx. 100 mA

Condiciones mecánicas y medioambientales

Torsión: Torsión estática nominal: \pm 100% torsión nominal
Máx. torsión estática medible: \pm 200% ”
Torsión dinámica nominal: \pm 100% ”
Máx. torsión dinámica: \pm 200% torsión nominal
Máx. torsión dinámica sin daño: \pm 500% ”

Temperatura: Rango de temperatura compensada 1: +10 a +60°C
Rango de temperatura compensada 2: -25 a +80°C
Rango de temperatura de trabajo: -40 a +85°C

Choques mecánicos (según Norma IEC 68.2.27): clase D3 de acuerdo a QAT-PTE 001/86

Vibración (según Normas EC 68.2.6 y IEC 68.2.35) clase D3 de acuerdo a QAT-PTE 001/86

Clase de protección de la cubierta (según Norma IEC 529): IP44

El sensor de la Variante 2 es el modelo TG-50/B. Sus características técnicas son:

Valor nominal: 500 N· m

Máximo valor: 1000 N· m

Sensibilidad: 0.09279 mv/N· m a 10 V de excitación

Máxima velocidad: 18000 rpm

3.2.1.5. Sensores de aceleración.

El movimiento de la cabeza vibradora y el transmitido al árbol o poste de ensayos se determina a través de la aceleración, utilizando para ello sensores con elementos de transducción piezoeléctrica (acelerómetros piezoeléctricos). Estos son los de uso más amplio y generalizado, ya que se caracterizan por un gran margen dinámico de amplitud y frecuencia de medida, son compactos, bajos de peso, no poseen partes móviles que se desgasten, se pueden montar en cualquier orientación y sus características permanecen estables durante largos períodos de tiempo (Figuras 10 y 11).

La parte activa del acelerómetro son los elementos piezoeléctricos. Estos hacen la función de muelles conectando la base del acelerómetro a una masa sísmica (masa de ensayo) cuyo movimiento es normalmente amortiguado, constituyendo el conjunto un sistema básico masa-muelle-amortiguador que se utiliza como método sensor. Un material piezoeléctrico es aquel que desarrolla una carga eléctrica cuando se somete a una fuerza. Estos materiales son de dos tipos, los llamados piezoeléctricos intrínsecos tales como el cuarzo o las sales de Rochelle y las cerámicas ferroeléctricas polarizadas artificialmente, las cuales son una mezcla de diferentes componentes como el titanato de bario, entre otros.

Su principio de funcionamiento es el siguiente: cuando al dispositivo se le somete a una aceleración, varía la fuerza (producto de la masa sísmica por la aceleración) que la masa ejerce sobre el elemento piezoeléctrico produciendo una carga proporcional a esta fuerza. Para frecuencias muy por debajo de la de resonancia del sistema completo masa-muelle, la aceleración de la masa es la misma que la de la base y la señal de salida será proporcional a la aceleración a la que el acelerómetro esté sometido (Figura 12).

La elección de las características del acelerómetro apropiadas a nuestras medidas fue más difícil que en los otros sensores, ya que éstos prácticamente vienen determinados por la propia configuración de los elementos del circuito hidráulico, mientras que la aceleración en la pinza es un parámetro sólo conocido por las referencias bibliográficas. Fundamentalmente, hay dos características básicas a tener en cuenta: el rango y la respuesta en frecuencia.



Figura 10. Medida de la aceleración longitudinal y transversal en la cabeza vibradora. Detalle de la colocación de los acelerómetros.



Figura 11. Medida de la aceleración longitudinal y transversal en el árbol.

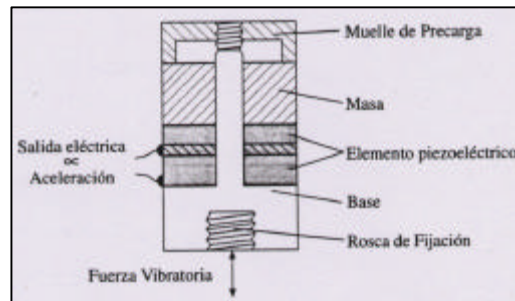


Figura 12. Esquema de un acelerómetro piezoeléctrico.

Se hicieron ensayos previos para determinar el rango de la aceleración a medir, utilizando acelerómetros disponibles en la Unidad Docente de Mecanización Agraria del Departamento de Ingeniería Rural de la Universidad de Córdoba, obteniendo valores alrededor de $\pm 400 \text{ m/s}^2$.

Del mismo modo pudo determinarse la frecuencia de la señal de aceleración, aunque ésta puede estimarse según las revoluciones del motor hidráulico de accionamiento de la polea motriz, arrojando valores dentro de la zona útil de la curva de respuesta en frecuencia. En este aspecto, sólo referenciar que la frecuencia de resonancia del acelerómetro y, por tanto, el límite superior de la zona útil, se ven reducidos por la forma en que el acelerómetro queda fijado a la estructura vibrante; aunque en nuestro caso y dado el bajo rango de frecuencias a medir (valores alrededor de 20 Hz), esto no sería un limitante. No obstante, la fijación del acelerómetro siempre la hemos realizado mediante un vástago roscado que es la forma recomendada en el monitorizado permanente de máquinas y en operaciones con niveles altos de vibración, no limitando el margen de frecuencia del acelerómetro (Broch, 1980).

Los acelerómetros utilizados, de la marca DJB, se relacionan en la Tabla 6.

Tabla 6. Acelerómetros utilizados en los ensayos.

MEDIDA	MODELO/Nº SERIE	SENSIBILIDAD
Aceleración en la cabeza vibradora, eje X	A/120/V / 1717	101.2 mV/g
Aceleración en la cabeza vibradora, eje Y	A/120/V / 1718	102.7 mV/g
Aceleración en el árbol o poste, eje X	A/120/V / 1544	97.4 mV/g
Aceleración en el árbol o poste, eje Y	A/120/V / 1584	97.8 mV/g
Varias	A/120/V / 1716	101.2 mV/g
Varias	A/120/V / 1556	99.3 mV/g

Todos tienen una frecuencia de resonancia de 28 kHz y un rango de temperatura entre -50 y $+125$ °C.

3.2.2. Sistema de Acondicionamiento.

Las señales eléctricas generadas por los sensores deben ser acondicionadas para que puedan ser tratadas posteriormente durante la adquisición de datos. Esta operación depende del principio de transducción del sensor, que determina la necesidad de alimentación o no (sensores activos o pasivos), y de la propia señal de salida, que puede requerir amplificación (caso de señales de bajo nivel), aislamiento (para protección del sistema) y filtrado (que elimina ruidos e interferencias), para conseguir una mayor precisión de las medidas. En la Tabla 7 se relacionan todos los sensores utilizados haciendo referencia a sus necesidades de acondicionado.

Tabla 7. Acondicionado de sensores.

SENSOR	TRANSDUCCIÓN	SALIDA
Mtdf	PASIVO	VOLTAJE
RPMdf	ACTIVO	FRECUENCIA
PRESIONES	PASIVO	VOLTAJE
CAUDALES	ACTIVO	FRECUENCIA
RPMmh	ACTIVO	FRECUENCIA
ACELERACIONES	ACTIVO	CARGA/VOLTAJE

En la descripción del sistema de acondicionado vamos a distinguir entre la Variante 1 y la Variante 2. La diferencia fundamental entre ambas se debe a que la primera fue adquirida a una casa de instrumentación, mientras que la segunda fue desarrollada por nosotros. Las razones de este cambio se deben a que en el desarrollo de los ensayos nos dimos cuenta que el equipo no se adaptaba completamente a nuestras necesidades, tanto electrónicas como de espacio físico, con lo cual decidimos construir uno adecuado a las características demandadas.

3.2.2.1. Sistema de Acondicionamiento. Variante 1.

Este sistema, al que denominaremos “columna de acondicionado”, está formado por dos Sistemas de Acondicionamiento Miniatura MCS-1 de la marca IROT S.A. y una caja centralizadora, de fabricación propia, que recoge todas las señales de los sensores del sistema (Figura 13).

El MCS-1 está constituido por una Placa Base para 8 módulos acondicionadores (tarjetas enchufables) de canales de medida y un módulo de alimentación (placa reguladora de ± 15 VDC a 1 A máx, para alimentar a los acondicionadores). En el frontal dispone de 8 conectores para entrada de las señales de los sensores. En uno de los laterales hay dos conectores de alimentación, para red a 220 VAC/30 W y 12 VDC/10W, y

en el otro se dispone un conector de 9 pin para las salidas de las señales una vez acondicionadas por los módulos. Sus dimensiones son 220×120× 90 mm.

La disposición de los canales y los módulos utilizados figuran en la Tabla 8 (los canales que no se citan es porque no se utilizan).

Tabla 8. Sistema de Acondicionamiento Miniatura MCS-1. Módulos acondicionadores y canales de medida.

SISTEMA/CANAL	MEDIDA	MÓDULO
1 / 1	Aceleración árbol o poste, eje X	MSC 170 A1
1 / 2	Aceleración cabeza vibradora, eje X	MSC 170 A1
1 / 3	Aceleración árbol o poste, eje Y	MSC 170 A1
1 / 4	Aceleración cabeza vibradora, eje Y	MSC 170 A1
1 / 5	Mtdf	MSC 150
1 / 6	RPMtdf	MSC 190 A1
2 / 1	RPMmh	MSC 190 A1
2 / 2	Caudal Qsb	MSC 190 A1
2 / 3	Caudal Qm	MSC 190 A1
2 / 4	Caudal Qsbd	MSC 190 A1

El módulo MSC 170 A1 es un amplificador especial concebido para conectar captadores piezoeléctricos con electrónica incorporada (ICP). La excitación se realiza mediante una fuente de corriente, ajustable entre 2 y 20 mA. La etapa de entrada es asimétrica y está protegida contra sobretensiones. El amplificador dispone de ajustes de sensibilidad (100 mV a 10 V F. E.), ajuste de cero, selector de polaridad de salida y filtro paso bajo (10 Hz) desconectable.



Figura 13. Sistema de Acondicionamiento. Variante1. Ubicación dentro del tractor (de arriba a abajo: “Caja Tractor”, módulos de acondicionado y batería de alimentación).

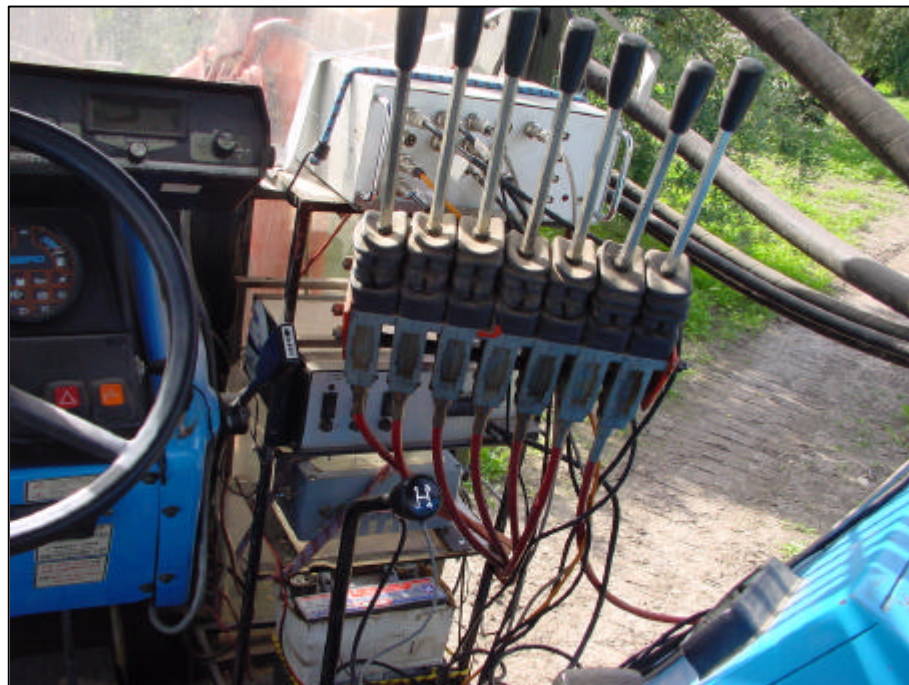


Figura 14. Sistema de Acondicionamiento. Variante2. Ubicación dentro del tractor (de arriba abajo: “Caja acondicionadora”, “Caja Tractor” y batería de alimentación).

El módulo MCS 150 A1 es un amplificador de uso general especialmente concebido para captadores de desplazamiento de tipo LVDT. La excitación puede tomarse directamente de las fuentes de +/- 15 VDC o ajustarse entre 3 y 12 VDC. Al igual que en el caso anterior, la etapa de entrada es asimétrica y está protegida contra sobretensiones y el amplificador dispone de ajustes de sensibilidad (100 mV a 10 V F. E.), ajuste de cero, selector de polaridad de salida y filtro paso bajo (10 Hz) desconectable.

El módulo MSC 190 A1 transforma los impulsos de entrada (de 1 V a 30 V, impedancia 100 k Ω) en una tensión analógica (0 a +10 V a 5 mA máx.) proporcional mediante un circuito denominado “bomba de carga” y posteriormente es procesada para eliminar el ruido residual (filtro Butterworth de 2 polos, frecuencia de corte 5 Hz), corregir el cero (+100% F.E.) y ajustar el fondo de escala dentro de un amplio margen de frecuencias. Proporciona alimentación (12 VDC a 200 mA máx.) para la fuente luminosa de los captadores fotoeléctricos (RPM mh). El margen de frecuencia máxima es ajustable entre 30 Hz y 10 kHz en seis escalas seleccionables (30, 100, 300, 1000, 3000, 10000 Hz).

Las señales de los dos sistemas MCS-1 junto con las que proceden directamente de los sensores de presión entran en la caja centralizadora a través de dos conectores de 9 pin situados en un lateral (las primeras) y de los conectores del frontal (las segundas).

El conjunto de todas las señales (4 de aceleración, Mtdf, RPMtdf, RPMmh, 3 de caudal, 4 de presión) salen de la caja centralizadora a través de un conector de 25 pin. La alimentación del sistema se realiza con una batería de 12 V.

3.2.2.2. Sistema de Acondicionamiento. Variante 2.

Este conjunto, al que llamamos “Caja acondicionadora” (Figura 14), está construido sobre una caja metálica en la cual hemos incorporado todos los elementos electrónicos necesarios para el acondicionado. Sobre el frontal se habilitan los conectores de entrada de 17 sensores (6 de presión, 3 de caudal, 3 de revoluciones, 1 de par, 4 aceleración) distribuidos en seis filas y en la parte trasera está el conector de alimentación general y la

salida de todas las señales (conector de 25 pin). La alimentación se realiza con una batería de 12 V. La disposición de los canales y los módulos utilizados aparecen en la Tabla 9 y la disposición interior de los elementos del sistema en la Figura 15.

Tabla 9. Sistema de acondicionamiento. Variante 2. Módulos acondicionadores y canales de medida.

CONECTOR	MEDIDA	ACONDICIONADO
1 al 5	P_m, P_{ap}, P_{ret}	-
6	P_{sb}	-
7	Q_{sb}	Convertidor F/V
8	Q_m	Convertidor F/V
9	Q_{sbd}	Convertidor F/V
10	RPMtdf	Convertidor F/V
11 y 12	RPMmh	Convertidor F/V
13	PAR tdf	Específico
14 al 17	Aceleración	Específico

Se utilizan cinco convertidores frecuencia/tensión modulares para convertir la frecuencia de los pulsos de los tres caudalímetros y los sensores de revoluciones, RPMtdf y RPMmh, en señal analógica de tensión. Sus características eléctricas son las siguientes:

Entrada:

Tipo de captador: Námur, magnético, trafo, CLP, NPN/PNR/TTL (seleccionable)

Excitación captada: 24 V/12 V, 30 mA

Límite de frecuencia: mín. 0/20 Hz, máx. 0/22 kHz (margen ajustable en 8 escalas seleccionables)

Alimentación:

Tensión alimentación: 24 VDC ó 230 VAC/115 VAC

Consumo máximo: sin excitación 24 VDC: 40 mA
con excitación 230 VAC: 28 VA

Salida:

Tensión: 0/10 V

Intensidad: 0-4/20 mA

Capacidad de carga (intensidad): 800 Ω (24 VDC)
700 Ω (230 VDC)

Capacidad de carga (tensión): 1 K

Límite de intensidad/tensión: 24 mA (24 VDC), 12 V (230 VDC)

Tiempo de respuesta 10%...90%: 0.2 s

Datos generales:

Temperatura de trabajo: -10 a +60°C

Máximo error global: $\pm 0.1\%$

Compatibilidad electromagnética: Directiva 89/336/EEC

Para comprobar sus características una vez ubicados en el sistema, se procedió a su calibración utilizando un generador de funciones (Figura 16). Para ello, se generan diversas señales senoidales con frecuencia y tensión comprendidas en el campo de actuación que permite el convertidor y dentro del rango del sensor cuya señal debe convertirse en voltaje, comprobándose, antes de ser introducidas en el Sistema de Acondicionamiento, mediante un osciloscopio digital. Para cada frecuencia, se mide la salida del sistema mediante un voltímetro.

La tensión de alimentación (24 VDC) se obtiene mediante un convertidor DC/DC, que utiliza los 12 VDC de la batería.

El sensor de par se acondicionaba originariamente con un módulo externo, con alimentación desde la red, constituido por una tarjeta que alimenta al sensor mediante un transformador 220 VAC/15 VAC y amplifica la señal de salida. La “caja acondicionadora” incorpora esta tarjeta, que es alimentada desde un convertidor DC/DC.

Otro convertidor DC/DC se utiliza con el sensor de presión para medida en la salida de la bomba (Psb) de la marca PARKER. Por esta razón, la entrada de este sensor se diferencia de las demás.



Figura 15. Sistema de Acondicionamiento, Variante2. Vista interior.

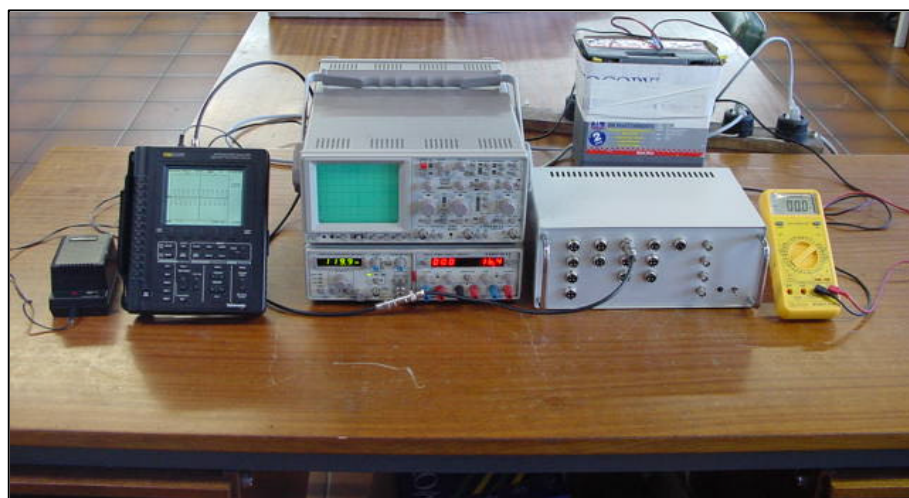


Figura 16. Sistema de Acondicionamiento, Variante2. Calibración de los convertidores frecuencia/tensión. Instrumentación utilizada, de izquierda a derecha: osciloscopio digital, generador de funciones, Sistema de Acondicionamiento y voltímetro.

Los acelerómetros piezoeléctricos están caracterizados por una señal de salida de bajo nivel y una elevada impedancia de salida. Debido a esto, se precisan amplificadores electrónicos que actúen como convertidores de impedancia. El amplificador se conecta al transductor a través de un cable produciendo en la salida una señal de baja impedancia de salida y un nivel de señal suficiente para excitar a cualquier instrumento de lectura (osciloscopio, analizador de espectro, ...).

En nuestro caso, hemos utilizado la fuente de corriente modelo 4103B de la marca DYTRAN INSTRUMENTS, diseñada para alimentar a 3 sensores simultáneamente. Dispone de un panel frontal donde se sitúan 6 conectores BNC, tres para conexión de los sensores y tres para salida de las señales y un voltímetro que mide la tensión DC en el terminal del sensor, lo que nos da información sobre el estado del sensor, cable y unidad de corriente, que es muy útil en la búsqueda de problemas del sistema de medida. Puede identificar tres condiciones, realizando ésta comprobación de estado para cada canal individualmente seleccionándolo con un selector rotativo, que tiene cuatro posiciones, una por canal y la posición para apagar la fuente, ubicada debajo del voltímetro (OFF). Además hay un botón de comprobación instantánea de la carga de las baterías, que sitúa la aguja del voltímetro en la zona “Batt ok” si es correcta (Figuras 17 y 18).

Las especificaciones técnicas de la fuente son las siguientes:

Corriente nominal proporcionada al sensor: 1.4 mA

Tensión de excitación proporcional al sensor: +18 VDC

Voltímetro, fondo de escala: +20 VDC

Consensador, cada canal: 10 μ F

Resistencia, cada canal: 1.0 M Ω

Constante de tiempo:

con 1 M Ω de carga del instrumento de medida: 0.032 Hz

con 10 M Ω de carga del instrumento de medida: 0.017 Hz

Respuesta de alta frecuencia: determinada por el sensor, longitud del cable y tipo
(capacitancia total) y otros factores

Ruido, ancho de banda: 60 μ V RMS

Duración de las baterías: 40 h

Conectores del sensor y de las salidas: BNC

Peso: 340 gramos

Hemos visto que las señales de los sensores del vibrador quedan recogidas en un conector de 25 pin. A partir de éste, en las dos Variantes se sigue el mismo proceso, dirigiéndose a la que llamamos “Caja Tractor”, donde se unen con otras señales procedentes de sensores distribuidos en el tractor y que se describirán en el punto 3.3.1. La salida de esta caja es de 37 pin y en ella están disponibles todas las señales de los sensores que monitorizan el conjunto tractor-vibrador para ser almacenadas en soporte lógico.

La columna de acondicionado (o “Caja acondicionadora” en la Variante 2) y la “Caja Tractor” forman un bloque que se sitúa en la cabina del tractor y del que también forma parte la batería de 12 V empleada en la alimentación general del Sistema (Figuras 13 y 14). Por tanto, la unión entre los Sistemas de Captura y Acondicionado y el Sistema de Almacenamiento se realiza a través de un cable con conectores de 37 pin en ambos extremos (aunque sólo los veinte primeros están ocupados con señales).

3.2.3. Sistema de Almacenamiento.

Una vez que las señales de tensión provenientes de los distintos sensores han sido acondicionadas adecuadamente, deben almacenarse en la memoria de un ordenador para su posterior explotación, lo que implica la conversión de estas señales analógicas en digitales (conversión analógico/digital o conversión A/D).

Todo este proceso, que pone fin al Sistema de Adquisición de Datos (SAD), requiere tres componentes fundamentales:

- Tarjeta de adquisición de datos (“hardware”).
- Programas de adquisición de datos (“software”).
- Ordenador.

3.2.3.1. Tarjeta de adquisición de datos

Se utilizaron dos tarjetas de la marca DATAQ Instruments, una para ordenador de sobremesa (Variante 1) y otra para ordenador portátil (Variante 2).

3.2.3.1.1. Tarjeta de adquisición de datos. Variante 1

Para realizar la entrada de las señales de los sensores, fabricamos una caja externa en cuyo frontal se ubican 64 conectores BNC (uno por cada canal de entrada) y 2 conectores macho de 37 pin tipo “D”, aunque uno de ellos esté inhabilitado. De la parte trasera de la caja, sale un cable plano que termina en un conector de 64-pin que se acopla en el conector de entrada a la tarjeta situado en el ordenador (Figura 17).

La conexión de los sensores se hace directamente enchufando el conector de 37-pin tipo “D” hembra del cable que recoge las señales del conjunto tractor-vibrador, en el conector macho del frontal de la caja, lo que supone utilizar los veinte primeros canales de entrada del sistema que además están cableados internamente a los veinte primeros BNC, con lo cual podemos adquirir una señal y visualizarla a la vez en un osciloscopio.

3.2.3.1.2. Tarjeta de adquisición de datos. Variante 2

El modelo elegido es el DI-720, indicado para aplicaciones generales donde se adquieren señales preamplificadas, por ejemplo, monitorizado de procesos.

Acepta 32 señales analógicas en modo simple o 16 en modo diferencial a través de dos conectores macho de 37 pin tipo “D” ubicados en el panel frontal. Estos conectores dan acceso a los canales 1 al 16 (CH1 a CH16) y 17 al 32 (CH17 a CH32), incorporando el primero de ellos, situado a la izquierda, 8 entradas digitales (DI0 a DI7) y 8 salidas digitales (DO0 a DO7), y permitiendo el segundo, situado a la derecha, la ampliación del sistema hasta 240 canales utilizando para ello un instrumento de expansión.



Figura 17. Sistema de Adquisición de Datos. Variante 1. Ordenador (izquierda), caja de entrada a la tarjeta y acondicionador de acelerómetros (derecha).



Figura 18. Sistema de Adquisición de Datos. Variante 2. Ordenador portátil, caja de entrada a la tarjeta (izquierda) y acondicionador de acelerómetros (derecha).

En el panel trasero se sitúan el puerto paralelo de salida, un puerto de expansión (que permite el acceso del instrumento de expansión), el conector de 5 pin DIN para alimentación (9-36 VDC), el interruptor de encendido y dos diodos “led” para indicar la activación del sistema.

La señal analógica de entrada se dirige a cuatro multiplexores, uno por cada ocho canales, que confluyen en uno general donde se selecciona el modo diferencial o simple. Seguidamente va a un amplificador de ganancia programable (PGA) donde se selecciona la ganancia, entre cuatro factores (1, 2, 4 ó 8) y después al convertidor analógico de cada canal digital (ADC/DAC). El modelo general de este sistema permite los puertos Ethernet y USB, no disponibles en el nuestro.

Las especificaciones técnicas del sistema se resumen a continuación:

Interfaz: Puerto paralelo “standard”

Entradas analógicas:

Número de canales: 32 simples o 16 diferenciales (seleccionable por canal)

Tipo de entrada: bipolar

Resolución analógica: 16 bit, 1 parte en 65536

Frecuencia de muestras: 40000 datos /s máx (seleccionable por canal)

Rango de medida a escala completa: $\pm 10V$ a $A_v = 1$; $\pm 5 V$ a $A_v = 2$; $\pm 2.5 V$ a $A_v = 4$; $\pm 1.25 V$ a $A_v = 8$.

Precisión: $\pm 0.25\%$ F.E.

Impedancia de entrada: $1 M\Omega$ a GND en el canal de entrada

Salidas analógicas:

Número de canales: 2

Resolución: 12 bit, 1 parte en 4096 a 250 Hz

Rango de salida: $\pm 10 V$

Impedancia de salida: 10Ω

Frecuencia de muestreo: 40000 datos /s máx. (seleccionable por canal)

Offset de salida: 1 bit máx. a 1 KHz de frecuencia de muestreo

Error de ganancia: 1 parte en 16384 a 1 KHz

Digital I/O:

- Capacidad: 8 entradas y 8 salidas
- Compatibilidad: TTL-compatible
- Terminaciones digitales: 4.7 kW a + 5.0 V

Condiciones de disparo:

- Longitud de pre-disparo: 64 k datos
- Longitud de post-disparo: 64 k datos
- Canal de disparo: cualquiera
- Histéresis del nivel de disparo: 8 bit
- Modos de solape promediado de señales, máximo valor, mínimo valor

Características físicas y medioambientales.

- Dimensiones (ancho×largo×alto): 190.51×220.86×30.86 mm
- Rango de temperatura de trabajo: 0 a 70°C
- Rango de temperatura de grabación: -55 a 150°C
- Humedad: 0-90% sin condensación
- Conector de entradas analógicas: 37 pin D Macho

Como en la Variante 1 , se construyó una caja para dar acceso a la señal de los sensores (Figura 18).

En el frontal contiene 32 conectores BNC para cada uno de los canales analógicos de entrada, 2 conectores BNC para las salidas analógicas y 2 conectores macho de 37 pin tipo “D”, uno de ellos inhabilitado. De la parte trasera, salen dos cables que lleva cada uno 16 canales de entrada y se conectan a cada uno de los conectores de entradas analógicas situados en el frontal del Sistema de Adquisición de Datos.

Al igual que en la Variante 1, la conexión se hace enchufando el cable proveniente del tractor-vibrador al conector de 37 pin habilitado del frontal de la caja. También se permite la adquisición y visualización simultánea en los veinte primeros canales.

Finalmente, el puerto paralelo del sistema se conecta al puerto paralelo del ordenador portátil a través del cable correspondiente.

3.2.3.2. Programas de adquisición de datos.

Se usan para programar las características de la tarjeta de adquisición de datos, dirigir su funcionamiento y su integración con el ordenador, en procesos como la transferencia de datos.

Para nuestra aplicación hemos empleado el paquete informático “TESTPOINT” de la firma CEC, que se estructura como un lenguaje gráfico de programación (LGP) constituido por una colección de subrutinas (“objects”) que permiten realizar diversas aplicaciones de control de instrumentación, adquisición y análisis de datos y realización de medidas. Este programa ya ha sido utilizado en trabajos previos del autor de la tesis (Blanco et al., 1997) y en ellos viene descrito.

Para la adquisición de datos se realizaron dos programas. El segundo es ejecutable y actúa como una aplicación independiente de Windows, utilizándose principalmente con la Variante 2, pues en ésta se ocupa con la tarjeta de adquisición de datos el puerto paralelo del ordenador portátil, impidiendo así el uso de la llave o “pastilla” del TESTPOINT que es necesaria para efectuar la adquisición.

Programa de adquisición de datos (Adquirir.tst)

Define los modos de actuación de la tarjeta durante el proceso de adquisición de datos.

Valores de las variables:

- Velocidad de muestreo (“rate”): 500 Hz por canal.

- Nº total de datos a registrar (“samples”): depende del tiempo de cada ensayo. Generalmente hemos utilizado 11000 datos (22 s).

- Canales a muestrear (“channel(s)”): Correspondientes a las señales de los sensores utilizados en el ensayo.

- Tipo de transferencia de datos: DMA.

Según el criterio de Nyquist, la frecuencia de muestreo ha de ser, al menos, el doble de la máxima frecuencia significativa contenida en la señal (Broch, 1980). Hemos realizado pruebas con distintas velocidades de muestreo para al final decidimos por una frecuencia más de diez veces superior a la máxima estipulada, obteniendo con ello una representación más exacta de la onda original.

La subrutina de ejecución es un interruptor que hemos denominado “empezar”. Este, aparece en el panel gráfico del mismo nombre, de la ventana “Panel”, junto con el espacio reservado al nombre del fichero de almacenamiento de datos.

La subrutina “conversión A/D” suministra los parámetros necesarios (valores de las variables) para que la tarjeta realice la conversión analógico - digital.

Todos los valores se almacenan en un fichero (matriz) con tantas columnas como canales hayamos adquirido y tantas filas de datos como número total de datos a registrar haya.

Programa de adquisición de datos (Adquisición)

Con la opción “Make Runtime Disk” podemos convertir un programa hecho en TESTPOINT en una aplicación independiente bajo entorno “Windows”.

En este caso, el código del programa queda oculto y sólo es accesible la interfaz del usuario (llamada “Panel”). Para no perder la posibilidad en todo momento de modificar las variables de la adquisición, se introduce una modificación en el programa anterior de tal forma que éstas puedan introducirse a través de una subrutina denominada “Data Entry Object” (Figura 19).

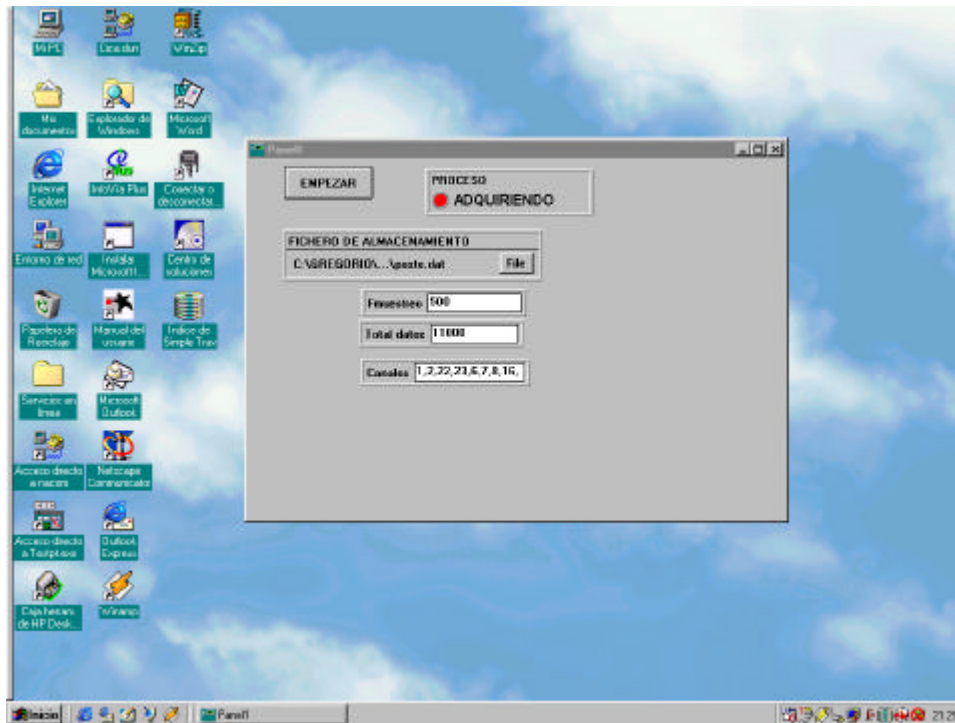


Figura 19. Programa de adquisición de datos.

3.2.3.3. Ordenador.

En la Variante 1, la tarjeta se insertó en uno de los “slots” de expansión de un ordenador de sobremesa, con procesador Intel Inside Pentium a 133 Mhz, 16 Mb de memoria RAM y un disco duro de 1 Gb.

En la Variante 2, se utilizó un ordenador portátil de la marca Toshiba, con un procesador Intel Inside Pentium II a 350 Mhz, 128 Mb de memoria RAM y un disco duro de 4 Gb.

3.2.4. Análisis de datos.

Una vez adquiridos los datos y almacenados en ficheros en el disco duro del ordenador se procede al análisis de los mismos, fase en la cual distinguimos dos etapas:

- 1) Visualización posterior a la adquisición. Nada más terminar la adquisición de los datos de un ensayo se procede a visualizar los resultados para comprobar que se ha realizado de forma válida. Esta etapa se desarrolla durante los ensayos.
- 2) Análisis de los datos. Una vez en gabinete, se efectúa el análisis exhaustivo de toda la información recogida durante los ensayos, que comprende la anotación de los valores de las variables medidas y su análisis estadístico.

La metodología empleada en estos ensayos se basa, por tanto, en el registro de la información y su posterior análisis.

En ambas etapas se utiliza el TESTPOINT para programar las aplicaciones necesarias, que fundamentalmente se enfocan a determinar de forma gráfica, por un lado, los parámetros del circuito mecánico-hidráulico de generación de vibración y el balance de potencias del mismo, y por otro, las aceleraciones registradas en la cabeza vibradora y el árbol o poste de ensayos y su espectro de frecuencias.

Los ordenadores utilizados en el análisis de datos son los mismos que se emplearon en la adquisición, por lo cual fue necesario que periódicamente se vaciaran los discos duros y guardar toda la información en CD-ROM, utilizando para ello una grabadora externa. La escasa resolución de la pantalla del ordenador de la Variante 1 hizo que, en un principio, se utilizaran varios programas que, posteriormente, con el uso del portátil, fueron agrupándose, agilizando los trabajos de visualización y análisis, en lo que también influyó considerablemente la mayor velocidad de su procesador.

Los programas desarrollados y la explicación de su funcionamiento se describen en los siguientes puntos.

3.2.4.1. Programas informáticos de visualización y análisis de datos.

3.2.4.1.1. Programas de análisis de los parámetros del circuito mecánico-hidráulico de generación de vibración

Lo hemos llamado “HIDRÁULICO” y realiza una representación en el tiempo de las señales registradas (Figura 20).

Está compuesto por una lista de acciones para la subrutina de ejecución “Fichero de datos”. Este fichero corresponde a un fichero de datos adquirido y almacenado en el disco duro del ordenador o en cualquier otro soporte, y de éste es de donde el programa lo obtiene. Los datos de la primera línea de la lista reflejan el número de líneas del fichero que se van a coger para hacer la representación y uno de los caracteres que pueden seleccionarse para denotar el término de un fichero.

Para representa cada señal es necesario seleccionar la columna de la matriz, que forma el fichero de entrada, a la que corresponde. Así, para la presión a la salida de la bomba, la columna es la octava y se representa por $CH = 7$, es decir, canal 7 que es por donde entró la señal del sensor de presión en la adquisición de datos.

Una vez seleccionado el canal (con la subrutina que corresponde al sensor, p.ej. “Presión S.B.”) se procede a convertir la señal, que está expresada en voltios, en bares (siguiendo con el ejemplo de la presión); es decir, se establece el valor conversor entre la tensión producida por el sensor y la magnitud física que representa. La conversión se determina en función de la sensibilidad del sensor, que viene reflejada en sus características técnicas.

Previamente a la conversión, se filtra la señal para eliminar las posibles interferencias que hayan podido producirse durante la medida y registro de las señales, utilizando un filtro paso bajo.

Con todas estas operaciones la señal está lista para que pueda calcularse su valor medio durante el régimen permanente de la vibración y representarse. Se utilizan las subrutinas genéricas “Math object” (con la función “subarray” para seleccionar el intervalo de datos) y “Graph Object” (con la acción “Draw graph”).

En el panel gráfico de la ventana “Panel”, aparece un espacio para teclear el nombre del fichero de entrada, seis para que aparezcan los gráficos tiempo (número de datos) – parámetro y once para los valores medios calculados.

Introduciendo el nombre del fichero de entrada se ejecutará el programa.

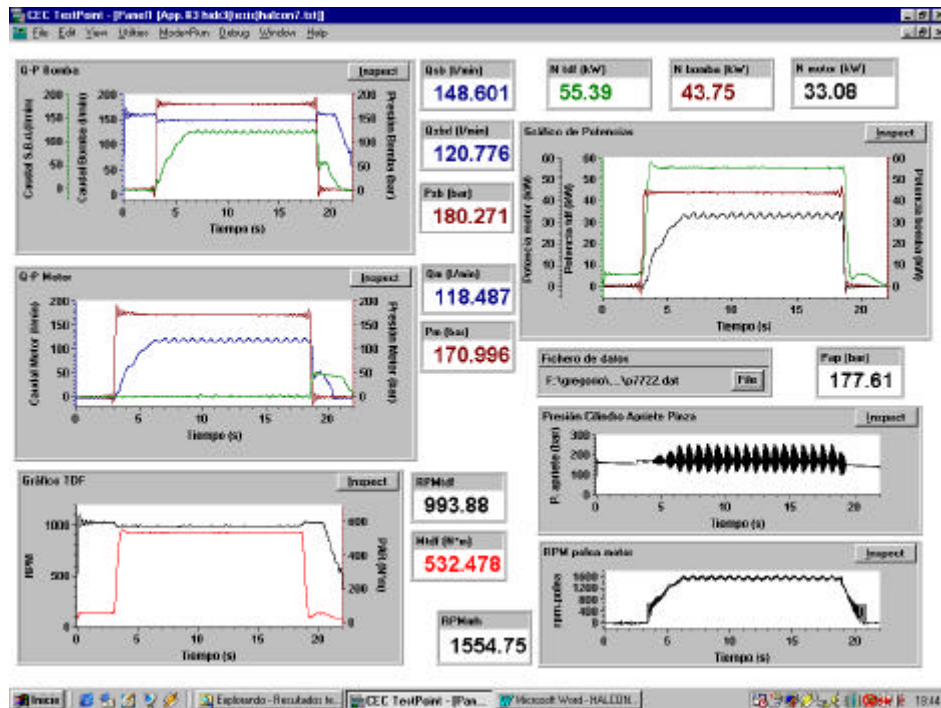


Figura 20. Programa de análisis de los parámetros del circuito mecánico-hidráulico de generación de vibración

3.2.4.1.2. Programas de análisis de las aceleraciones

Programa “Aceleración.tst” (Figura 21)

Realiza tres funciones con las señales de aceleración:

- 1) Representa las señales en el dominio del tiempo.
- 2) Calcula los valores eficaces durante el régimen permanente de la vibración.
- 3) Calcula el espectro de frecuencias y lo representa (dominio de la frecuencia).

Al igual que en el programa anterior, éste coge los datos de los ficheros adquiridos por la tarjeta y que reciben el nombre de “datos”. Cada eje (canal) del fichero “datos” se selecciona y luego se filtra.

La elección del filtro es problemática, pues exige numerosas pruebas para ver cuáles son las frecuencias de corte más adecuadas. Entre los diversos tipos de filtros de que dispone el TESTPOINT, elegimos un filtro paso banda. Puesto que se trata de una función de la subrutina genérica “math” hay que suministrarle unos parámetros. En este caso canal de entrada, velocidad de muestreo, frecuencia inferior y frecuencia superior.

Tras realizar varias pruebas, variando los parámetros de frecuencia, hemos decidido establecer el filtro entre 5 y 50 Hz, puesto que al representar la onda de aceleración (tiempo - aceleración) vemos que queda limpia de señales de interferencia, tales como el ruido, evitándose así errores en la medida de los valores de la onda.

El algoritmo FFT se aplica mediante una función de la subrutina genérica “Math Object”. Sus parámetros son dos: velocidad de muestreo y canal. Genera archivos con tres columnas, que representan la frecuencia, la magnitud y el ángulo de fase. Para evitar ambigüedades sobre cuál es el contenido frecuencial real de la señal sin muestrear, el algoritmo limita la banda en frecuencia para impedir el paso a todas las frecuencias superiores a la mitad de la frecuencia de muestreo. Para ello se utiliza un filtro “anti-aliasing” encargado de evitar este problema, es decir,

aparición de frecuencias ajenas (“alias”) provocadas por el muestreo temporal. Por esta razón, el algoritmo da valores de frecuencia entre 1 y 250 Hz (frecuencia de muestreo / 2), a intervalos regulares, llegando hasta los 11000 datos.

Como se comentó en el apartado 2.2.3., para poder aplicar el algoritmo FFT se deben cumplir dos condiciones :

- 1) Que el número total de muestras de la señal sea una potencia de dos (2^n).
- 2) Que la señal tenga un número entero de períodos.

La primera se consigue limitando la longitud de la señal y la segunda mediante una “ventana de ponderación”. Existen varios tipos de “ventanas” para realizar la ponderación temporal, como son: Rectangular, Hanning, Kaiser Bessel, Flat Top, Blackman, Hamming, etc... La elección de la “ventana” adecuada es un “arte” y obedece a las necesidades particulares de cada aplicación. En este caso, hemos utilizado la Hanning por ser la recomendada con señales continuas, ya que, presenta una buena resolución en frecuencia y reduce el “leakage”, aunque pierde algo de exactitud en la amplitud (Gniewek, 2000).

La representación gráfica frecuencia - magnitud (denominada en los gráficos como M.O., Magnitud de la Onda), se consigue seleccionando del archivo de FFT las columnas primera y segunda, que contienen los valores de ambos ejes.

Utilizamos la sensibilidad de los acelerómetros para transformar las unidades de voltaje, en las que viene expresada la magnitud en los ficheros de FFT, en unidades físicas de aceleración (m/s^2). El espectro viene dado en valores eficaces.

El cálculo de la frecuencia más representativa se realiza en dos fases: primero, se busca en la columna correspondiente, la mayor de las magnitudes (mediante la subrutina “maxindex”) y luego, para este valor, se obtiene su frecuencia. El valor de la frecuencia más representativa se muestra en pantalla.

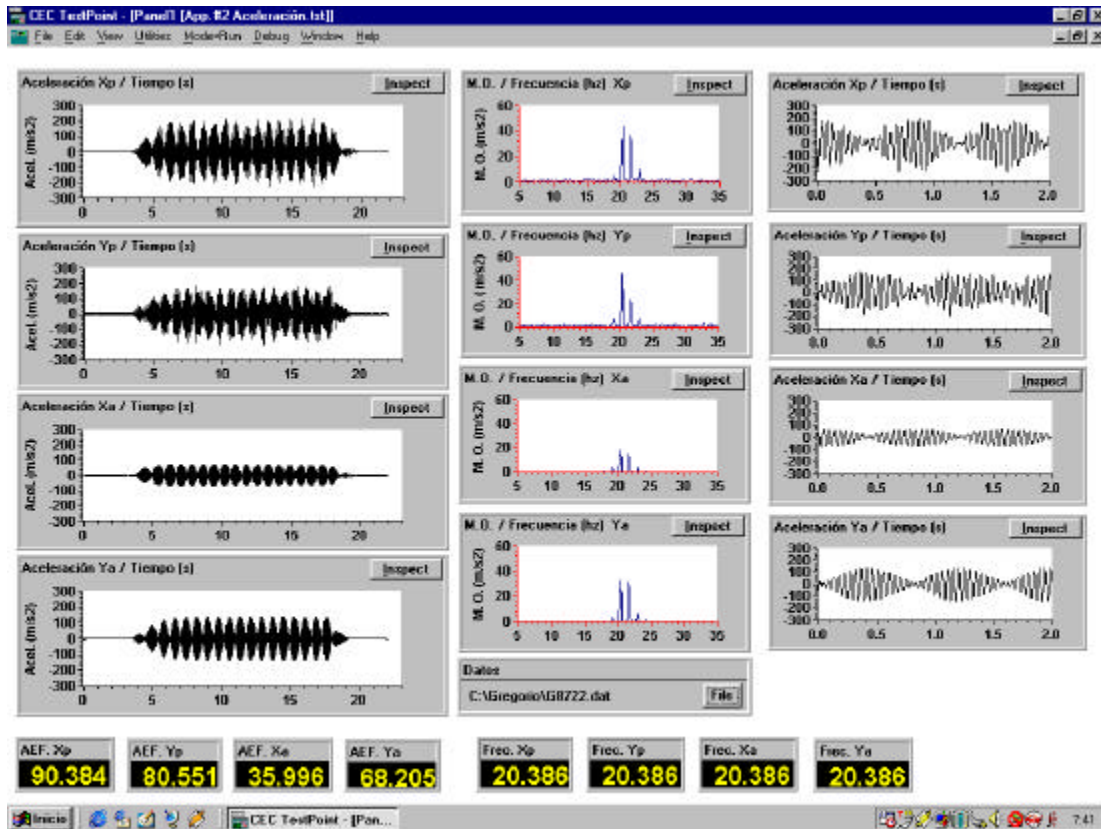


Figura 21. Programas de análisis de las aceleraciones.

Programa “Estrella.tst”

Calcula la estrella real de vibración generada por el vibrador. Para ello, toma las señales longitudinal y transversal de aceleración registradas en la cabeza vibradora o poste y las enfrenta en un gráfico.

La frecuencia del movimiento nos permite calcular el tiempo necesario para obtener la estrella completa.

3.2.4.2. Análisis estadístico.

Con los valores de los parámetros de estudio obtenidos en cada ensayo, se procede a su análisis estadístico, para lo cual utilizamos las siguientes técnicas:

- 1) Correlación y regresión.
- 2) Tests de comparación de medias.

1) Correlación y regresión.

Con la correlación pretendemos determinar la relación existente entre variables cuantitativas. Esta prueba es el primer paso para luego poder establecer la fórmula matemática (regresión) que represente la relación y permita estimar el valor de la variable dependiente, sin necesidad de medirla, en función de los valores de las variables dependientes.

A menudo se utiliza el modelo de regresión lineal simple incluso cuando se sabe que el modelo es algún otro, o que la estructura verdadera es desconocida. Este procedimiento es casi siempre adecuado, en el especial cuando el rango de la variable independiente es estrecho. De esta forma, el modelo utilizado se transforma en una función de aproximación, de la cual se espera que sea una representación adecuada de la realidad en la región de interés (Walpole y Myers, 1989).

La medida de la asociación lineal entre dos variables se realiza a través del coeficiente de correlación de la población (ρ), que se estima a través del coeficiente de correlación muestral (r) o coeficiente de correlación lineal de Pearson, cuyos valores varían entre -1 y $+1$, correspondiendo ambos extremos a un ajuste exacto de los datos a una recta. Si $r > 0$ se dice que la correlación es directa o positiva, siendo inversa o negativa en el caso contrario ($r < 0$). Cuando $r = 0$, el ajuste lineal no tiene sentido y las variables son incorreladas. Para valores de r próximos a 0 tendremos una correlación débil y para valores próximos a 1 ó -1 la correlación lineal será fuerte.

El valor r^2 se denomina coeficiente de determinación de la muestra y expresa la proporción de la variación total en los valores de la variable dependiente que puede ser explicada por una relación lineal con los valores de la variable independiente.

Para la aplicación del Análisis de la Correlación lineal simple entre variables, se ha seguido el siguiente esquema:

1) Determinar el coeficiente de correlación muestral:

Para ello se utiliza la hoja de cálculo EXCEL de Microsoft, que incorpora la subrutina COEF.DE.CORREL (matriz 1; matriz 2).

2) Comprobar la significación del coeficiente de correlación:

Para valorar si el r calculado determina una correlación significativa entre las dos variables, se realiza un contraste estadístico denominado Significación del Coeficiente de Correlación, que considera como hipótesis nula; $H_0: \rho_{x,y} = 0$, donde $\rho_{x,y}$ (ó ρ) es el coeficiente de correlación de la población. Como estadístico de contraste se utiliza el coeficiente de correlación muestral $r_{x,y}$ (ó r).

3) Obtener el intervalo de confianza del coeficiente de correlación:

Se busca un intervalo de confianza de ρ con un nivel de significación α (confianza, $1-\alpha$). Esto es, un intervalo del que podemos asegurar que ρ pertenece al intervalo con probabilidad $1-\alpha$. El método utilizado para el cálculo de intervalo de confianza es el de la transformada Z de Fisher.

2) Tests de comparación de medias.

Con los tests de comparación de medias se analiza si un carácter cualitativo (denominado normalmente “tratamiento”), que presente varias modalidades, afecte de forma significativa a un carácter cuantitativo.

Si disponemos de “p” muestras aleatorias diferentes, cada una correspondiente a una modalidad del tratamiento, cuyas medias muestrales $X_1, X_2 \dots X_p$ son, en general, diferentes, se trata de contrastar la hipótesis nula, $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_p$, donde $\mu_1, \mu_2 \dots \mu_p$ son las medias poblacionales, frente a la hipótesis alternativa, $H_1: \mu_i \neq \mu_j$, para algún par de poblaciones i, j.

Si se acepta H_0 se da por supuesto que las diferencias observadas en los valores de las medias muestrales no son significativas y se pueden deber al azar, en consecuencia no hay razón para pensar que los diferentes tratamientos tengan efecto sobre la variable cuantitativa. Si se rechaza H_0 , consideramos que las diferencias entre $X_1, X_2 \dots X_p$ son significativas, esto es, demasiado grandes para que se deban al azar y, por tanto, consideramos que los tratamientos tienen efecto significativo sobre la variable cuantitativa. En este caso, se continúa el análisis para determinar qué par o pares de poblaciones tienen media poblacional diferente.

La prueba más utilizada para comparar p-medias es el Análisis de la Varianza con un solo factor (conocido como ANOVA I o también ANVAR I). Se trata de una prueba paramétrica que supone el cumplimiento de tres hipótesis llamadas condiciones paramétricas del Análisis de la Varianza:

- 1) Que las poblaciones de donde proceden las muestras sean normales (Hipótesis de Normalidad).
- 2) Que las citadas poblaciones tengan la misma varianza (Hipótesis de homocedasticidad).
- 3) Que las muestras hayan sido elegidas al azar (Hipótesis de Independencia).

Si existen dudas razonables sobre el incumplimiento de las hipótesis se debe aplicar un test no paramétrico. Estas pruebas tienen la ventaja de no requerir prácticamente condiciones para su aplicación, pero por contra son menos sensibles para detectar efectos significativos.

No obstante, las pruebas no paramétricas son de distribución libre y, en consecuencia, se pueden aplicar aún cuando se verifiquen las hipótesis del ANOVA. Esto es, la posibilidad de estudio mediante Análisis de la Varianza no excluye el uso de tests no paramétricos.

También podemos analizar la influencia de varios factores sobre la variable cuantitativa, teniendo entonces el Análisis de la Varianza Multifactorial. Se puede suponer que cada factor actúa independientemente de los otros, es decir, que el efecto producido por sus niveles no depende de los niveles de los demás factores, por lo que en este caso se dice que el modelo es de efectos aditivos. En caso contrario el modelo presenta interacción, recibiendo los factores el nombre de efectos principales y la acción conjunta de los distintos niveles de los factores, efecto de la interacción.

En resumen, el proceso seguido en la aplicación del test de medias es el siguiente:

1) Verificación de hipótesis de normalidad y homocedasticidad:

a) Hipótesis de normalidad:

El contraste que utilizaremos es la prueba “W” de Shapiro-Wilk, pero utilizando el nivel de significación $\alpha = 0'01$ para evitar una elevada probabilidad de cometer el error tipo I (rechazar la hipótesis nula siendo cierta).

b) Hipótesis de homocedasticidad:

El análisis de esta hipótesis se realiza aplicando la prueba “F” de Snedecor de homocedasticidad a los diferentes pares de poblaciones. Hemos de tener en cuenta que

actuando de esta forma aumenta en gran medida la probabilidad de que rechacemos la hipótesis de homocedasticidad aún cuando sea cierta. Ante esta situación reduciremos el nivel de significación al valor $\alpha = 0'01$, mientras que en el resto de pruebas se utilizará el valor $\alpha = 0'05$. Sólo se aplica la prueba “F” cuando hayamos admitido la normalidad.

Una vez realizados estos contrastes, llegamos a una de las dos posibilidades siguientes:

- Supuesto A: estamos en condiciones de aplicar la prueba de Análisis de la Varianza (y opcionalmente una prueba paramétrica).
- Supuesto B: alguna población no sigue la ley normal o las poblaciones no son homocedásticas.

2) Pruebas a aplicar:

- a) En el supuesto A aplicamos un Análisis de la Varianza.
- b) En el supuesto B, aplicamos un test no paramétrico. En concreto, hemos utilizado la prueba “H” de Kruskal-Wallis (que también puede emplearse en el supuesto A).

Si al aplicar la correspondiente prueba se acepta la hipótesis nula H_0 , se acaba el proceso. Si se rechaza H_0 , se continúa identificando los pares de poblaciones de diferentes medias.

3) Contraste de diferencia de dos medias:

- a) En el supuesto A, utilizaremos la prueba HSD de Tukey o prueba “Q” de recorrido studentizado.
- b) En el supuesto B, utilizaremos la prueba “U” de Mann-Whitney.

Cuando contemplamos varios factores afectando a la variable dependiente considerada en el estudio, el análisis estadístico se realizó con el programa STATGRAPHICS PLUS de Statistical Graphics Corporation, utilizando el Análisis de la Varianza Multifactorial, Contraste de Rango Múltiple y test no paramétricos.

El Análisis de la Varianza muestra qué factores tienen efecto estadísticamente significativo sobre la variable dependiente. Cuando en la tabla ANOVA el nivel de significación de un factor (P-valor) es menor que 0'05, dicho factor tiene efectos estadísticamente significativos, con el 95% de nivel de confianza.

En los factores con efecto, debemos estudiar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de todos los pares que pueden establecerse con sus tratamientos, para lo cual utilizaremos Contrastes de Rango Múltiple y, en concreto, la prueba LSD de Fisher de menor diferencia significativa. El programa comprueba el cumplimiento de las hipótesis para que pueda aplicarse el Análisis de la Varianza. En la hipótesis de homocedasticidad se emplean las pruebas de Bartlett, Hartley y C de Cochran. Como alternativa no paramétrica al Análisis de la Varianza se utiliza la prueba H de Kruskal-Wallis.

Todas las pruebas estadísticas citadas así como su realización práctica vienen recogidas por Ruiz-Maya (1983) y Peña (1993).

3.2.5. Calibración.

Entre las características de actuación de los sensores destaca la sensibilidad, esto es, la relación entre el cambio en la salida y el cambio en el valor de la magnitud física a medir, que viene reflejada por la curva del sensor. El comportamiento no ideal del sensor ocasiona que el valor de la magnitud indicada sea diferente entre ambos, lo que se denomina error del sensor.

Las características de dicho error se determinan mediante calibración. Este término implica usualmente una calibración estática, correspondiendo al análisis de características determinadas estáticamente, aunque el término calibración dinámica se utiliza

específicamente. Una calibración, estática, podemos definirla como un test durante el cual se aplica una magnitud de valor conocido a un transductor, registrando con posterioridad la lectura de la salida correspondiente. Este registro resultante, cuando se realiza en forma de gráfica se le conoce como curva de calibración. La realización de este test sobre el rango completo del transductor (si no es así se especifica que la calibración se realiza en un rango parcial), una vez con magnitudes crecientes y otra con decrecientes, se denomina ciclo de calibración (Norton, 1984). La sensibilidad establece la pendiente de la curva de calibración.

Según lo dicho, el propósito de la calibración no es sino la estimación de la incertidumbre inherente al medidor, incertidumbre independiente de la introducida por la utilización de dicho medidor en condiciones que pueden ser diferentes a las de calibración. Sin embargo, y debido al coste que supone la realización de una calibración, tendrá que analizarse previamente la necesidad de dicha calibración. Así, si los requisitos de precisión para un medidor no son muy grandes, puede que esta operación no sea necesaria, pudiendo bastar con una estimación adecuada del error inherente al medidor a partir de predicciones basadas en anteriores experiencias con él (García, 1997).

El fabricante deberá proporcionar junto con el sensor un “Certificado de Calibración”, en el que venga especificada, además de otras características, su sensibilidad.

Por tanto, en este apartado se hará referencia a las pruebas realizadas para comprobar la calibración de los sensores. Debido a las adversas condiciones a las que se ven sometidos los equipos durante la toma de muestras en campo, además de la comprobación realizada tras la adquisición, periódicamente, durante los meses previos al comienzo de la campaña de recolección del olivar, se han practicado otras para la puesta a punto del equipo; esta comprobación se hará cada vez que los resultados ofrecidos por un sensor nos hagan sospechar de su correcto funcionamiento, procediendo entonces a su reemplazo en caso de la constatación de dichas irregularidades.

Todo lo referente a la metodología empleada en la comprobación de la calibración de los sensores, así como la instrumentación empleada en dicha operación, se describen en el Anexo I.

3.3. EQUIPO DE MEDIDA UTILIZADO EN ENSAYOS EN CONDICIONES DE CAMPO.

Hemos empleado el equipo de captura, registro y análisis de datos desarrollado por el Grupo de Investigación de Mecanización Agraria de la Universidad de Córdoba (Gil, 1989; Illanes, 1990; Agüera et al., 1992), realizando las adaptaciones necesarias para el ensayo del conjunto tractor-vibrador, puesto que, hasta ahora, este equipo sólo ha sido utilizado en el ensayo de aperos de laboreo y máquinas agrícolas (Salas, 1993; Gálvez et al., 1995; Sánchez-Hermosilla, 1997; Blanco et al., 1997; García et al., 2000). La reconversión del equipo se orientó a poder utilizarlo en ambos tipos de ensayos (tractor-aperos y tractor-vibrador) para así convertirlo en un equipo general para el ensayo de maquinaria acoplada al tractor.

Los distintos elementos que componen el equipo se pueden agrupar en una serie de sistemas, parte de los cuales van embarcados en el tractor ensayado y, otra parte, en la furgoneta laboratorio (Figura 22).

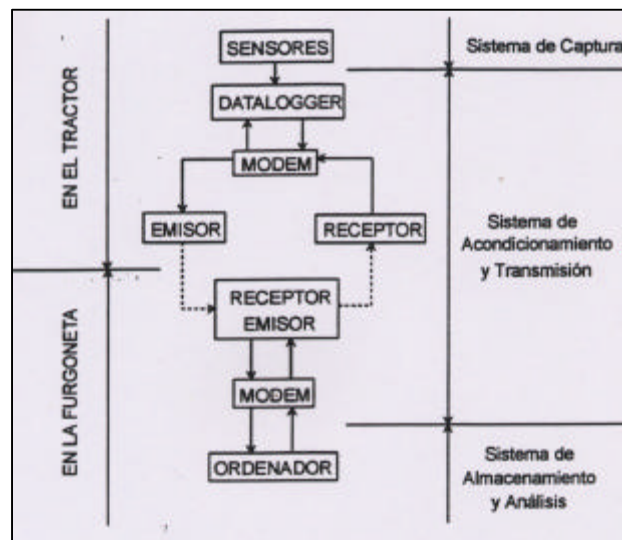


Figura 22. Esquema del equipo de medida en ensayos en condiciones de campo (Sánchez-Hermosilla, 1997).

3.3.1. Sistema de Captura.

Está constituido por una serie de sensores distribuidos por el tractor, parte de los cuales corresponden a un equipo comercial de información al tractorista, a los que se les han añadido los sensores específicos necesarios para el ensayo del tractor-aperos (descritos en los trabajos referenciados anteriormente) o tractor-vibrador (descritos en el apartado 3.2.1. de esta tesis).

El sistema integral de información al tractorista, de la marca Dickey-John modelo DjTPM II, instalado en el tractor Ebro 8110 / 4 DT que lleva acoplado el vibrador está compuesto por:

- Consola con pantalla LCD y varios mandos de control para la selección y ajuste de parámetros. Incorpora los acondicionadores de los sensores.
- Captador de velocidad de las ruedas.

- Radar doppler.
- Detector de la posición del apero (arriba o abajo).
- Cable adaptador para sensor de las revoluciones del motor.

Las señales provenientes de los sensores de velocidad de giro del motor y velocidad real de avance (radar) se toman de la consola y se introducen en el equipo de toma y adquisición de datos. Como el Dickey-John no está preparado para dar salidas analógicas tuvo que adaptarse para tal fin.

La determinación del consumo de combustible se realiza con un medidor de marca ECOSIGNAL-SOLEX DR, de desplazamiento positivo, que genera un pulso eléctrico por cada mililitro consumido y permite una exactitud en la medida de $\pm 1\%$.

3.3.2. Sistema de acondicionamiento y transmisión de datos.

Las señales (ya acondicionadas) de los sensores del equipo integral de información al tractorista junto con las señales de los sensores del vibrador, que se acondicionan según lo descrito en el punto 3.2.2.1, se reúnen en la llamada “Caja Tactor”. De aquí son recogidas por un sistema de adquisición y acondicionamiento para introducirlas en un sistema de transmisión a través de un puerto RS232 (Figura 23).



Figura 23. Sistema de acondicionamiento y transmisión de datos: “Datalogger”(izquierda) y unidad de alimentación y telemetría (derecha).

Sistema de adquisición y acondicionamiento

Hemos utilizado un sistema Datalogger embarcable programable con tarjetas acondicionadoras intercambiables y con memoria de almacenamiento de 770 Kb de tipo FIFO.

El equipo está formado por una unidad principal, modelo 10 K4T-KD de la gama System 10 de la marca DAYTRONIC, en la que pueden instalarse hasta 10 tarjetas (cuyo fin es el acondicionamiento de las señales recibidas de cada sensor). Esta unidad posee un convertidor A/D de 16 bit, un microprocesador con una memoria programable EPROM,

para guardar la configuración de los canales y el programa de envío de datos y una programación para su funcionamiento mediante comandos en código ASCII, además de un teclado frontal que permite el control básico de la unidad y una pequeña pantalla de dos líneas para visualizar parámetros y comandos introducidos o las respuestas obtenidas.

El conjunto de las medidas realizadas con este Equipo de Ensayo en Campo junto con los acondicionadores empleados se relacionan en la Tabla 10. El número (n°) de la tarjeta corresponde al “slot” donde se inserta. El Equipo incorpora diez tarjetas, por tanto, las no referenciadas en la tabla sólo se utilizan para los ensayos con aperos (tarjetas extensométricas para medidas de fuerzas y momentos en el enganche).

Tabla 10. Medidas con el Equipo de Ensayo en Campo y tarjetas acondicionadoras empleadas.

Canal	Medida (unidad)	Tarjeta acondicionadora			
		n° (slot)	n° canal	Denominación	Modelo
1	Caudal bomba (l/min) (Qsb)		1		
2	Caudal motor (l/min) (Qm)		2		
3	Presión bomba (bar) (Psb)	1	3	Voltaje	10 A64-8
4	Presión motor (bar) (Pm)		4		
5	Presión apriete (bar) (Pap)		5		
6	Rpm motor hidráulico (RPMmh)		6		
	Aceleración eficaz cabeza vibradora:	7		RMS	10 A68-2
7	eje X (m/s ²) (A1)		1		
8	eje Y (m/s ²) (A2)		2		
9	Par tdf (N· m) (Mtdf)	1	7	Voltaje	10 A64-8
10	Rpm motor tractor (RPMm)	5	1	Entrada Frecuencia	10 A40
11	Velocidad tractor (Km/h)	6	1	Entrada Frecuencia	10 A40
12	Consumo combustible acumulado (ml)	9	3	Contadora	
13	Número orden lectura				
14		10		FIFO	10AFIFO

Sistema de transmisión

Las salidas de los sensores, una vez digitalizadas, pueden ser almacenadas en la memoria tipo FIFO o transferidas a un ordenador. Nosotros las hemos conectado a un sistema de telemetría semidúplex, de manera que el equipo instalado en el vehículo de apoyo emite o recibe, y el del tractor, emite y recibe a la vez. Es por esto que necesitamos dos antenas en el tractor y sólo una en el vehículo de apoyo.

En el tractor, las señales de salida del Datalogger, a través de una conexión RS232, van a un modulador-demodulador (modem) y se envían por una emisora de UHF, a razón de un dato por segundo y canal, hasta el ordenador situado en el vehículo de apoyo, donde otro equipo similar las decodifica.

Todo el Equipo de Ensayo en Campo se alimenta desde el tractor a través de una batería que proporciona la energía eléctrica cuando el tractor está parado.

Datalogger, sistema de alimentación y sistema de transmisión, se instalan en una caja de madera hecha a tal efecto, cuyo panel trasero, que contiene los conectores de entrada de los sensores, se adaptó para compatibilizar ensayos con aperos y con vibrador. En dicho panel se sitúan seis conectores para entrada de las células de carga de medida de fuerzas y momentos en el enganche, un conector de 37 pin para entrada de las señales de los sensores que monitorizan el conjunto tractor-apero o tractor-vibrador y que provienen de la “Caja Tractor” y un conector BNC para conexión de las antenas del tractor.

Durante los ensayos la caja se ubica en el techo de la cabina del tractor utilizado fijándose mediante unos tornillos a unas pletinas que hacen de base.

3.3.3. Sistema de almacenamiento y análisis.

3.3.3.1. Sistema de almacenamiento de datos.

Los datos transmitidos se almacenan en la memoria de un ordenador portátil. La gestión de todo el sistema de toma y adquisición de datos se realiza a través de una serie de programas informáticos, en lenguaje BASIC, que se describe a continuación:

- Programa HALCEBII.con:
Configuración del sistema para la toma de datos en ensayos con el vibrador.

- Programa 3TERMINAL.bas:
Convierte el ordenador en el teclado del Datalogger permitiendo la comunicación para modificar la configuración y tarar los distintos canales que se estén empleando.

- Programa 3MONIHAL.bas:
Establece la comunicación con el Datalogger, ejecuta la rutina de comienzo de la transmisión y recibe los datos procedentes del tractor. Sólo permite visualizar los datos en la pantalla del ordenador pero no grabarlos, por lo cual se usa para verificar el correcto funcionamiento del sistema antes de realizar un ensayo.

Los datos aparecen ordenados en forma de matriz correspondiendo las columnas a cada uno de los canales de medida, y las filas al número de orden de la lectura, o número de segundo, puesto que la transmisión se realiza a un dato por segundo y canal. Cuando se ha completado una pantalla, la fila de nuevos datos sustituye a la inmediata anterior y así se renueva toda la pantalla.

- Programa 3ESPEHAL.bas:
Es similar al anterior pero éste sí permite grabar los datos de forma simultánea a la visualización. Previamente a su ejecución solicita un nombre de fichero donde almacenar los datos.

- Programa 5TRPG.bas:
Permite cambiar la configuración existente en el Datalogger o enviar una nueva, transmitiendo el fichero de configuración, el cual se almacenará en la memoria EPROM.

3.3.3.2. Análisis de datos.

Los ficheros de texto almacenados con el programa 3ESPEHAL.bas se analizan en gabinete utilizando la hoja de cálculo EXCEL de Microsoft.

Por último, es importante destacar la versatilidad de los dos equipos de medida descritos. Ambos sólo se diferencian en el Sistema de Almacenamiento y Análisis, que además es la parte móvil sólo unida al Sistema de Captura y Acondicionamiento del tractor-vibrador a través de un cable.

Esto permite cambiar fácil y rápidamente entre Ensayos en árbol o poste y Ensayos en condiciones de Campo, sólo con conectar el conjunto tarjeta de adquisición de datos-ordenador o la caja del Datalogger.

4. ENSAYOS.

En función de los objetivos y teniendo en cuenta la metodología e instrumentación utilizada, hemos realizado dos tipos de ensayos:

- **Ensayos en poste y árbol.** A su vez, dentro de estos se distinguen varios según su objetivo:
 - Ensayos del circuito mecánico-hidráulico de generación de vibración (4.1)
 - Ensayos de modificación de las características vibratorias (4.2)
 - Ensayo de un prototipo (4.3)

- **Ensayos en condiciones de campo.**
 - Ensayos para determinar la fiabilidad y maniobrabilidad del vibrador en condiciones reales de trabajo de campo (4.4)

4.1. ENSAYOS DEL CIRCUITO MECÁNICO-HIDRÁULICO DE GENERACIÓN DE VIBRACIÓN.

4.1.1. Objetivo.

Estos ensayos se presentan como base para el desarrollo del resto que se realizan en condiciones de laboratorio. El objetivo general que persiguen es desarrollar la metodología propuesta de ensayo de vibradores, lo cual se concreta en:

- 1) Obtener el balance de potencias de la máquina bajo diversas condiciones de funcionamiento.

- 2) Determinar el comportamiento del sistema pinza-poste o árbol sometido a vibración forzada.

Los ensayos realizados en este bloque se describen en la Tabla 11, especificando su objetivo particular y si se realizaron sobre poste o árbol.

Tabla 11. Ensayos del circuito mecánico-hidráulico de generación de vibración.

Nombre ensayo	Objetivo	Realización
POSTE G	- Ensayos en poste normalizado según ISO/TC 23/SC (1980) - Determinar variables que influyen en los parámetros del circuito mecánico-hidráulico de generación de vibración	Poste
ÁRBOL ÁRBOL1 ÁRBOL2	- Determinar variables que influyen en los parámetros del circuito mecánico-hidráulico de generación de vibración	Árbol
HALCON8	- Ensayo en nueva propuesta de poste móvil. Comprobación de la “repetibilidad” del equipo de medida.	Poste móvil
HALCON7 HALCON2 HALCON3	- Ensayo en nueva propuesta de poste móvil. - Determinar variables que influyen en los parámetros del circuito mecánico-hidráulico de generación de vibración	Poste móvil

4.1.2. Metodología y desarrollo del ensayo.

Aunque este epígrafe se encuadre dentro de los “Ensayos del circuito mecánico-hidráulico”, vamos a describir de forma general cómo hemos realizado en campo los ensayos que metodológicamente denominamos “Ensayos de laboratorio” y que, por tanto, siguen unas mismas pautas.

Se consideran dos variables fundamentales:

- Altura de agarre de la pinza sobre el tronco del árbol o poste (Hag).
- Revoluciones del motor del tractor que acciona el vibrador (RPMm).

La primera, determina la incidencia del modo de agarre en el comportamiento de la estructura y, por tanto, la resistencia al movimiento que el vibrador debe vencer, lo cual permite obtener datos del comportamiento de la máquina bajo diversas cargas, simplemente variando la altura. Esto es de gran utilidad cuando se utilizan postes de ensayos pues así se puede simular la resistencia que oponen los árboles en función de su tamaño.

El motor del tractor acciona la bomba del circuito hidráulico, por lo que la variación de las revoluciones supone un cambio en las condiciones de funcionamiento de la bomba hidráulica y de todos los demás elementos del circuito, determinando la frecuencia del movimiento.

Hemos fundamentado la metodología de ensayo de vibradores en laboratorio en estas dos variables por varios motivos:

- Se modifican de forma rápida y fácil, pudiendo realizarse muchas pruebas en un tiempo no excesivo.
- Permiten obtener resultados directamente aplicables en el diseño.
- Obedecen a los parámetros normales seleccionados para el funcionamiento de la máquina en campo, garantizándose así la transferencia de los resultados de la investigación.

El desarrollo de un “ensayo normalizado” será el siguiente:

1) Se arranca el tractor con la tdf conectada y se mantiene durante unos quince minutos a ralentí, para que se estabilicen las revoluciones del motor y se caliente el aceite, y luego se para.

2) Partiendo de todos los sensores ubicados en su posición, excepto los acelerómetros del árbol o poste que se colocan una vez apretada la pinza para evitar

dañarlos en caso de maniobra errónea, se acciona el interruptor de la batería para alimentar a los circuitos de la instrumentación que lo requieran.

3) Con un voltímetro se toman las lecturas en vacío (“offset”) de todos los sensores, utilizando como salidas los conectores BNC de la caja de entrada a la tarjeta, que previamente debe unirse a las cajas acondicionadoras situadas en el tractor a través del cable con conectores de 37 pin. Para evitar presiones en el cilindro de apriete, se debe situar la pinza en posición horizontal y sin apretar.

De esta forma controlamos el estado de los sensores antes de empezar el ensayo y al finalizarlo, pues esta misma operación también se realiza al acabar, permitiendo así detectar fallos y situarlos en el tiempo.

4) Se arranca de nuevo el tractor y procedemos a coger el poste o tronco del árbol a la altura fijada por el ensayo, para lo cual, éste debe apoyarse en la parte fija de la boca de la pinza vibradora, siendo el brazo el que debe desplazarse hasta llegar a abrazarlo, y consideramos que la altura la marca el centro de la almohadilla. El agarre se hace siempre perpendicular al tronco o poste.

A continuación se colocan los acelerómetros de tal forma que el cubo que los porta quede clavado (árbol) o roscado (poste) justo a la altura elegida y en la misma dirección que los ubicados en la cabeza vibradora (Figuras 24 y 25).

5) Se coloca la furgoneta laboratorio o la mesa del ordenador junto al tractor y se conectan de nuevo las cajas acondicionadoras con la caja de entrada a la tarjeta. Encendemos la tarjeta y el ordenador, y preparamos el programa de adquisición de datos introduciendo los parámetros del ensayo (nombre, canales a adquirir, frecuencia de muestreo y total de datos).

6) El ensayo propiamente dicho lo dividimos en tres partes:



Figura 24. Ubicación de los acelerómetros en la cabeza vibradora.



Figura 25. Ubicación de los acelerómetros en el poste.

- a) Con el acelerador de mano del tractor y mediante lectura en la pantalla del Equipo Integral de Información del tractor, el tractorista fija las revoluciones seleccionadas para el ensayo, avisando, cuando quedan estabilizadas, a la persona que controla el Sistema de Adquisición de Datos, la cual en ese momento acciona el botón “Inicio” del Programa de Adquisición.

Esta parte dura 3 segundos y se registran los valores correspondientes al estado de reposo.

- b) Desde el control se da la orden de accionamiento de la palanca del distribuidor que pone en marcha la vibración, manteniéndola accionada durante 15 segundos, tiempo durante el cual se produce el transitorio de arranque y el régimen permanente de la vibración.
- c) Transcurrido el período de vibración, desde el control se avisa de la parada y el tractorista desactiva la vibración devolviendo el mando a la posición neutra.

Esta parte dura 4 segundos y registra el transitorio de parada. Una vez detenido el movimiento del vibrador se reducen las revoluciones del motor del tractor hasta el ralentí.

Por tanto, la duración total del ensayo y de los ficheros adquiridos es de 22 segundos. Las partes se delimitan mediante cronómetro por la persona que realiza el control.

7) Una vez terminado el ensayo y antes de realizar el siguiente, se procede a la comprobación de los datos adquiridos utilizando los programas que para tal fin se describen en el apartado 3.2.4.1.

Esta estructura general se complementa con las particularidades propias de cada tipo de ensayo permitiendo desarrollar procedimientos fácilmente aplicables en laboratorio

y en los que los posibles fallos o desviaciones respecto a los valores de referencia (obtenidos en ensayos previos de contrastación del sistema) se pueden detectar en la fase concreta en que se han producido, respondiendo los resultados obtenidos a la influencia propia de las variables del ensayo y no a errores metodológicos del mismo.

En principio, en todos los ensayos se registran todos los parámetros del circuito mecánico-hidráulico por considerar que así se caracteriza completamente el funcionamiento del vibrador en todo momento, aunque en ocasiones se prescinde de alguna medida por considerarla no concluyente y otras veces se introducen más sensores para poder completar datos que aclaren ciertos aspectos.

4.1.3. Ensayos en poste.

4.1.3.1. Diseño experimental.

En la Tabla 12 se exponen las variables consideradas en el diseño de los ensayos en poste y se hace una descripción del desarrollo de los mismos.

Tabla 12. Ensayos del circuito mecánico-hidráulico de generación de vibración. Ensayos en poste.

Nombre ensayo	Variables	Descripción
POSTE G	Hag: 0.6, 0.8, 1 m RPMm: 1600, 1800, 2000, 2200 rpm	- Ensayo “normalizado” combinando variables. - Cabeza M202
HALCON8	RPMm: 1600, 1900, 2200 rpm	- Ensayo “normalizado” a Hag = 0.8 m. - 6 repeticiones para cada RPMm - Cabeza M202
HALCON7	Hag: 0.4, 0.8, 1.2 m RPMm: 1600, 1800, 2000, 2200 rpm	- Ensayo “normalizado” combinando variables. - Introducimos medida de aceleración en la parte trasera de la cabeza vibradora - Cabeza M202
HALCON2 HALCON3	Hag: 0.4, 0.8 m RPMm: 1600, 1800, 2000, 2200 rpm	- Ensayo “normalizado” combinando variables. - Introducimos medida de aceleración en la parte trasera de la cabeza vibradora - Cabeza M202

4.1.3.2. Descripción de los postes utilizados.

- Poste normalizado según ISO/TC 23/SC:

El poste utilizado en estos ensayos se encuentra en las instalaciones de la Unidad de Mecanización del CIFA “Alameda del Obispo” (Córdoba), dependiente de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía.

Sus características quedan recogidas en la citada norma y modificaciones posteriores según hemos referenciado en los Antecedentes.

Está formado por una zapata de hormigón, cilíndrica de 1.8 m de diámetro y 1 m de altura, que actúa de base, sobre la cual se embute un tubo de acero de 4 m de longitud, 0.273 m de diámetro exterior y 7 mm de espesor. Una vez construido, la altura de tubo que sobresale del terreno es 2.5 m.

- Nueva propuesta de poste móvil:

Su construcción se realiza durante el mes de Abril de 1999 en los talleres del Departamento de Ingeniería Rural de la Universidad de Córdoba.

Consta de dos piezas independientes unidas de forma flexible (Figura 26):

- Una base constituida por una pieza cilíndrica de hierro, de 1.53 m de diámetro exterior y 0.35 m de altura, hueca en su interior pero con dos nervios que diametralmente la cruzan y forman en el centro un ensachamiento. Se apoya sobre 9 muelles ubicados cada uno dentro de dos cazoletas, dispuestas sobre dos anillos circulares de acero unidos por tornillos que no impiden el juego de los muelles, uno colocado sobre la base y el otro descansando directamente en el suelo.

- Un tubo de acero de 2.5 m de longitud y 0.27 m de diámetro exterior con un espesor de pared de 6 mm.

Para realizar la unión, a la parte inferior del tubo de acero se le soldó una brida de 0.585 m de diámetro. Por encima se colocan dos anillos de caucho y una pieza de acero en forma de corona circular, del mismo diámetro exterior de la brida, para aprisionar el conjunto. La sujeción de las piezas entre sí y al centro de la base se realizó con ocho tornillos de acero de alta resistencia que apoyan en su parte inferior sobre “silentblock”, los cuales junto con los anillos de caucho confieren flexibilidad a la unión tubo de acero-base (Figura 27).

La masa total del poste es 1650 kg, lo cual se demuestra insuficiente para ofrecer una resistencia adecuada a la vibración. Para aumentar la masa se pensó en un principio utilizar contrapesos utilizados en el lastrado delantero de tractores que se colocaron en el interior de la base, pero se comprobó que este material se desplaza de su sitio y provoca mucho ruido (al chocar las placas entre sí) durante la vibración.

Por tanto, para solventar estos problemas, utilizamos bolas de acero procedentes del desecho de un molino de cemento. Este material aporta las siguientes ventajas: permite variar de una forma sencilla la masa del poste simplemente añadiendo o quitando bolas del interior de la base; cuando se vibra el poste se produce un asentamiento de las bolas que van ocupando huecos vacíos en el interior de la base y entre ellas, consiguiendo así que la distribución de la masa sea uniforme; no producen ruido en su choque debido a su pequeño tamaño.

Terminado el poste se realizaron varios taladros para la colocación de los cubos portaacelerómetros a 0.4, 0.6, 0.8, 1 y 1.2 m de la base.



Figura 26. Poste móvil diseñado para el ensayo de vibradores.



Figura 27. Poste móvil. Detalle de la unión tubo de acero-base.

Después de varios ensayos de prueba y visto que la soldadura practicada entre el tubo de acero y la brida se iba deteriorando con facilidad, se decidió fortalecer esta unión soldando seis cartelas para evitar posibles roturas, aunque este tipo de percance sería de fácil solución pues sólo habría que desatornillar la brida y soldarla de nuevo al tubo, aportando esto una gran ventaja frente al tubo del poste tradicional anclado en una zapata de hormigón.

4.1.4. Ensayos en árbol.

4.1.4.1. Diseño experimental.

En la Tabla 13 se describe el desarrollo de los ensayos realizados en árboles y las variables consideradas en su diseño.

Tabla 13. Ensayos del circuito mecánico-hidráulico de generación de vibración. Ensayos en árboles.

Nombre ensayo	Variables	Descripción
ÁRBOL	Hag: 0.4, 0.5, 0.6 m Diámetro tronco: 0.25, 0.3 m	- Ensayo “normalizado” a RPMm = 2000 rpm - Se realiza sobre 14 árboles - Cabeza M202
ÁRBOL 1	Hag: 0.6, 0.8 m RPMm: 1800, 2200 rpm	- Ensayo “normalizado” combinando variables - Se realiza sobre 10 árboles de características similares - Cabeza M202
ÁRBOL 2	Hag: 0.4, 0.7, 1 m RPMm: 1600, 1900, 2200 rpm Diámetro tronco: G (0.3 m); T (0.2 m)	- Ensayo “normalizado” combinando variables - Se realiza sobre 18 árboles (9 tipo G, 9 tipo T) - Cabeza M202

Los ensayos sobre árboles se empiezan planteando un ensayo general que denominamos ÁRBOL. Se eligen al azar 14 árboles dentro de una misma parcela,

determinando su tamaño con la medida del tronco y se vibran a tres alturas de agarre (Hag).

Continuamos el estudio con el bloque de ensayos ÁRBOL 1, en el que se suprime la variabilidad del diámetro del tronco y se aumenta el intervalo entre alturas de agarre. Además se introduce una nueva variable, las revoluciones del motor del tractor (RPMm).

Por último, en el bloque ÁRBOL 2 se contemplan juntas todas las variables que en los ensayos anteriores se habían considerado por separado. Se introduce de nuevo la variable diámetro del tronco, utilizada como indicador del tamaño del árbol y cuya elección responde a los criterios ya citados respecto a las variables Hag y RPMm (ver punto 4.1.2.), de hecho los fabricantes de vibradores construyen modelos diferentes según intervalos de diámetros de tronco en los que se recomienda su uso. Los árboles elegidos se agrupan en dos tipos en función del diámetro del tronco: tipo G, con diámetro aproximado de 0.3 m, y tipo T, con diámetro aproximado de 0.2

4.1.4.2. Descripción de los árboles utilizados.

A continuación se exponen las características consideradas en los árboles utilizados en los ensayos ÁRBOL (Tabla 14), ÁRBOL 1 (Tabla 15), ÁRBOL 2 (Tabla 16).

Todos están situados en la Finca “Alameda del Obispo” perteneciente al CIFA que la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía tiene en Córdoba. Son árboles de variedad “Hojiblanca” de un pie y marco de plantación 6 x 6 m².

Se describen en función de las siguientes características: nombre (permite identificar el ensayo en que se utiliza el árbol, diámetro del tronco (D_{tronco}), altura de la cruz (h_{cruz}), número de ramas principales (Ramas).

Tabla 14. Descripción de los árboles del bloque de ensayos ÁRBOL.

NOMBRE	D_{tronco} (m)	h_{cruz} (m)	Ramas
a1	0.32	1	3
a2	0.26	0.83	3
a3	0.25	0.78	2
a4	0.30	0.92	3
a5	0.30	0.95	2
a6	0.22	0.70	2
a7	0.23	0.73	2
a8	0.30	0.93	3
a9	0.32	0.88	3
a10	0.24	0.76	3
a11	0.30	0.92	3
a13	0.24	0.8	3
a14	0.31	0.96	3
a15	0.30	0.94	3

Tabla 15. Descripción de los árboles del bloque de ensayos ÁRBOL 1.

NOMBRE	D_{tronco} (m)	h_{cruz} (m)	Ramas
A1	0.29	0.8	3
A3	0.26	1.05	3
A4	0.25	1.18	2
A5	0.28	0.9	3
A6	0.31	0.95	3
A7	0.28	0.95	2
A8	0.27	1	3
A9	0.27	1.10	2
A11	0.26	1	2

Tabla 16. Descripción de los árboles del bloque de ensayos ÁRBOL 2.

NOMBRE	D_{tronco} (m)	h_{cruz} (m)	Ramas
G1	0.37	1.35	3
G2	0.24	1.20	3
G3	0.30	1	3
G4	0.29	1.20	2
G5	0.25	1.15	2
G6	0.29	1.40	3
G7	0.31	1.10	3
G8	0.30	1.30	3
G9	0.40	1.20	3
T2	0.24	1.20	3
T4	0.24	1.10	2
T5	0.22	1.15	3
T6	0.25	1.10	2
T10	0.24	1.35	2
T13	0.22	1.05	2
T14	0.21	1.05	3
T15	0.22	1.20	2
T16	0.24	1.18	3

4.2. ENSAYO DE MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS VIBRATORIAS.

4.2.1. Objetivo.

Obtener la combinación mecánica (masas de inercia y poleas) que proporcione el mayor porcentaje de derribo con el mínimo de potencia aplicada.

4.2.2. Diseño experimental.

4.2.2.1. Elección de combinaciones mecánicas.

En el vibrador ensayado, una polea motriz acciona las poleas que sustentan a las masas excéntricas, por lo que sus velocidades angulares se determinan según:

$$\omega_1 = \omega_m \cdot \frac{D_m}{D_1}$$

$$\omega_2 = \omega_m \cdot \frac{D_m}{D_2}$$

Donde: ω_m : velocidad angular de la polea motriz
 D_m : diámetro de la polea motriz
 D_1 : diámetro de la polea plana que soporta la masa m_1
 D_2 : diámetro de la polea trapezoidal que soporta la masa m_2

Definiendo las variables:

$$u = \frac{D_m}{D_1} \quad (1)$$

y

$$v = \frac{D_m}{D_2} \quad (2)$$

las expresiones de los parámetros definidos en 2.2.2.2., quedan de la forma

$$n = \frac{u + v}{|u - v|} \quad (3)$$

$$F_o = \frac{|m_1 u^2 - m_2 v^2|}{m_1 u^2 + m_2 v^2} \quad (4)$$

$$f = \frac{\omega_m (u + v)}{4p} \quad (5)$$

$$F_{ef} = \omega_m^2 \cdot r \cdot \sqrt{(m_1 u^2)^2 + (m_2 v^2)^2} \quad (6)$$

En función de esto, podemos plantear el problema como sigue.

Planteamiento del problema matemático.

- Variables:

D_m, D_1, D_2 diámetros

m_1, m_2 masas

$n, F_o, f, \omega_m, r, F_{ef}, u, v$

- Valores predeterminados:

n (25, 30 y 35), elegidas por ser opciones factibles y cercanas a las usadas habitualmente.

F_o (0, 0.3, 0.6), elegidos para contemplar la variación entre multidireccional pura (0) y mezcla de multidireccional y orbital (0.3 y 0.6).

$\omega_m = 1300$ RPM, determinado para 2000 rpm del motor del tractor en función de las características del motor hidráulico y de datos de ensayos previos (aunque, realmente sólo hace falta si queremos calcular los valores de F_{ef} y f).

$r = 0.12$, dato del fabricante. Válido para masas construidas con características geométricas y materiales iguales a las instaladas en la cabeza vibradora ensayada.

f (15, 20, 25) Elegidos por ser opciones factibles y cercanas a las que se presentan habitualmente.

- Relaciones matemáticas:

(1), (2), (3), (4), (5) y (6)

Como n puede tomar tres valores y F_O otros tres, se pueden presentar 9 situaciones distintas. Se pretende obtener los valores de todas las variables en las 9 situaciones.

A su vez, la expresión matemática de las relaciones cambia según las posibilidades siguientes:

$$\text{Caso (a): } u \geq v \rightarrow |u - v| = u - v$$

$$\text{Caso (b): } u < v \rightarrow |u - v| = v - u$$

$$\text{Caso (1): } m_1 u^2 \geq m_2 v^2 \rightarrow |m_1 u^2 - m_2 v^2| = m_1 u^2 - m_2 v^2$$

$$\text{Caso (2): } m_1 u^2 < m_2 v^2 \rightarrow |m_1 u^2 - m_2 v^2| = m_2 v^2 - m_1 u^2$$

Por lo tanto, se plantean un total de 36 alternativas posibles.

Solución.

Realizamos los siguientes pasos:

- 1) De las expresiones (3) y (5) despejamos las variables u y v en función de n , ω_m y f .

Caso (a):

$$u = \frac{n+1}{n} \cdot \frac{2p}{w_m} \cdot f$$

$$v = \frac{n-1}{n} \cdot \frac{2p}{w_m} \cdot f$$

Caso (b):

$$u = \frac{n-}{n} \cdot \frac{2p}{w_m} \cdot f$$

$$v = \frac{+1}{n} \cdot \frac{2p}{w} \cdot f$$

Debido a la simetría del problema:

$$u(\text{caso (a)}) = v(\text{caso (b)})$$

$$v(\text{caso (a)}) = u(\text{caso (b)})$$

2) Con las expresiones de u y v obtenidas en el paso anterior y la expresión (4) de F_0 , obtenemos la relación entre las masas m_1 y m_2 .

Caso (1):

$$m_1 = m_2 \left(\frac{v}{u} \right) \left(\frac{F_0}{1-F} \right)$$

Caso (2):

$$m = m_1 \left(\frac{u}{v} \right)^2 \left(\frac{F_0}{1-F} \right)$$

Por tanto,

Caso (1), caso (a):

$$m_1 = m_2 \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 \left(\frac{1+F_o}{1-F_o} \right) \leftrightarrow m_2 = m_1 \left(\frac{n+1}{n-1} \right)^2 \left(\frac{1-F_o}{1+F_o} \right)$$

Caso (1), caso (b):

$$m_1 = m_2 \left(\frac{n+1}{n-1} \right)^2 \left(\frac{1+F_o}{1-F_o} \right) \leftrightarrow m_2 = m_1 \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 \left(\frac{1-F_o}{1+F_o} \right)$$

Caso (2), caso (a):

$$m_2 = m_1 \left(\frac{n+1}{n-1} \right)^2 \left(\frac{1+F_o}{1-F_o} \right) \leftrightarrow m_1 = m_2 \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 \left(\frac{1-F_o}{1+F_o} \right)$$

Caso (2), caso (b):

$$m_2 = m_1 \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 \left(\frac{1+F_o}{1-F_o} \right) \leftrightarrow m_1 = m_2 \left(\frac{n+1}{n-1} \right)^2 \left(\frac{1-F_o}{1+F_o} \right)$$

3) Introducimos restricciones impuestas por el proceso de fabricación actualmente seguido en la empresa:

- Rango de variación de los diámetros de las poleas.

$$D_m, D_1 = \text{entre } 331 \text{ y } 362 \text{ mm}$$

$$D_2 = \text{entre } 331 \text{ y } 352 \text{ mm}$$

- La polea trapezoidal siempre tiene un diámetro D_2 inferior a la polea plana D_1 y se coloca debajo de ésta.
- La mayor masa excéntrica fabricada, sin suplementar, es de 28 kg.

En base a esto y teniendo en cuenta los valores de n fijados (25, 30 y 35 puntas), éstos pueden obtenerse aproximadamente con las poleas de diámetros siguientes (Tabla 17):

Tabla 17. Diámetros de las poleas utilizadas en el ensayo.

n (teórico)	D₁ (mm)	D₂ (mm)	n (real)
25	359	331	24.64
30	354	331	29.78
35	350	331	35.84

Además, para el rango propuesto de variación de frecuencia f (15, 20, 25 Hz) y considerando la velocidad angular de la polea motriz ω_m cuando el motor del tractor funciona a 2000 rpm, valor habitual utilizado en el derribo, podemos calcular el diámetro de la polea motriz D_m según la expresión derivada de (5):

$$D_m = \frac{4\pi f}{\omega_m \left[\frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2} \right]}$$

obteniendo que sólo para $f = 20$, los valores de D_m están dentro del rango propuesto por el fabricante. De entre ellos seleccionamos $D_m = 306$ mm.

Hemos elegido estos valores porque son muy cercanos a los utilizados por el fabricante en sus modelos comerciales, con lo cual conseguimos:

- Agilizar y reducir costes en la mecanización de las piezas.
- Ensayar combinaciones similares a las utilizadas en las cabezas vibratorias.

Según estas restricciones, la selección entre u y v queda de forma $v > u$, con lo cual el problema queda reducido al caso (b).

4) Calculamos la F_{ef} considerando los resultados de los pasos anteriores:

Caso (1):

$$F_{ef} = \omega_m^2 \cdot r \cdot m_2 \cdot v^2 \frac{\sqrt{2 + 2F_o^2}}{1 - F_o}$$

Caso (2):

$$F_{ef} = \omega_m^2 \cdot r \cdot m_2 \cdot v^2 \frac{\sqrt{2 + 2F_o^2}}{1 + F_o}$$

Donde r , ω_m^2 , v y F_o son conocidos.

Hemos empleado como criterio de diseño maximizar la F_{ef} aplicada, para lo cual, puesto que el resto de los parámetros son idénticos en ambas ecuaciones, debemos tomar el máximo valor posible de m_2 calculándolo de las relaciones:

Caso (1), caso (b):

$$m_1 = m_2 \left(\frac{n+1}{n-1} \right)^2 \left(\frac{1+F_o}{1-F_o} \right)$$

Caso (2), caso (b):

$$m_2 = m_1 \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 \left(\frac{1+F_o}{1-F_o} \right)$$

en las que n también está determinado.

Como el límite de masa los situamos en 28 kg los factores:

$$\left(\frac{n+1}{n-1} \right)^2 \left(\frac{1+F_o}{1-F_o} \right) \quad \text{y} \quad \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 \left(\frac{1+F_o}{1-F_o} \right)$$

son mayores que 0 para todos los valores de n elegidos y para todos los valores enteros de F_O en el intervalo (0,1), con lo cual:

Caso (1), caso (b): $m_1 = 28 \text{ kg}$ y $m_2 < 28 \text{ kg}$

Caso (2), caso (b): $m_2 = 28 \text{ kg}$ y $m_1 < 28 \text{ kg}$

y el máximo de F_{ef} se obtiene con la segunda opción.

Con esto se produce una reducción de alternativas, pasando de las 36 iniciales a las 9 definitivas, que vienen relacionadas en la Tabla 18 y a las que hemos llamado combinaciones mecánicas.

Tabla 18. Combinaciones mecánicas.

Combinación	D_m (mm)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	n	F_O	m_1 (kg)	m_2 (kg)
C1	306	359	331	24.64	0	28	24.4
C2	306	354	331	29.78	0	28	24.4
C3	306	350	331	35.84	0	28	24.4
C4	306	359	331	24.64	0.3	17.3	28
C5	306	354	331	29.78	0.3	17.3	28
C6	306	350	331	35.84	0.3	17.3	28
C7	306	359	331	24.64	0.6	8	28
C8	306	354	331	29.78	0.6	8	28
C9	306	350	331	35.84	0.6	8	28

5) De las combinaciones admisibles se calcula F_{ef} y f , para lo cual sólo necesitamos conocer el valor de ω_m .

En la Figura 28 se muestran las “estrellas de vibración” teóricas obtenidas con $n=24.64$ y $F_O = 0, 0.3$ y 0.6 .

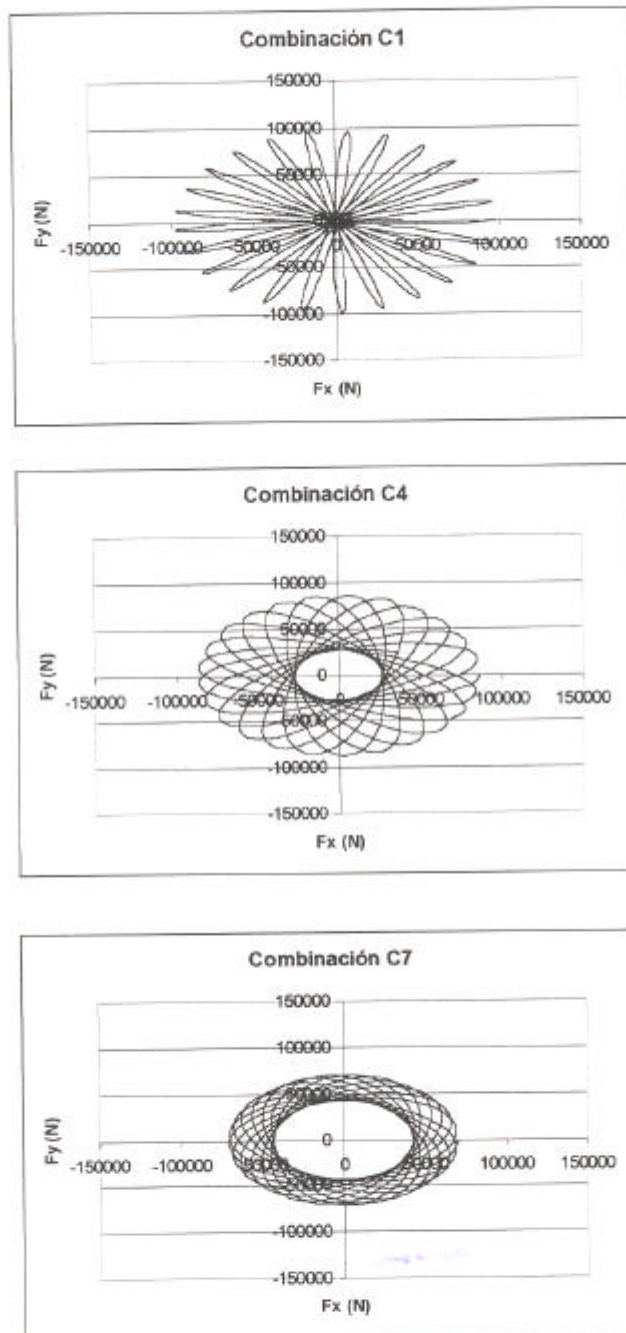


Figura 28. Estrellas de vibración teóricas para $n=24,64$ y $F_0 = 0, 0,3$ y $0,6$.

4.2.2.2. Establecimiento de las variables del ensayo.

Se han tenido en cuenta las siguientes variables para definir los ensayos con las combinaciones mecánicas:

- En el conjunto Tractor-Vibrador:
 - Combinación mecánica (C).

- En el Árbol:
 - Demanda de potencia.
 - Fuerza de retención del fruto (FR).
 - Estructura.

- En el conjunto Vibrador-Árbol:
 - Sistema de agarre (almohadillas).

- Como resultado de la vibración del árbol:
 - Porcentaje de derribo de frutos (PD).

La demanda de potencia se determina directamente a través de la tdf del tractor (Ntdf) o, de forma equivalente, como la potencia suministrada por el motor hidráulico (Nm). Depende de la potencia necesaria para accionar las masas excéntricas (combinación mecánica), del diseño y componentes del circuito hidráulico, y de la resistencia que opone el árbol al movimiento. La estructura del árbol así como la conexión vibrador-árbol mediante el sistema de agarre, permiten obtener la transmisión de vibración entre la cabeza vibradora y el tronco del árbol, y entre éste y el fruto.

Puesto que todo sistema de recolección de frutos pretende como objetivo final maximizar el PD éste se convierte en la variable dependiente del estudio.

Los ensayos utilizando este parámetro tienen la ventaja principal de que permiten conocer la respuesta real del árbol ante la vibración aplicada. Pero el planteamiento correcto exige considerar el resto de variables lo más homogéneas posibles para poder comparar entre diversas alternativas, como en este caso son las combinaciones mecánicas. En este sentido, las características de los árboles, que determinan las demandas de potencia y la facilidad para transmitir la vibración, y el diseño mecánico-hidráulico del vibrador, que permite generar la potencia y la vibración, son fundamentales.

Por tanto, si realizamos los ensayos sobre una plantación con árboles de similares características (variedad, estructura y dimensiones) y con un mismo vibrador, en el que sólo modificamos las masas excéntricas y diámetros de las poleas (combinaciones mecánicas), considerando además que la vibración se realiza siempre a las mismas revoluciones del motor del tractor y altura de agarre sobre el árbol, cabe esperar que el PD defina claramente la mejor opción para el derribo

No obstante, debido a que el olivo es un árbol muy heterogéneo hay que tener en cuenta que aún en árboles similares pueden presentarse diferencias inevitables, por lo que el resto de variables (Ntdf o Nm) permiten valorar la combinación desde el punto de vista energético, ya que, el objetivo planteado sería obtener el mayor PD con el menor consumo de potencia y controlar diferencias debidas a la citada heterogeneidad.

4.2.3. Desarrollo de los ensayos.

Tuvieron lugar en dos fases:

- En la primera, se ensayaron las 9 combinaciones mecánicas y se obtuvieron los resultados de los parámetros medidos, lo cual nos permitió seleccionar las combinaciones que mejor comportamiento presentaron.
- En la segunda, se ensayaron las combinaciones mecánicas elegidas en el paso anterior para, de ellas, seleccionar la más idónea según el objetivo del ensayo.

En ambos casos, los parámetros medidos en el ensayo fueron:

- Circuito hidráulico: todos.
- Aceleraciones longitudinal y transversal en cabeza vibradora y árbol.
- Fuerza de Retención del fruto.
- Porcentaje de Derribo

Para medir la Fuerza de Retención se utilizó un dinamómetro con indicador analógico y rango hasta 2000 cN (Figura 29). El Porcentaje de Derribo se obtuvo relacionando la diferencia entre el peso de la aceituna derribada por el vibrador y el peso de la que queda en el árbol sin derribar, con el peso total de aceituna del árbol. Para lo cual se emplearon fardos para recoger la aceituna y una balanza "romana" para el pesado.

La primera fase se realizó en Febrero de 2000 en la Finca "Cerro de las Puertas" (Lucena, Córdoba) y sobre un olivar tradicional de características:

Variedad: Hojiblanca

Marco de plantación: triangular, 12 m (entre filas) x 12 m (entre árboles)

Nº de pies por árbol: 3 ó 4

Su realización práctica es como sigue:

- 1) Para cada combinación se eligen 6 pies correspondientes a dos árboles diferentes (a_1 y a_2).
- 2) Para cada pie se mide la Fuerza de Retención de la aceituna antes de vibrar.
- 3) Para cada pie se realiza una vibración a 2000 rpm del motor del tractor y durante 15 segundos. Se adquieren las señales de los sensores situados en el circuito hidráulico y los acelerómetros en cabeza vibradora y árbol. El agarre se hace a una altura entre 70 y 80 cm y en dirección radial al centro de la base del árbol.
- 4) Para cada árbol se pesa la aceituna derribada.

5) Para cada pie se mide la Fuerza de Retención de la aceituna que ha quedado después de vibrar y se anota su posición.

6) Para cada pie se derriba la aceituna que ha quedado, con varas o con una segunda vibración, dependiendo de la cantidad.

7) Para cada árbol se pesa la aceituna derribadas y con (4) se obtiene el Porcentaje de Derribo.

La maquinaria utilizada fue:

Unidad motriz: Tractor doble tracción Ebro 8110/4 DT

Cabeza vibradora: M-203 (sus dimensiones permiten acoplar las 9 combinaciones mecánicas de ensayo)

La segunda fase se realizó en Febrero de 2001 en la Finca "Vicios" (Moriles, Córdoba) y sobre un olivar tradicional de características (Figura 30):

Variedad: Hojiblanca

Marco de plantación: cuadrado, 12x12 m²

Nº de pies por árbol: 3 ó 4

En este caso, la realización práctica del ensayo es la misma, pero el Porcentaje de Derribo se calcula independientemente para cada pie vibrado.

Además de utilizar la cabeza vibradora anterior, también se ensayaron una cabeza vibradora orbital y el modelo con vibración multidireccional que actualmente comercializa el fabricante (Figuras 31 y 32).



Figura 29. Obtención de la fuerza de retención del fruto.



Figura 30. Finca de ensayo.



Figura 31. Masa excéntrica y polea utilizada en los ensayos.



Figura 32. Pinzas utilizadas en los ensayos. Segunda fase.

4.3. ENSAYO DE UN PROTOTIPO.

4.3.1. Objetivo.

Caracterizar el funcionamiento de un prototipo de vibrador de troncos desarrollado por el fabricante que ha colaborado en este trabajo.

4.3.2. Descripción del prototipo.

La construcción del prototipo se realiza en dos fases, una primera de prospección y una segunda con vistas a su fabricación.

4.3.2.1. Primera fase.

Las características principales de este prototipo son:

- Sistema accionado y propulsado mediante unidad tractora.
- Depósito de aceite situado en la parte trasera de la unidad tractora, de idénticas características a otros modelos de la casa y con dos bombas hidráulicas para alimentación de los circuitos de vibración y movimientos de la pinza.
- Sistema de posicionamiento que permite los movimientos de la cabeza vibradora a través de su accionamiento con cilindros hidráulicos, de forma idéntica a otros modelos de la casa.
- Cabeza vibradora con dos masas excéntricas de 37 kg cada una, accionadas de forma independiente por dos motores hidráulicos situados cada uno sobre su masa correspondiente y a ambos lados de la pinza de agarre.
- Sistema de apriete de la pinza formado por dos cilindros hidráulicos de doble efecto, el principal que actúa cerrando la pinza y uno secundario que ayuda al anterior empujando longitudinalmente sobre la parte móvil de la pinza para evitar que tienda a abrirse por la resistencia del árbol durante la vibración.

El diseño del circuito hidráulico posibilita dos opciones de trabajo:

1) Acoplamiento independiente bomba-motor:

Cada bomba manda aceite a un motor diferente, formando así dos circuitos de generación de vibración de accionamiento independiente, lo que nos permite variar el funcionamiento del vibrador de tres formas:

- Accionamiento de un solo motor (genera un movimiento orbital).
- Accionamiento de los dos motores con el mismo sentido de giro.
- Accionamiento de los dos motores con sentido de giro contrario.

El cambio de sentido de giro sólo se permite en el motor 2, simplemente cambiando las tuberías para modificar el sentido de entrada del caudal de aceite. Además, en éste también se pueden variar el caudal y la presión de entrada, actuando sobre un regulador de caudal que se conecta a la tubería que, proveniente del distribuidor de movimientos (acoplamiento independiente) o del motor 1 (acoplamiento serie), se dirige al motor 2. El regulador, de marca ROQUET, es de dos vías y está diseñado para una presión máxima de trabajo de 250 bar y un caudal nominal de 85 l/min e incorpora un selector, sobre una escala graduada con diez posiciones para indicar la gama de regulación (de 0 a 2, 4, 8, 14, 23, 31, 46, 55, 72, 85 l/min).

2) Acoplamiento de motores en serie:

Al actuar sobre el mando del distribuidor de vibración (situado junto al depósito), la bomba 1 manda aceite al motor 1 y la salida de éste se conecta, a través del regulador de caudal, al motor 2 con lo que conseguimos un solo circuito de generación de vibración y dos formas de funcionamiento:

- Accionamiento de los dos motores con el mismo sentido de giro.
- Accionamiento de los dos motores con sentido de giro contrario.

que se obtienen como en el primer caso.

Por tanto, la novedad que introduce el prototipo es que permite generar el tipo de vibración que interese (orbital o multidireccional) simplemente conectando los motores en serie o paralelo, modificando el sentido de la entrada del caudal en el segundo motor o regulando el mismo con un regulador de caudal intercalado en el mismo.

4.3.2.2. Segunda fase.

Como consecuencia de los resultados obtenidos en la primera fase, se decide modificar el prototipo, convirtiéndolo en un modelo comercializable (Figura 33). Sus características principales son similares a las del prototipo de la primera fase, con dos excepciones importantes.

- Cabeza vibradora con una masa excéntrica situada en el brazo fijo de la pinza, accionada por un motor hidráulico ubicado en la cabeza (transmisión por correa).
- Sistema de apriete de la pinza formado por un solo cilindro hidráulico de doble efecto.

Vemos que en el prototipo de la segunda fase se ha optado por una vibración orbital y se ha continuado posicionando el sistema generador de la vibración (masa excéntrica) lo más próximo al punto de agarre al árbol. Esta cabeza vibradora se denomina M201C

4.3.3. Diseño experimental.

También distinguimos dos fases puesto que el diseño de los ensayos depende del prototipo utilizado.



Figura 33. Segunda fase del Prototipo.

4.3.3.1. Primera fase.

En función de las características del prototipo y del objetivo perseguido, definimos las variables de ensayo:

- Acoplamiento del circuito hidráulico:

Acoplamiento de motores en SERIE.

Acoplamiento INDEPENDIENTE motor-bomba.

- Sentido de giro de los motores hidráulicos:

Ambos motores girando en sentido CONTRARIO.

Ambos motores girando en el MISMO sentido.

- Gama de regulación del regulador de caudal.

- RPM del motor de la unidad tractora.

En este caso, todas hacen referencia al circuito hidráulico y permiten validar la idoneidad del mismo en la generación de diferentes movimientos.

4.3.3.2. Segunda fase

Una vez desarrollado el prototipo, se plantea la necesidad de comparar su funcionamiento con otros modelos de características similares y que actualmente comercializa el fabricante.

Para ello, utilizamos como parámetro el porcentaje de derribo de frutos (PD) y establecemos como variables que definen el ensayo las mismas empleadas en los ensayos de modificación de las características vibratorias (apartado 4.4.2.2.), pero en este caso en el conjunto tractor-vibrador se considera como variable la cabeza vibradora.

El modelo elegido para la prueba comparativa es la cabeza vibradora M202, diseñada con vibración multidireccional y cuyo uso se aconseja en olivos de tamaño medio (diámetro de tronco: 15-40 cm). Vemos que ambas cabezas dan servicio al mismo tipo de olivos, con lo cual, si una se demuestra inferior a la otra puede considerarse que su retirada del mercado esté justificada.

4.3.4. Desarrollo del ensayo.

4.3.4.1. Primera fase.

Se realizaron en la propia fábrica, lo cual permite la intervención inmediata para subsanar cualquier incidencia mecánica o hidráulica, y en presencia del fabricante. Esto supuso una ventaja considerable en el proceso puesto que, por un lado, nos beneficiamos

de su experiencia y conocimiento del funcionamiento del prototipo y, por otro, nos sirvió para introducirlo en la metodología empleada para la evaluación de vibradores.

Se utilizó el "poste móvil" construido especialmente para ensayos en fábrica y cuya descripción figura en el apartado 4.1.3.2. La unión del tubo de acero a la base tuvo que ser reparada durante los ensayos pues se fracturó debido a la vibración. Para evitar nuevas roturas se modificó la unión, incorporando dos nuevas bridas y 24 "silentblock" distribuidos en tres bandas, de tal forma que cada brida apoya en una banda y la última se sitúa sobre la base del tubo la cual está soldada a la brida superior y se ha reforzado con más cartelas.

Los parámetros medidos difieren de los habituales empleados en este tipo de ensayos y que hemos visto en los precedentes, respondiendo a las particularidades de la máquina a ensayar. En concreto se van a medir:

- circuito hidráulico:

- caudales: caudal a la salida del motor hidráulico 1 (Q_{m1})
caudal a la salida del motor hidráulico 2 (Q_{m2})
- presiones: presión a la entrada del motor hidráulico 1 (P_{m1})
presión a la salida del motor hidráulico 1 (P_{ret1})
presión a la entrada del motor hidráulico 2 (P_{m2})
presión de apriete de la pinza (P_{ap})
- revoluciones: revoluciones de la polea accionada por el motor hidráulico 1
(RPM mh1)

- vibración:

- cabeza vibradora: aceleración longitudinal cabeza vibradora (X_p)
aceleración transversal cabeza vibradora (Y_p)
- poste: aceleración longitudinal poste (X_a)
aceleración transversal poste (Y_a)

Las medidas se efectuaron con los sensores referenciados en la Tabla 19 para los que hubo que fabricar las piezas de unión necesarias para acoplarlos en el circuito

hidráulico de forma similar a como ya se había hecho anteriormente, excepto para el medidor de revoluciones del motor hidráulico, ya que éste presentaba dificultad de acceso y hubo que colocar el sensor en la parte de abajo de la pinza, enfocando al eje del motor y metido en un tubo de acero para protegerlo.

Tabla 19. Sensores utilizados en el ensayo del prototipo.

Medida	Sensor	
	Marca	Modelo/n° serie
Q_{m1}	PARKER	SCFT-600-01-02
Q_{m2}	PARKER	SCFT-300-01-02
P_{m1}	SENSOTEC	060-8144-02/574041
P_{ret1}	SENSOTEC	060-8144-01/580915
P_{m2}	SENSOTEC	060-8144-02/574039
P_{ap}	SENSOTEC	060-8144-01/580916
RPM_{mh1}	ONO SOKKI	LG-916
X_p	DJB	A/120/V/17127
Y_p	DJB	A/120/V/1718
X_a	DJB	A/120/V/1544
Y_a	DJB	A/120/V/1584

El Sistema de Acondicionamiento corresponde a la Variante 1 descrita en el apartado 3.2.2.1., pero en este caso no pudo embarcarse debido a que el tractor utilizado no disponía de espacio suficiente y, por ello, se ubicó junto al Sistema de Almacenamiento, que corresponde a la Variante 2 descrita en el apartado 3.2.3.1.2., en una mesa situada cerca del tractor. De esta forma, separamos los Sistemas de Captura (en el tractor-vibrador) y Acondicionamiento-Almacenamiento (fuera del tractor), lo cual tiene lógica cuando se trata de ensayar máquinas en fábrica, pero sería imposible para ensayos en condiciones reales de campo.

El prototipo se instaló sobre un tractor FIAT de 104 CV homologados a la tdf. Para el ensayo se seleccionaron dos velocidades del motor, en las cuales el fabricante había probado previamente el prototipo y consideraba idóneas, 2000 rpm y 2300 rpm, siendo ésta última donde aproximadamente se consiguen 1000 rpm de la tdf.

Asimismo, se eligieron en el regulador de caudal cuatro gamas de regulación correspondientes a las posiciones 0, 1.5, 3 y 5, aunque a veces también se probaron otras.

Sólo se consideró una altura de agarre del poste, 80 cm.

Previamente a los ensayos, se procedió al taraje de la válvula reguladora de presión del distribuidor principal de vibración situándolo en 200 kg/cm².

La realización práctica del ensayo corresponde a la habitual en este tipo de ensayos (“ensayo normalizado”, descrito en 4.1.2.).

La visualización posterior en cada ensayo y el análisis de los datos se hace con un programa de TESTPOINT similar a Hidráulico.tst (apartado 3.2.4.1.1.) en el que simplemente se introducen los valores que definen a los sensores utilizados y se suprimen aquellos que no intervienen en el ensayo.

4.3.4.2. Segunda fase

El desarrollo del ensayo y su realización práctica es similar a los “Ensayos de modificación de las características vibratorias” (apartado 4.4.3.).

En este caso, para cada cabeza se han vibrado nueve pies correspondientes a tres árboles, calculando el Porcentaje de Derribo independientemente para cada pie.

Los ensayos se realizaron en Noviembre de 2001 en la “Finca Torribejos” (Monturque, Córdoba), sobre un olivar tradicional de características:

Variedad: Hojiblanca

Marco de plantación: rectangular, 12x12 m²

Nº de pies por árbol: 3

La maquinaria utilizada fue:

Unidad motriz: tractor doble tracción EBRO 8110/4 DT

Cabeza vibradora: M202 y M201-C

Destacar que estos ensayos se hicieron con aceituna de “verdeo”, para conseguir grandes fuerzas de retención y probar la máquina en condiciones más adversas de lo habitual.

4.4. ENSAYOS EN CONDICIONES REALES DE TRABAJO EN CAMPO.

4.4.1. Objetivo.

Obtener los valores medios y máximos de los principales parámetros que caracterizan el conjunto tractor-vibrador para determinar su comportamiento en condiciones reales de trabajo en campo así como los tiempos de operación y rendimientos de trabajo.

4.4.2. Diseño experimental

Los requerimientos energéticos y de tiempos de la operación de vibrado van a depender de los siguientes factores:

- Características de la plantación: variedad, marco, nº de pies por árbol, tipo de árboles, productividad .
- Época del año en la que se realiza la recolección (influye en la maduración del fruto).
- Características del terreno: pendiente y características mecánicas del suelo (influye en la transitabilidad de los equipos).
- Método de recolección: número de operarios de la cuadrilla y formación o experiencia específica en recolección de aceituna y organización del trabajo (movimientos del vibrador y de las mallas).

- Características de la maquinaria utilizada: tractor y vibrador

En función de ellos la recolección "ideal" con vibradores de troncos respondería a:

Características plantación:

- Variedad con frutos que se desprenden fácilmente.
- Marco que permite maniobrar al tractor-vibrador.
- Árboles de 1 pie.
- Árboles con forma adecuada para transmitir la vibración.

Época del año:

- Óptimo de maduración del fruto.

Características del terreno:

- Llano.
- Transitado en condiciones adversas.

Método de recolección:

- Cuadrilla de 8 a 10 operarios con experiencia en recolección del olivo.
- Organización del trabajo que permite evitar pérdidas de tiempo innecesarias.
Es fundamental que el vibrador esté parado el mínimo tiempo posible.

Características de la maquinaria:

- Vibrador adecuado al tipo de plantación.
- Tractor adecuado al vibrador.

4.4.3. Desarrollo del ensayo

Se utilizaron cinco fincas distribuidas en el Sur de la provincia de Córdoba en las que se efectúa la recolección mediante contrato con una empresa de servicios, Oficampo y Agroservicios, S.L., que es colaboradora de este trabajo. Esto permite dar el realismo y fiabilidad necesarios a este tipo de ensayo, pues todos los operarios están especializados en las operaciones de recolección mecanizada del olivar. El nombre, localización y características de las fincas se relacionan a continuación:

- Finca "Cerro de las Puertas" (Lucena, Córdoba):

Variedad: Hojiblanca

Marco de plantación: triangular, 12 m (entre filas) x 12 m (entre árboles)

Nº de pies por árbol: 3 ó 4

- Finca "El Corneta" (Moriles, Córdoba):

Variedad: Picual

Marco de plantación: Original: rectangular (o cuadrado), 12x12 m²

Modificación: se han intercalado árboles nuevos en medio de los anteriores. Marco resultante: rectangular 6x6 m²

Nº de pies por árbol: Original: 3

Modificación: árboles nuevos, 1 pie

- Finca "Benamejí" (Benamejí, Córdoba):

Variedad: Original: Hojiblanca

Modificación: Verdial Real

Marco de plantación: Original: triangular, 17 m (entre filas) x 17 m (entre árboles)
Modificación: se han intercalado árboles nuevos en medio de los anteriores. Marco resultante, rectangular 8.5x8.5 m²

Nº de pies por árbol: Original: 3 ó 4
Modificación: árboles nuevos, 1 pie

- Finca "El Colegio" (Cabra, Córdoba):

Variedad: Hojiblanca
Marco de plantación: triangular, 12 m (entre filas) x 12 m (entre árboles)
Nº de pies por árbol: 3 ó 4

- Finca "Castro" (Castro del Río, Córdoba):

Variedad: Picudo
Marco de plantación: rectangular, 10x10 m²
Nº de pies por árbol: 2

El método de recolección seguido consiste en derribar las aceitunas con vibradores multidireccionales de tronco y completar el trabajo con una cuadrilla de 8 a 10 operarios, generalmente:

- 4 personas que realizan el movimiento de mallas y la recogida de la aceituna (se utilizan 10 mallas por vibrador).
- De 2 a 3 personas para el vareo complementario.
- 1 tractorista que lleva el vibrador y es ayudado en las maniobras de agarre y suelta del pie por uno de los anteriores.
- 1 tractorista que lleva una pala frontal y va cargando la aceituna de las mallas.

Éstas, previamente, han sido retiradas de los pies y recogidas para agrupar la aceituna, para luego ser volcadas en el cazo de la pala que las transportará hasta un remolque, situado en la base del tajo, donde se almacenan hasta completarlo.

Como alternativa, se pueden vaciar las mallas en unas lonas rectangulares que tienen unas argollas en sus extremos por las que son enganchadas con un mosquetón al extremo de una pluma, situada en la parte trasera del tractor, para llevarlas al remolque.

Además puede haber un hombre complementario para ayudar en las labores en las que se requiera.

La cuadrilla tiene un encargado que dirige y organiza el trabajo y que a veces es el propio tractorista que maneja el vibrador.

Una vez lleno el remolque, el tractor-pala o tractor-pluma lo transporta hasta la casa de labor o directamente a la almazara.

Como vemos, la realización práctica del ensayo corre a cargo de la cuadrilla, concretándose nuestro trabajo en:

- Seleccionar la zona de la finca a ensayar (salvo excepciones, motivadas por la no idoneidad del emplazamiento, se continuó con el tajo del día anterior).
- Controlar todo el equipo de medida, para lo cual se emplean dos personas:
 - Una en la furgoneta laboratorio (situada en la cabecera de la zona de ensayo) verificando la correcta recepción de los datos en el ordenador y anotando los tiempos de inicio y fin del vibrado de cada pie y las posibles incidencias.
 - La otra junto al vibrador, vigilando que los sensores y cables no sufran daño alguno.

La comunicación entre ambas, en caso que sea necesario, se efectúa a través de teléfono móvil.

- Realizar un plano de la zona de ensayo y anotar los movimientos que realiza el vibrador para dirigirse al pie a vibrar, el orden en que se vibran los pies de la zona y las incidencias. Este trabajo lo efectúa la persona que sigue el ensayo junto al vibrador, que además cronometra tiempos para después compararlos con los registrados en el ordenador
- Dar las órdenes de inicio y fin de ensayo, y parada y reanudación por incidencias.

El vibrador utilizado incorpora la cabeza vibradora M-202 y va montado en el tractor Ebro 8110 / 4 DT.

5. MAQUINARIA UTILIZADA EN LOS ENSAYOS.

Las características técnicas del vibrador empleado se han descrito en los apartados 2.1. y 2.2. Se han utilizado principalmente dos modelos:

- Modelo M203. Recomendado para árboles con troncos de diámetros comprendidos entre 0.25 y 0.60 m. Vibración multidireccional.
- Modelo M202. Recomendado para árboles con troncos de diámetros comprendidos entre 0.15 y 0.40 m. Vibración multidireccional.

Además de un modelo orbital de idénticas características al M202 y un prototipo también con vibración orbital.

Como ya se ha mencionado en la descripción de los ensayos, el tractor empleado es el EBRO 8110 / 4 DT. Sus características técnicas son:

- Características del motor:

Tipo:	Diesel, 4 tiempos, inyección directa.
Cilindrada:	6 cilindros, 6100 cm ³ .
Relación de compresión:	16
Potencia:	76 KW. homologados a la t.d.f.
Rev. t.d.f.:	540/1000 r.p.m. con motor a 1915 / 2194 r.p.m.
Régimen de par máximo:	1200 rev / min.

- Transmisión:

Caja de cambios con cuatro marchas y tres gamas para el avance y una para el retroceso.

- Peso:

Peso lastrado:	57.820 kN
Peso sin lastre:	50.117 kN
Peso con dinamómetro:	59.682 kN.

- Dimensiones:

Distancia entre ejes:	2.588 m.
Anchura máxima:	2.056 m.

- Sistema de rodadura.

Ruedas delanteras:	Llanta de acero 8 × 28" y neumáticos 13.4R × 28"
Ruedas traseras:	Llanta de acero 14 × 38" y neumáticos 18.4R × 38"
Presión de inflado(bar):	Delantera (1.4) / Trasera (1.1)
Tracción:	Simple y Doble tracción.
Diametro efectivo:	Rueda delantera: 1.26 m. Rueda trasera: 1.66 m.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. OBTENCIÓN DE RESULTADOS.

Se presentan los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados ordenándolos tal y como lo hicimos en el apartado de Materiales y Métodos, lo que permite identificar en todo momento el ensayo, sus objetivos, metodología y resultados de forma independiente para cada uno.

Para los denominados “ensayos en poste y árbol” determinamos los siguientes resultados:

- a) Evolución temporal. En ellos se refleja la variación en el tiempo de ensayo de los parámetros que caracterizan el circuito mecánico-hidráulico de generación de vibración.

Como todos los ensayos, se desarrollan según las pautas del “ensayo normalizado” que fueron explicados en el punto 4.1.2. En la señal correspondiente a cada parámetro medido se distinguen perfectamente los regímenes transitorios de arranque y parada y el régimen permanente.

- b) Valores de los parámetros. Durante el régimen permanente de la vibración, para cada parámetro se obtiene su valor medio y para las aceleraciones el valor eficaz . En algunos caso también se obtienen los valores máximos en todo el período de vibración.

La evolución temporal y sus valores correspondientes se consiguen con los programas informáticos realizados con TESTPOINT que fueron descritos en el punto 3.2.4.1.

- c) Análisis de resultados: Dentro de este distinguimos:

- c.1 Cálculos. Se hacen dos tipos fundamentales de cálculos:

- 1) Balance de potencias. A partir de los valores medios de los parámetros que intervienen en la determinación de las potencias, se calculan éstas en el circuito hidráulico y se establecen los rendimientos.
- 2) Comportamiento del sistema pinza-árbol. Calculamos:
 - Eficacia de la transmisión de la vibración. Con los valores eficaces de las aceleraciones.
 - Frecuencia fundamental de la vibración. Mediante el algoritmo FFT obtenemos el espectro de frecuencias de las aceleraciones, y como valor presentamos la frecuencia que corresponde al pico máximo.
 - Movimiento generado por la vibración. La composición de las aceleraciones según direcciones perpendiculares determina gráficos de “estrellas de vibración”.

c.2 Análisis estadístico. Dirigido a determinar:

- 1) Relaciones entre parámetros. Se estudian posibles relaciones cuantitativas que puedan existir entre los valores medios o eficaces de los distintos parámetros medidos.
- 2) Analizar alternativas. Se determina la influencia de las variables que el ensayo tiene sobre el parámetro estudiado en cada caso. Metodológicamente se basa en el uso de los contrastes propuestos por la estadística paramétrica y no paramétrica.

Para los “ensayos en condiciones de campo” se ha organizado la obtención de resultados de forma similar a la vista anteriormente, aunque hay que señalar algunos cambios:

- a) Evolución temporal. No arrojan tanta información como en el caso anterior, puesto que la frecuencia de muestreo de la señal es mucho menor (1 dato/s), pero nos facilita la comprensión de la operación real de vibrado en campo.

b) Valores de los parámetros. En este caso, para cada parámetro se obtienen el valor medio del régimen permanente, y el valor máximo de todo el período de vibración.

c) Análisis de resultados. Dentro de este distinguimos:

c.1) Cálculos. Se hacen dos tipos fundamentales de cálculos:

1. Balance de potencias y rendimiento en el circuito.
2. Tiempos y consumo. Se establecen tiempos de operación y consumos de combustible asociados a ellos, a partir de los cuales se calculan rendimientos de la operación y consumos horarios.

2. ENSAYOS DEL CIRCUITO MECÁNICO-HIDRÁULICO DE GENERACIÓN DE VIBRACIÓN

2.1 RESULTADOS

2.1.1 Parámetros de estudio en el circuito. Obtención del balance de potencias.

2.1.1.1 Evolución temporal.

Comenzamos comentando los resultados de evolución temporal en un ensayo que tomamos como ejemplo. En este caso corresponde al bloque HALCON 7, realizado sobre poste móvil, y concretamente a la prueba efectuada a 1600 rpm del motor del tractor, y con altura de agarre de 0.8 m.

- Par y velocidad angular de la toma de fuerza.

En la Figura 34 se muestran conjuntamente ambos parámetros. Se aprecian claramente las fases descritas en el ensayo normalizado:

- Estado de reposo (3 segundos)
- Periodo de vibración (15 segundos)
- Parada de la vibración (4 segundos)

Esta distinción de fases va a repetirse en todas las señales de los sensores, y para todos los ensayos.

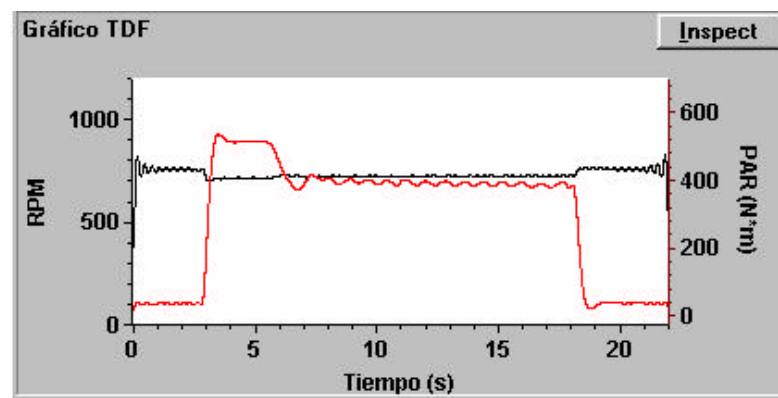


Figura 34. Par y velocidad angular de la tdf.

La velocidad angular de la tdf parte del valor que corresponde en función de las revoluciones del motor del tractor, descendiendo levemente una vez iniciada la vibración, debido a que la tdf empieza a accionar la bomba hidráulica, manteniéndose en este valor hasta la parada, momento en el cual vuelve al valor del inicio.

La señal del par sufre el efecto contrario, aumentando o disminuyendo bruscamente con el inicio de la vibración o la parada, respectivamente. Los valores de partida (reposo) y de parada corresponden al par que el acoplamiento cardánico tdf-bomba hidráulica provoca sobre el sensor. Fundamentalmente hay que destacar el pico de par que se produce en el transitorio de arranque, y la posterior estabilización de los valores durante el régimen permanente. Esta consideración es importante a la hora del diseño, pues va a determinar puntas en la demanda de potencia que el sistema debe proporcionar.

- Presión y caudal de la bomba hidráulica.

La Figura 35 presenta la presión a la salida de la bomba (P_{sb}), el caudal a la salida de la bomba (Q_{sb}) y el caudal después del distribuidor del circuito de generación de vibración (Q_{sbd}).

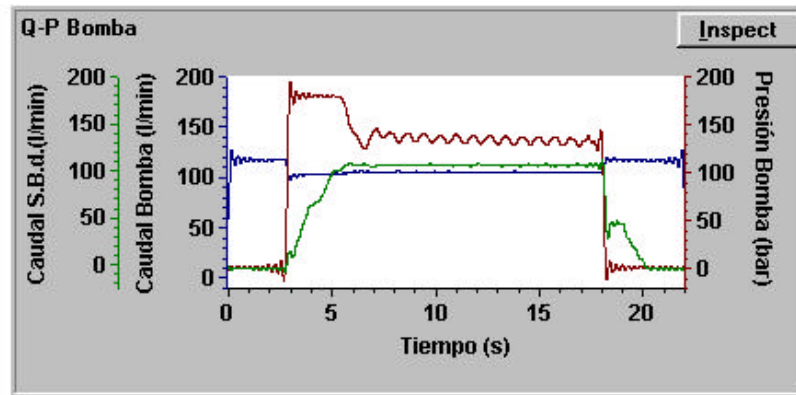


Figura 35. Presión a la salida de la bomba, caudal a la salida de la bomba y caudal después del distribuidor de vibración (caudal S.B.d.).

El sensor de caudal a la salida de la bomba está ubicado justo a la salida del depósito y antes del distribuidor, por lo que en todo momento está registrando señal, de ahí que en los estados de reposo y parada haya lectura de caudal, que corresponde con el que es capaz de producir la bomba hidráulica a las revoluciones de la tdf. Cuando se inicia la vibración hay un descenso de las revoluciones de la tdf, y por tanto, del caudal de salida de la bomba. Debido a que el aceite retorna libremente al depósito cuando no hay vibración, el caudal después del distribuidor es nulo durante el reposo, iniciando su ascenso de forma paulatina, una vez accionada la palanca de puesta en marcha de la vibración, hasta llegar a estabilizarse en el régimen permanente. El valor de este caudal depende en todo momento de la presión de tarado de la válvula limitadora de presión (válvula de seguridad) que se sitúa en el distribuidor.

La presión a la salida de la bomba parte de un valor nulo, pues aunque en el reposo existe caudal este no ejerce presión al retornar directamente a tanque. Comienza con una

punta (transitorio de arranque), que se mantiene durante unos instantes, y luego decrece hasta los niveles del régimen permanente, para finalizar bruscamente en presión nula cuando se detiene.

Vemos, por tanto, que las señales de Q_{sb} y P_{sb} son inversas, produciéndose las fases del ensayo exactamente en los mismos momentos.

- Presión y caudal del motor hidráulico

La Figura 36 muestra la presión a la entrada del motor (P_m), presión a la salida del motor (P_{ret}) y caudal del motor (Q_m).

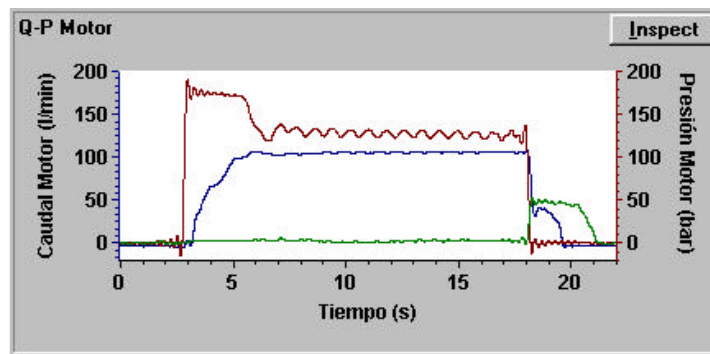


Figura 36. Presión a la entrada del motor (Presión Motor), presión a la salida del motor (trazo verde), caudal del motor (Caudal Motor).

Los comentarios sobre P_m y Q_m son idénticos a los realizados para P_{sb} y Q_{sb} , respectivamente. Notar que en ambos casos las señales son similares, distinguiéndose simplemente por los valores del parámetro considerado, que son menores para el motor

La presión en la salida del motor registra valores nulos durante todo el período de vibración, debido a que el aceite que sale del motor retorna libremente al depósito.

Cuando se deja de vibrar, para que la máquina deje de moverse lo antes posible, se utiliza una válvula que regula la frenada, por lo que la presión a la salida del motor

aumenta hasta un valor máximo que representa el taraje de la válvula, y en el cual permanece hasta que el movimiento cesa, descendiendo posteriormente hasta anularse.

En los gráficos de P_m , Q_m y P_{ret} , se determina la relación entre estos parámetros, pues durante los períodos de parada, el descenso en los dos primeros coincide exactamente con el ascenso del tercero.

- Velocidad angular de la polea accionada por el motor hidráulico.

Tanto el ascenso al iniciarse la vibración como el descenso al terminar se hacen de forma progresiva, lo cual refleja el tiempo que se tarda en alcanzar la velocidad de régimen de la polea que acciona las masas excéntricas, y el empleado en detener el movimiento de las mismas (Figura 37).

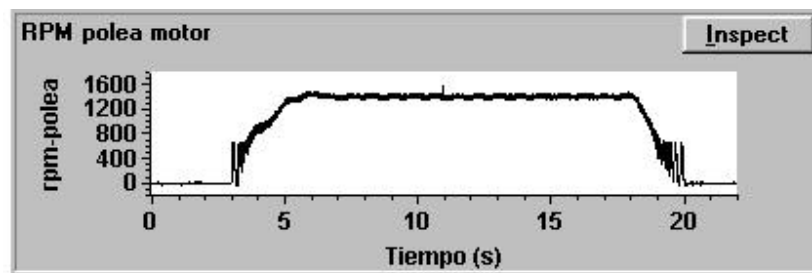


Figura 37. Velocidad angular de la polea accionada por el motor hidráulico.

El primero coincide con el necesario para que Q_m alcance el régimen permanente, lo cual es lógico, pues este caudal es el que pone en marcha el motor hidráulico sobre el que se sitúa la polea.

El tiempo de detención del movimiento está relacionado con la válvula de frenada en su valor máximo.

- Presión en el cilindro hidráulico de apriete de la pinza

La señal que proporciona el sensor que mide la presión de apriete del cilindro de la pinza (Pap) es muy indicativa de la vibración que se está generando (Figura 38).

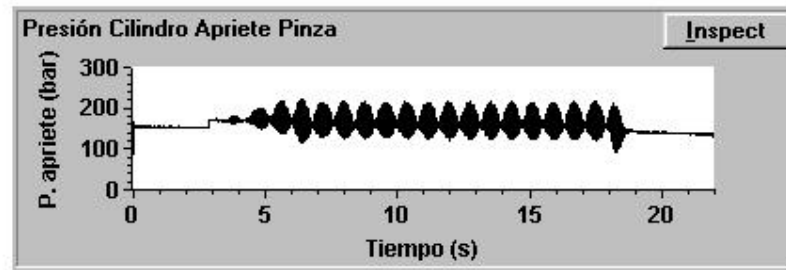


Figura 38. Presión de apriete del cilindro hidráulico de la pinza.

El ensayo comienza con la pinza agarrando al árbol o poste, por lo que Pap parte de un valor inicial. Cuando se inicia la vibración aumenta la presión. A continuación se registran fuertes oscilaciones que en su conjunto dan lugar a una señal de tipo amplitud modulada, en la que destacamos los importantes picos de presión que cíclicamente se repiten, y en la que se distingue una parte central de igual amplitud que corresponde al régimen permanente.

Al dejar de vibrar, la presión se sitúa en un valor que va decreciendo hasta el valor del ensayo. Ese valor es el de la presión de tarado de la válvula reguladora de presión del cilindro de apriete de la pinza.

En la Figura 39, se presentan los gráficos correspondientes a un ensayo del mismo bloque HALCON 7, realizado a 2200 rpm y altura de agarre 0.8 m. Notar que las diferencias con el anteriormente comentado se centran en la no existencia de puntas en P_{sb}, P_m y M_{tdf}.

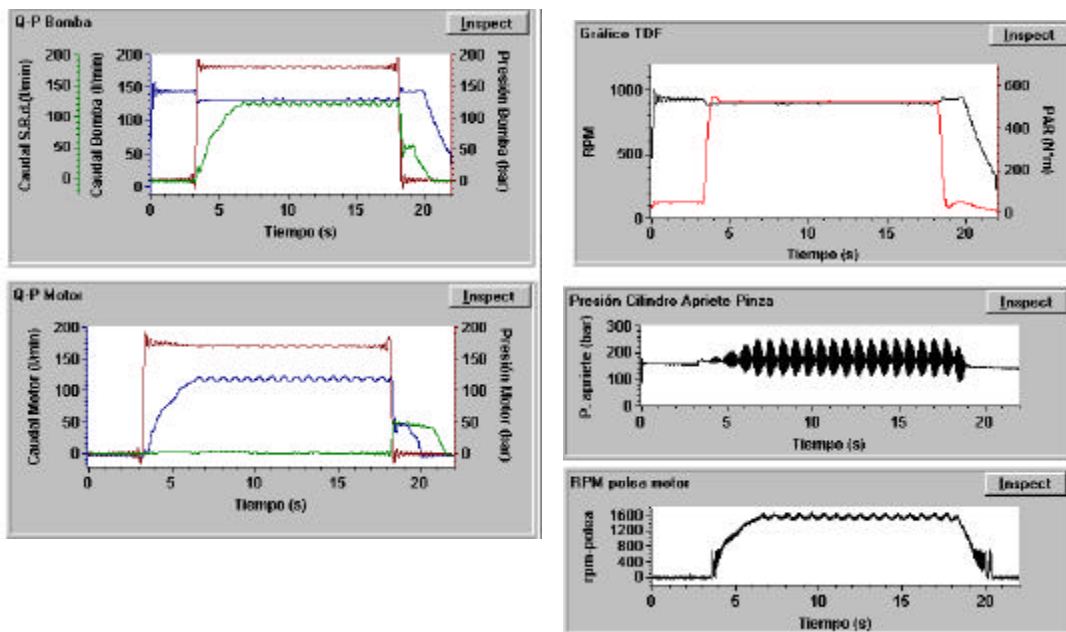


Figura 39. Parámetros de estudio en el circuito. Ensayo en poste móvil (Bloque HALCON 7, 2200 rpm del motor del tractor, altura de agarre 0.8 m).

A partir de los datos de par y revoluciones en la tdf , y presión y caudal en bomba y motor hidráulicos, construimos el denominado “Gráfico de Potencias”, que presenta el balance energético del circuito en cada ensayo. Como es lógico, las curvas de potencia siguen las mismas pautas que las referidas particularmente para los parámetros que la forman, por lo que, además de la información que aportan, sirven como resumen del ensayo, por lo que se describen en este apartado aunque el cálculo del Balance de Potencias correspondería a la fase de análisis de resultados. En la Figura 40, se muestra como ejemplo los gráficos de potencias de los ensayos ya referenciados.

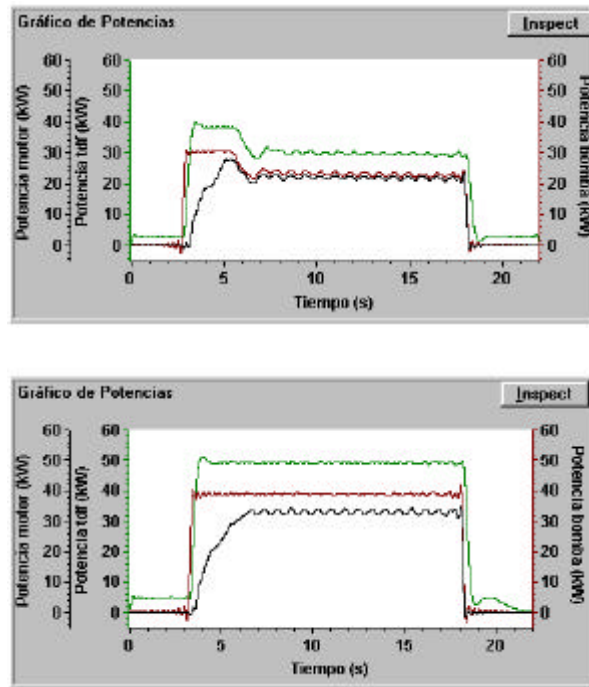


Figura 40. Potencias en el circuito hidráulico del vibrador. Ensayo en poste móvil (Bloque HALCON 7, altura de agarre 0.8 m, revoluciones del motor 1600 rpm, gráfico superior, y 2200 rpm, gráfico inferior).

Como comparación con los ensayos en poste, presentamos los gráficos de evolución en el tiempo de los parámetros medidos en el circuito, en una prueba efectuada sobre un árbol, perteneciente al bloque de ensayos de modificación de las características vibratorias (combinación multidireccional) (Figura 41). No se aprecian diferencias significativas respecto a los gráficos mostrados para ensayos en poste, aunque si podemos destacar que la presión a la salida de la bomba, la presión en el motor y el par en la tdf están sometidos a oscilaciones de mayor nivel durante el régimen permanente de la vibración. Esto puede deberse a diferencias en la demanda de potencia debido a la distinta rigidez del árbol en las direcciones de vibración, lo cual puede apreciarse en el “Gráfico de Potencias”.

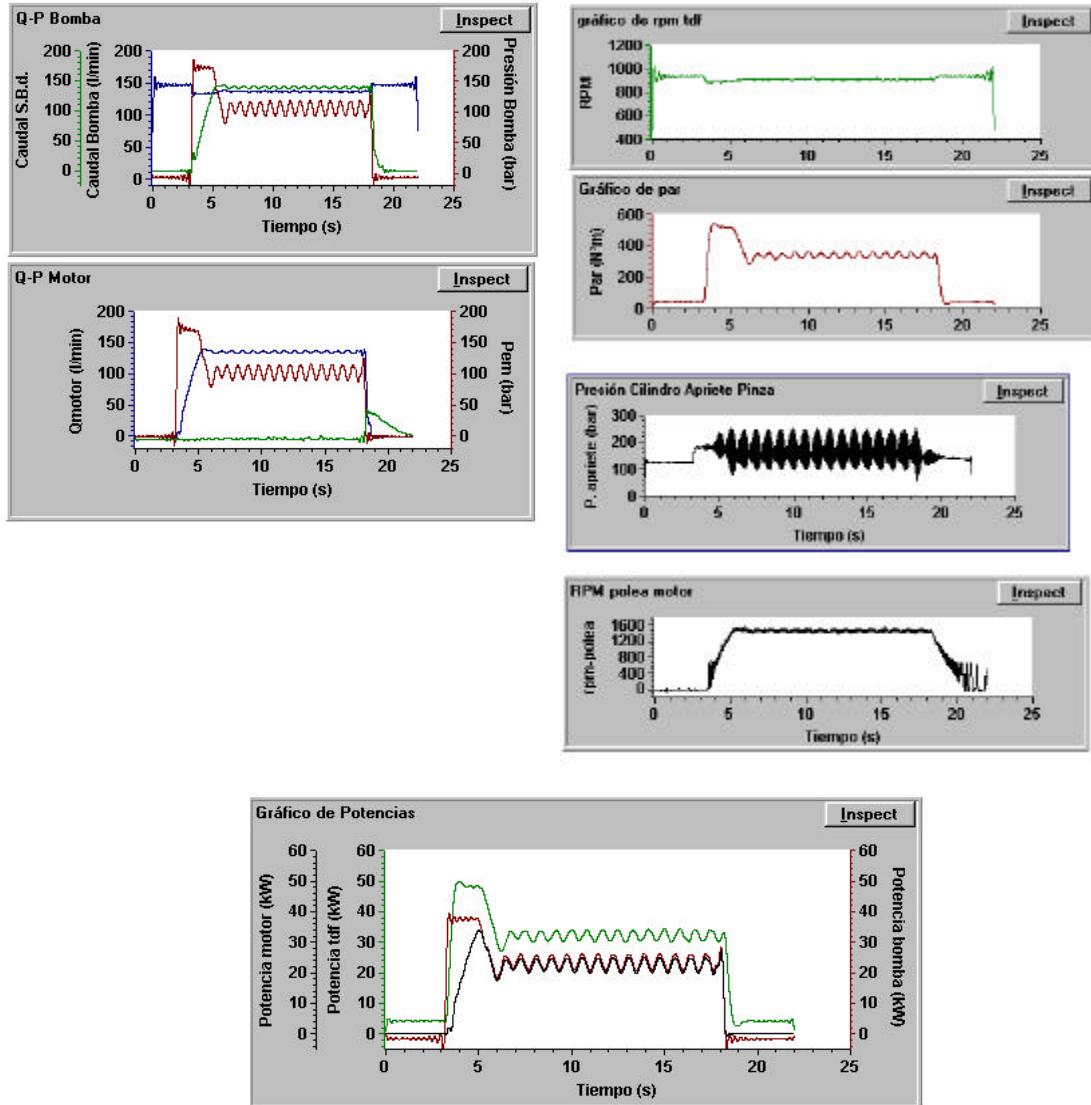


Figura 41. Parámetros de estudio en el circuito. Ensayo en árbol.

2.1.1.2 Valores de los parámetros. Balance de potencias.

En el Anexo II, aparecen las Tablas que contienen los valores medios de los parámetros estudiados en cada uno de los ensayos del circuito mecánico-hidráulico de generación de vibración, y el cálculo de las potencias demandadas en los diversos órganos de accionamiento (tdf, bomba y motor).

Como ejemplo, las Tablas 20 y 21, recogen los resultados del bloque de ensayos HALCON 7. Junto al nombre en clave de la prueba, se disponen las variables contempladas en el ensayo (en este caso, altura de agarre, Hag, y revoluciones del motor del tractor, RPMm) y, seguidamente, los valores de todos los parámetros estudiados (identificados por las siglas que se le asignaron en el apartado correspondiente de Materiales y Métodos). Finalmente, se realiza el cálculo de las potencias en la tdf (Ntdf), bomba (Nb) y motor (Nm) y los rendimientos en el circuito.

ENSAYOS HALCON 7

FICHERO	Hag	RPMm	Qsb	Qsbd	Psb	Qm	Pm	RPMtdf	Mtdf	RPMmh	Pap
P7416	40	1600	101.10	100.60	175.52	99.96	167.53	704.54	509.33	1340.56	173.63
P7418		1800	114.81	102.77	179.71	101.48	171.33	790.63	524.62	1354.62	174.63
P7420		2000	131.36	103.43	180.07	101.99	171.83	893.32	532.47	1351.71	174.29
P7422		2200	149.00	104.45	180.18	102.96	172.55	994.6	536.58	1354.2	176.69
P7716	80	1600	105.22	105.89	134.74	105.66	127.25	723.75	392.08	1406.62	166.34
P7718		1800	116.93	116.48	161.00	115.08	152.77	795.51	466.06	1521.01	174.92
P7720		2000	132.60	120.62	180.05	118.73	170.67	893.58	525.73	1560.91	177.9
P7722		2200	148.60	120.78	180.27	118.49	171.00	993.88	532.48	1554.75	177.61
P71016	120	1600	103.75	104.20	139.02	104.67	131.95	714.91	402.96	1387.06	166.6
P71018		1800	119.34	118.70	127.71	118.39	120.15	808.76	377.90	1567.36	164.75
P71020		2000	133.61	132.60	144.59	130.95	135.59	896.79	427.58	1724.44	171.35
P71022		2200	148.89	141.90	179.15	138.59	168.93	994.76	529.24	1815.72	178.09

Caudales (Qsb, Qsbd, Qm): l/min

Presiones (Psb, Pm, Pap): bar

Velocidades de giro (RPMm, RPMtdf, RPMmh): rpm

Par (Mtdf): N· m

Altura de agarre (Hag): cm

Tabla 20. Ensayos HALCON 7. Valores de los parámetros de estudio en el circuito.

ENSAYOS HALCON 7

FICHERO	Hag	RPMm	Potencias (kW)			Rendimientos (%)		
			Ntdf	Nb	Nm	tdf-b	b-m	tdf-m
P7416	40	1600	37.53	28.96	27.31	77.16	94.30	72.77
P7418		1800	43.39	33.68	28.38	77.62	84.26	65.41
P7420		2000	49.78	38.63	28.6	77.60	74.04	57.45
P7422		2200	55.85	43.84	29	78.50	66.15	51.92
P7716	80	1600	29.69	23.13	21.93	77.91	94.81	73.86
P7718		1800	38.82	30.73	28.7	79.16	93.39	73.93
P7720		2000	49.16	38.99	33.08	79.31	84.84	67.29
P7722		2200	55.39	43.75	33.08	78.99	75.61	59.72
P71016	120	1600	30.12	23.52	22.49	78.09	95.62	74.67
P71018		1800	32	24.86	23.2	77.69	93.32	72.50
P71020		2000	40.18	31.53	28.98	78.47	91.91	72.13
P71022		2200	55.1	43.56	38.23	79.06	87.76	69.38

Velocidad de giro RPMm: rpm

Altura de agarre (Hag): cm

Tabla 21. Ensayos HALCON 7. Balance de potencias.

2.1.2. Comportamiento del sistema pinza-poste o árbol (vibración).

2.1.2.1. Evolución temporal.

La Figura 42, muestra las aceleraciones longitudinal y transversal que se generan en el centro de gravedad (cdg) de la cabeza vibradora durante un ensayo realizado sobre poste móvil (bloque de ensayos HALCON 7, 1600 rpm del motor del tractor y 0.8 m de altura de agarre).

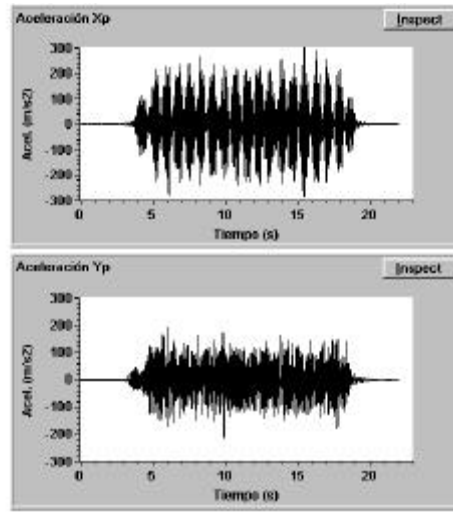


Figura 42. Aceleraciones longitudinal (X) y transversal (Y) en la cabeza vibradora.

Se observa que ambas presentan la misma forma de señal tipo amplitud modulada y que están en oposición de fase, es decir, cuando en una se llega al valor máximo en la otra se presenta el valor mínimo.

También se contemplan en este ejemplo las aceleraciones longitudinal y transversal en el poste de ensayos (Figura 43), justo a la altura de agarre, y en un punto situado en la parte posterior de la cabeza vibradora (Figura 44).

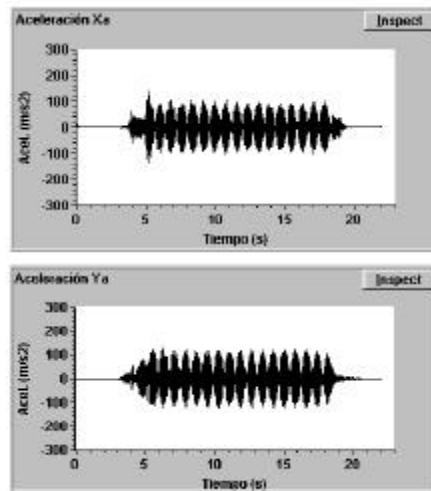


Figura 43. Aceleraciones longitudinal (X) y transversal (Y) en el poste.

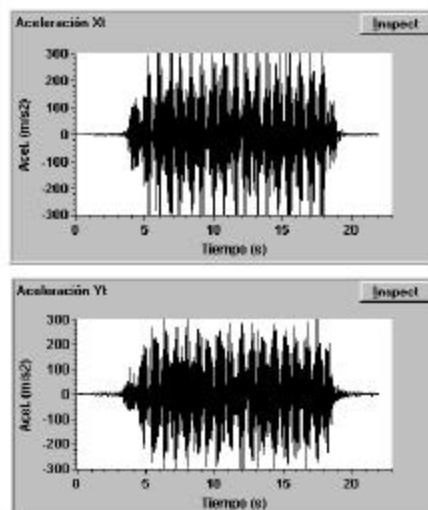


Figura 44. Aceleraciones longitudinal (X) y transversal (Y) en la parte posterior de la cabeza vibradora.

La composición del movimiento de ambas direcciones da origen al movimiento general del sistema, provocado por las masas excéntricas que giran en sentidos contrapuestos y a diferente velocidad, y que se conocen como “estrella de vibración”. En la Figura 45, se muestran dos fases en la formación de la estrella que se obtiene con las aceleraciones registradas en el poste. Se pueden contabilizar aproximadamente 31 puntas.

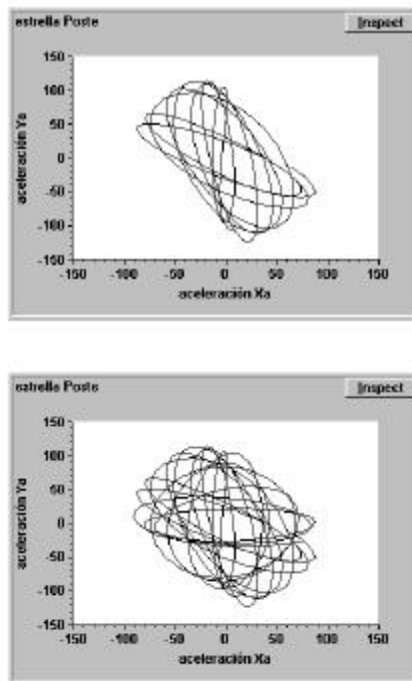


Figura 45. Estrella de vibración (superior: 0.4 segundos; inferior: 0.7 segundos)

Las señales en el poste son similares a las obtenidas en el cdg de la cabeza vibradora, sólo cambia el nivel de vibración, lo cual se debe a la transmisión en la unión pinza-poste.

La parte posterior de la cabeza vibradora está sometida a movimientos que llamamos “indeseables” puesto que suponen un sobreesfuerzo sobre el árbol o poste. Son provocados como consecuencia de que la vibración se genera por dos masas que se sitúan en planos diferentes y alejados del punto de sujeción y se concretan en un cabeceo o giro alrededor del eje transversal y en una oscilación alrededor del eje vertical que queda recogida en el plano de la cabeza vibradora en el que se sitúan las otras dos parejas de acelerómetros (cdg y poste), por lo que las aceleraciones captadas en la parte posterior recogen este movimiento.

Junto con la representación temporal de la aceleración se acompaña la representación en el dominio de la frecuencia (Figura 46). En los espectros aparecen fundamentalmente dos picos de frecuencia que corresponden a las que obtendríamos del movimiento independiente de cada masa.

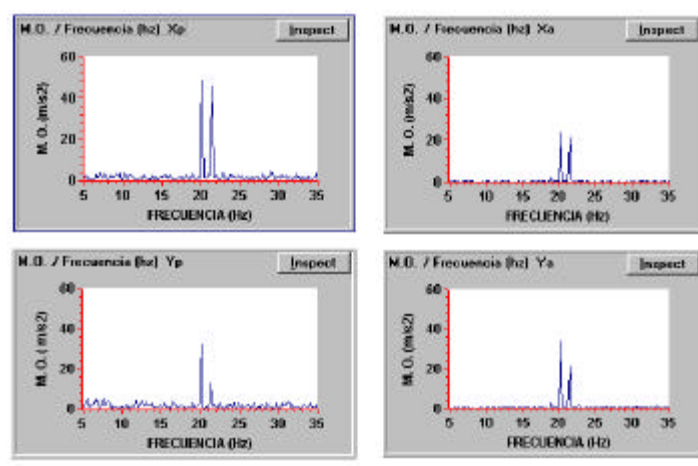


Figura 46. Espectros de frecuencias (izquierda: cabeza vibradora; derecha: poste).

También suelen aparecer otras frecuencias junto con las anteriores, cuyo origen está en pequeñas perturbaciones que se añaden a la señal de aceleración. En este sentido, podemos constatar que las señales de aceleración de la pinza presentan más irregularidades que las del poste o árbol, ya que mientras que las primeras registran todas las vibraciones y choques que se generan en la pinza como consecuencia de su movimiento, las segundas

sufren el “filtrado”, que el amortiguamiento de las almohadillas de la pinza y la propia estructura del árbol o poste provocan.

También presentamos los gráficos de evolución en el tiempo de las aceleraciones en cabeza vibradora y árbol, y sus correspondientes espectros de frecuencias, en dos pruebas pertenecientes al bloque de ensayos de modificación de las características vibratorias, realizadas con la combinación multidireccional C3 (Figura 47) y con la cabeza vibradora orbital que se estudió en la segunda fase (Figura 48).

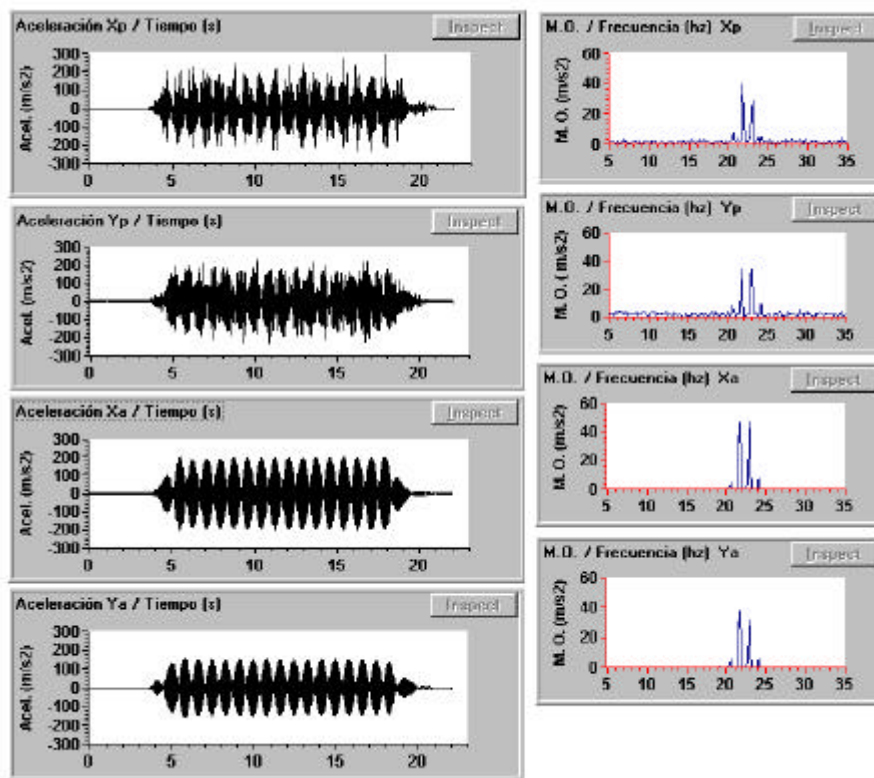


Figura 47. Aceleraciones longitudinal (X) y transversal (Y) en cabeza vibradora y en árbol. Espectros de frecuencias. Ensayo con vibración multidireccional.

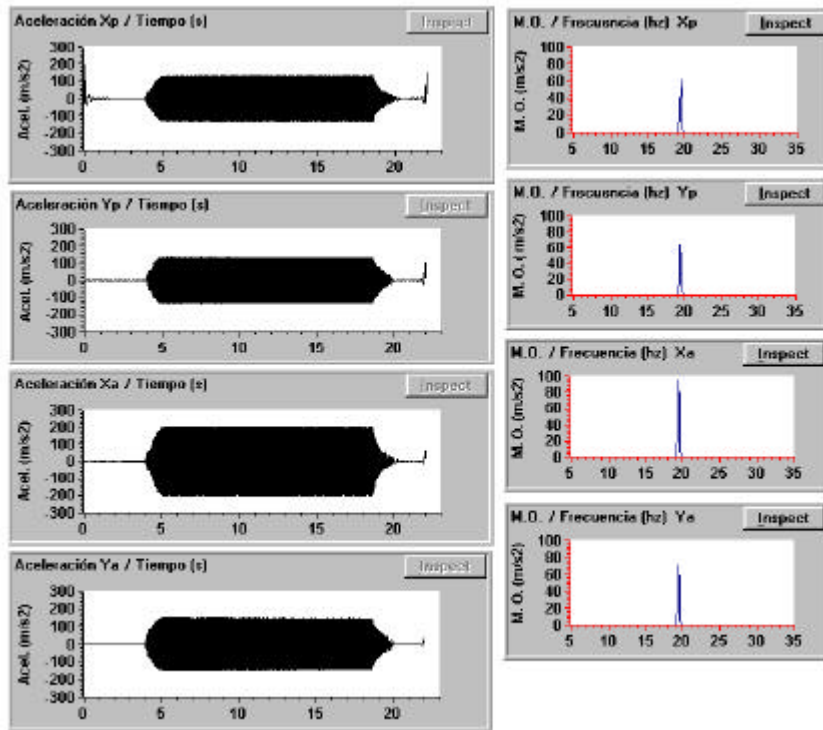


Figura 48. Aceleraciones longitudinal (X) y transversal (Y) en cabeza vibradora y en árbol. Espectros de frecuencias. Ensayo con vibración orbital.

En los espectros de frecuencias de la vibración orbital sólo aparece el pico correspondiente al movimiento de la única masa.

Para que pueda apreciarse mejor la forma de la señal de aceleración en las dos direcciones, en la Figura 49 se representan sólo dos segundos registrados en el régimen permanente de la vibración del árbol para la cabeza vibradora orbital. También se describe el diagrama de vibración real que se obtiene.

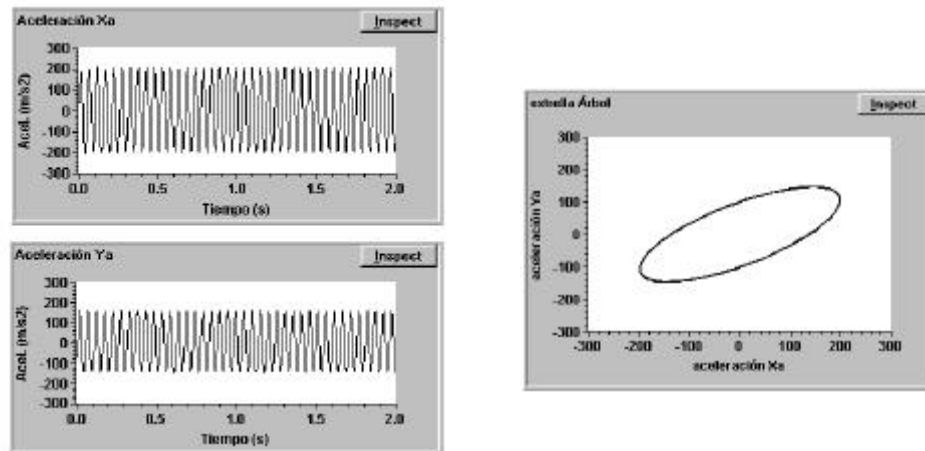


Figura 49. Vibración orbital: detalle de las aceleraciones longitudinal y transversal durante el régimen permanente. Diagrama de vibración.

Para la vibración multidireccional (Figura 50), la formación de la “estrella de vibración” se realiza con dos ciclos de aceleración, uno por cada dirección de medida. Así podemos obtener el número de puntas que se producen en el movimiento contabilizando los picos de amplitud de un ciclo y multiplicándolo por dos.

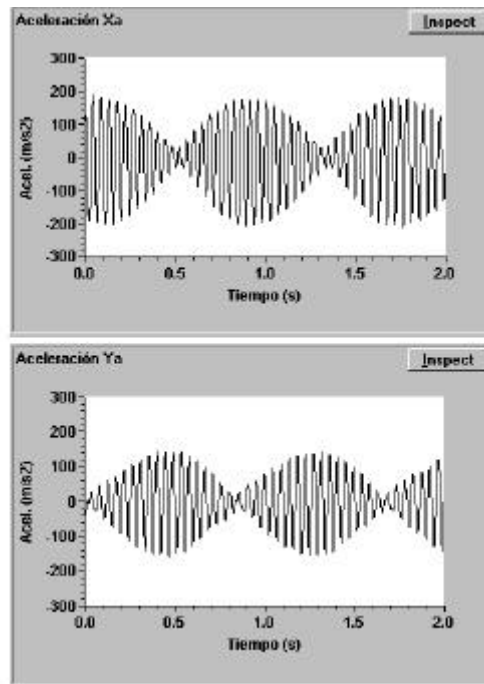


Figura 50. Vibración multidireccional: detalle de las aceleraciones longitudinal y transversal durante el régimen permanente.

La formación de la estrella se explica en la Figura 51. Se ha dividido el proceso en ocho fases, suponiendo cada una un aumento de tiempo respecto a la anterior de 0.1 segundos. Se parte de 0.1 s y se llega en la última fase, en la cual se completa la estrella, a 0.92 s., consiguiéndose aproximadamente 36 puntas, valor que se había calculado teóricamente (ensayos de modificación de las características vibratorias, combinación C3).

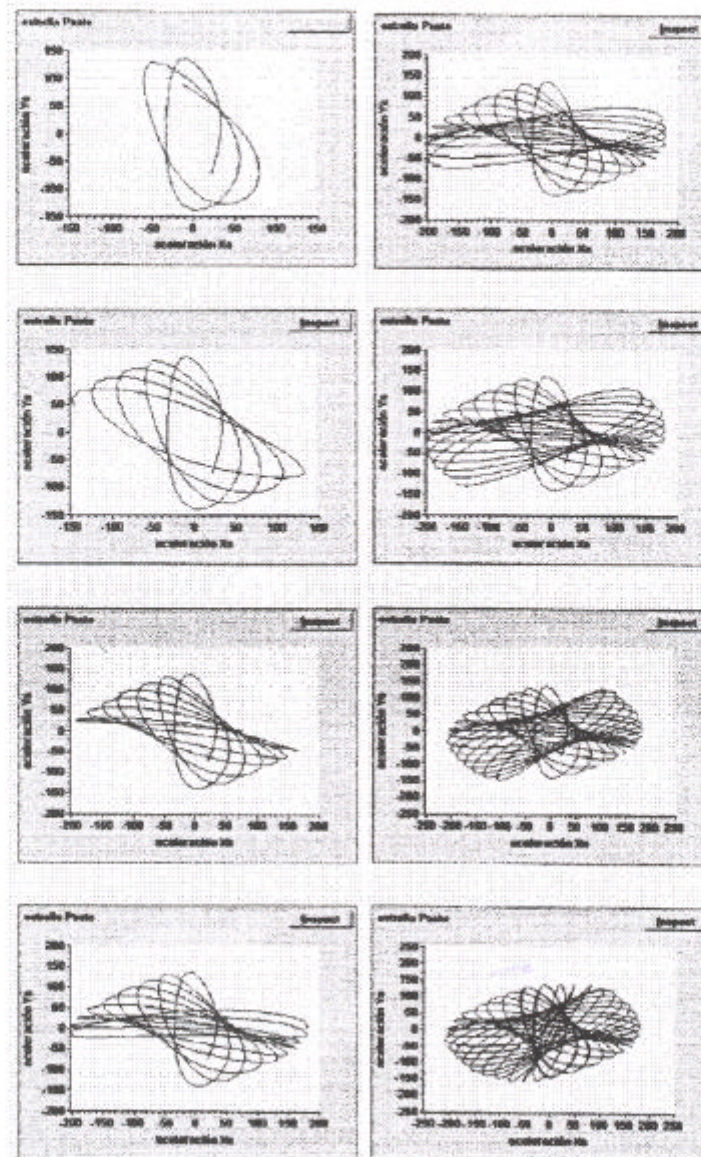


Figura 51. Formación de la “estrella de vibración”.

2.1.2.2. Valores de los parámetros.

En las Tablas del Anexo II aparecen , para cada uno de los ensayos del circuito mecánico-hidráulico de generación de vibración , los valores eficaces de las aceleraciones consideradas en el estudio, sus frecuencias fundamentales, y la eficacia de transmisión de la vibración.

Como ejemplo también se expone la Tabla 22, perteneciente al bloque de ensayos HALCON 7.

ENSAYOS HALCON 7

FICHERO	Hag	RPMm	ACELERACIONES (m/s ² valor eficaz)										
			Xp	Yp	Xa	Ya	Xt	Yt	Aef,a	Aef,p	Em	Aef,t	Em t-p
P7416	40	1600	94.478	69.186	24.97	51.994	123.86	131.88	57.679	117.102	0.493	180.924	1.545
P7418		1800	100.82	70.093	27.951	54.883	126.42	128.21	61.591	122.791	0.502	180.055	1.466
P7420		2000	95.504	67.111	26.937	52.483	121.99	130.64	58.992	116.726	0.505	178.741	1.531
P7422		2200	107.98	78.703	26.457	54.858	134.5	140.42	60.905	133.618	0.456	194.443	1.455
P7716	80	1600	103.61	68.322	45.77	59.552	131.32	125.78	75.109	124.109	0.605	181.839	1.465
P7718		1800	117.02	77.993	39.215	72.223	156.52	160.22	82.183	140.629	0.584	223.984	1.593
P7720		2000	120.98	86.476	38.664	74.563	163.41	166.15	83.991	148.709	0.565	233.042	1.567
P7722		2200	118.03	83.564	39.6	79.91	164.31	170.94	89.184	144.617	0.617	237.104	1.640
P71016	120	1600	101.82	78.456	105.9	74.696	134.36	111.84	129.593	128.540	1.008	174.816	1.360
P71018		1800	123.36	93.364	83.626	99.386	161.06	150.32	129.888	154.708	0.840	220.310	1.424
P71020		2000	141.21	102.09	67.796	135.09	182.48	187.01	151.148	174.249	0.867	261.289	1.500
P71022		2200	146.03	110.1	64.125	169.28	180.17	206.43	181.019	182.885	0.990	273.997	1.498

Aceleraciones Aef,a , Aef,p , Aeft : m/s² valor eficaz.

Eficacia de la transmisión de la vibración (Em, Em t-p): tanto por uno.

Velocidad de giro RPMm: rpm. Altura de agarre (Hag): cm.

FICHERO	Hag	RPMm	FRECUENCIAS (Hz)					
			Xp	Yp	Xa	Ya	Xt	Yt
P7416	40	1600	20.264	19.165	20.264	19.165	20.264	19.165
P7418		1800	20.508	19.287	19.287	20.508	20.508	19.287
P7420		2000	20.508	19.287	19.287	19.287	20.508	19.287
P7422		2200	20.508	19.409	20.508	20.508	20.508	19.287
P7716	80	1600	20.142	20.142	20.142	20.142	20.142	20.142
P7718		1800	23.071	21.729	23.071	21.729	23.071	21.729
P7720		2000	23.682	22.217	23.682	22.217	23.682	22.217
P7722		2200	23.56	22.217	23.56	22.217	23.56	22.217
P71016	120	1600	19.897	19.897	19.897	19.897	21.118	21.118
P71018		1800	22.461	22.461	22.461	22.461	22.461	22.461
P71020		2000	24.658	24.658	26.245	24.658	24.658	24.658
P71022		2200	25.879	25.879	27.466	25.879	25.879	25.879

Tabla 22. Ensayos HALCON 7. Aceleraciones, frecuencias y eficacia de la transmisión de la vibración.

2.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

2.2.1. Influencia de las variables de ensayo.

2.2.1.1. En la demanda de potencia al tractor.

2.2.1.1.1. Ensayos en árboles.

1) Bloque de ensayos ÁRBOL.

Vamos a realizar este estudio planteando en primer lugar un Análisis de la Varianza (ANOVA) multifactorial. Consideramos como variable dependiente o respuesta, la potencia demandada en la tdf del tractor (Ntdf), y como factores o variables independientes: altura de agarre de la pinza en el tronco (Hag = 0.4 , 0.5 , 0.6 m) y diámetro del tronco del árbol (Árbol = 0.25, 0.3 m).

Para explicar la contribución de cada factor en la variabilidad de Ntdf y comprobar si los factores tienen un efecto estadísticamente significativo, construimos la Tabla 23:

Tabla 23. Tabla ANOVA multifactorial para la potencia demandada en la tdf (Ntdf). Ensayos ÁRBOL.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Hag	14.1594	2	7.07971	0.53	0.5975
B: Árbol	177.283	1	177.283	13.23	0.0016
RESIDUOS	267.963	20	13.3982		
TOTAL (corregido)	471.496	23			

La contribución de cada factor, se cuantifica eliminando los efectos del resto de los factores. Como en el factor “Hag” el P-valor (probabilidad o nivel de significación) es mayor de 0.05, no tiene efecto estadísticamente significativo, con el 95 % de nivel de confianza.

Para determinar el efecto del diámetro del tronco del árbol sobre la potencia demandada al tractor, Ntdf, hemos realizado Contrastes de Rango Múltiple. Este procedimiento realiza un análisis de rango múltiple para las medias; mediante él, sabremos que medias son estadísticamente diferentes de las demás. Entre los contrastes que el programa STATGRAPHICS permite, elegimos la prueba Fisher de menor diferencia significativa (LSD) para discriminar entre medias (Tabla 24).

Tabla 24. Contraste de rango múltiple para la potencia demandada en la tdf (Ntdf) en función del diámetro del tronco del árbol (Árbol). Prueba LSD de Fisher. Ensayos ÁRBOL.

Método: 95.0 % LSD		
Árbol	Valor medio observado	Grupos homogéneos
0.25	30.9624	X
0.30	36.7827	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
0.25-0.30	*-5.82029	3.16135

Los grupos homogéneos son identificados usando columnas de cruces (X). Los tratamientos cuya X esté contenida dentro de la misma columna forman un grupo de medias dentro de las cuales no hay diferencia estadísticamente significativas.

Como podemos apreciar en la parte baja de la tabla, se realiza el contraste entre las variables diámetro de tronco del árbol (Árbol), 0.25 y 0.30, obteniendo que la diferencia entre ambas es estadísticamente significativa en el nivel de confianza del 95 % (y se indica mediante un asterisco).

También podemos llegar al mismo resultado de forma gráfica utilizando el Gráfico de Medias (Figura 52). Es una representación gráfica de los intervalos para las medias y de la media para cada nivel del tratamiento (Árbol). Cuando dos intervalos no se solapan, se puede aceptar que hay diferencias significativas entre las dos medias (hipótesis alternativa), mientras que cuando el solapamiento se produzca habrá que aceptar la hipótesis nula del contraste, es decir, que las diferencias observadas en los valores de las medias muestrales no son significativas y se pueden deber al azar, por lo que en consecuencia no hay razón para pensar que los diferentes tratamientos tengan efectos sobre la variable cuantitativa.

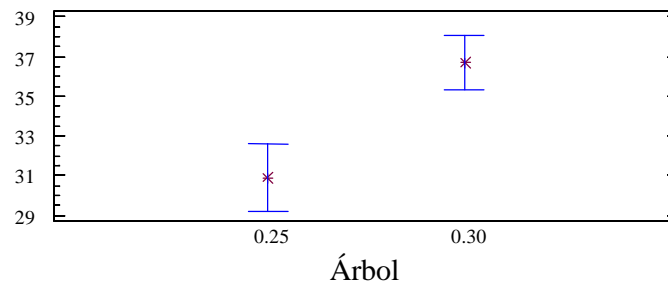


Figura 52. Intervalos de confianza al 95 % para los valores medios de la Ntdf demandada en función del diámetro del tronco del árbol. Ensayos ÁRBOL.

De todo esto se deduce que conforme aumenta el diámetro del tronco del árbol también aumenta la demanda de Ntdf.

2) Bloque de ensayos en ÁRBOL 1.

En este caso, todos los árboles ensayados tienen un diámetro similar por lo que esta variable no se considera. Por tanto, tenemos que la variable dependiente es la potencia demandada en la tdf del tractor (Ntdf) y las variables independientes son la altura de agarre de la pinza en el tronco ($Hag = 0.6, 0.8$ m) y las revoluciones del motor del tractor ($RPMm = 1800, 2200$ rpm).

Planteando un Análisis de la Varianza multifactorial obtenemos que sólo el factor RPMm tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la Ntdf (Tabla 25).

Tabla 25 Tabla ANOVA multifactorial para la potencia demandada en la tdf (Ntdf). Ensayos ÁRBOL1.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Hag	34.1896	1	34.1896	1.66	0.2068
B: RPMm	1396.53	1	1396.53	68.00	0.0000
RESIDUOS	616.119	30	20.5373		
TOTAL (corregido)	2032.4	32			

Mediante la prueba LSD de Fisher (Tabla 26) y el correspondiente Gráfico de Medias (Figura 53) comprobamos que se produce un aumento en la Ntdf cuando incrementamos las revoluciones del motor.

Tabla 26. Contraste de rango múltiple para la potencia demandada en la tdf (Ntdf) en función de las revoluciones del motor del tractor (RPMm). Prueba LSD de Fisher. Ensayos ÁRBOL 1.

Método: 95.0 % LSD		
RPMm	Valor medio observado	Grupos homogéneos
1800	35.1338	X
2200	48.1596	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
1800-2200	*-13.0258	3.22373

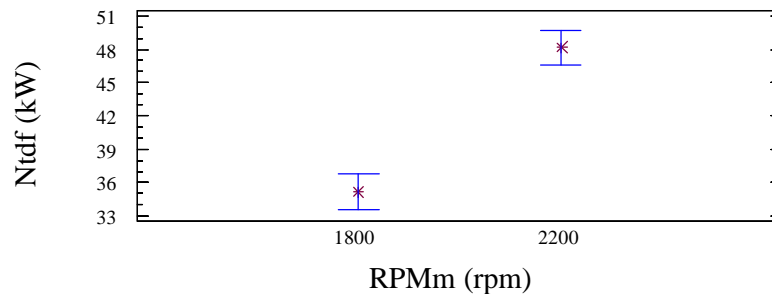


Figura 53. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de la Ntdf demandada en función de las revoluciones del motor del tractor. Ensayos ÁRBOL 1.

3) Bloque de ensayos ÁRBOL 2.

Como en los casos anteriores, planteamos un Análisis de la Varianza multifactorial. Consideramos como variable dependiente, la potencia demandada en la tdf del tractor (Ntdf), y como variables independientes: diámetro del tronco del árbol (Árbol = 1 ó G, 2 ó T), revoluciones del motor del tractor (RPMm = 1600, 1900 ,2200 rpm) y altura de agarre de la pinza en el tronco (Hag = 0.4 , 0.7 , 1 m).

Para explicar la contribución de cada factor y comprobar si los factores tienen un efecto estadísticamente significativo, construimos la Tabla 27.

Tabla 27. Tabla ANOVA multifactorial para la potencia demandada en la tdf (Ntdf). Ensayos ÁRBOL2.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Árbol	72.5723	1	72.5723	9.65	0.0026
B: Hag	963.983	2	481.991	64.08	0.0000
C: RPMm	7404.22	2	3702.11	492.17	0.0000
RESIDUOS	654.418	87	7.52205		
TOTAL (corregido)	9111.97	92			

La contribución de cada factor, se cuantifica eliminando los efectos del resto de los factores. Como para los tres factores el P-valor (probabilidad o nivel de significación) es menor de 0.05, todos tienen un efecto estadísticamente significativo, con el 95 % de nivel de confianza.

Diámetro del tronco del árbol (Árbol)

Para determinar el efecto del diámetro del tronco del árbol, que utilizamos como indicativo de su tamaño, sobre la potencia demandada al tractor, Ntdf, hemos realizado la prueba LSD de Fisher (Tabla 28).

Tabla 28. Contraste de rango múltiple para la potencia demandada en la tdf (Ntdf) en función del diámetro del tronco del árbol (Árbol). Prueba LSD de Fisher. Ensayos ÁRBOL 2.

Método: 95.0 % LSD		
árbol	Valor medio observado	Grupos homogéneos
2 (T)	31.8328	X
1 (G)	33.6475	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
1-2	*1.81474	1.16052

En el contraste entre las variables diámetro de tronco del árbol (Árbol), 1 (G) y 2 (T), obtenemos que la diferencia entre ambas es estadísticamente significativa en el nivel de confianza del 95 %. Éste resultado también se muestra mediante el Gráfico de Medias de la Figura 54.

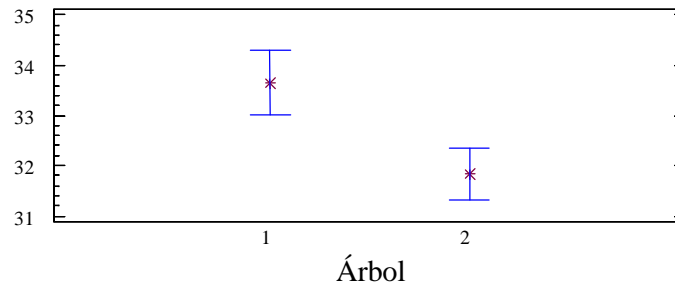


Figura 54. Intervalos de confianza al 95 % para los valores medios de la Ntdf demandada en función del diámetro del tronco del árbol. Ensayos ÁRBOL 2.

De todo esto se deduce que conforme aumenta el diámetro del tronco del árbol también aumenta la demanda de Ntdf.

Altura de agarre (Hag)

Para estudiar el efecto de la altura de agarre de la pinza en el árbol, hemos utilizado la prueba LSD de Fisher (Tabla 29).

Tabla 29. Contraste de rango múltiple para la potencia demandada en la tdf (Ntdf) en función de la altura de agarre (Hag). Prueba LSD de Fisher. Ensayos ÁRBOL 2.

Método: 95.0 % LSD		
Hag	Valor medio observado	Grupos homogéneos
1.0	28.9878	X
0.7	32.4165	X
0.4	36.8161	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
0.4-0.7	*4.39967	1.40752
0.4-1.0	*7.82837	1.37516
0.7-1.0	*3.42871	1.37516

Como podemos observar (Tabla 29 y Figura 55) hay diferencias estadísticamente significativas entre todas las medias de los pares de muestras que pueden establecerse con los diversos valores de la variable Hag, lo que significa que las medias poblacionales son

distintas. Por tanto, podemos afirmar que una disminución en la altura de agarre implica una mayor demanda de Ntdf.

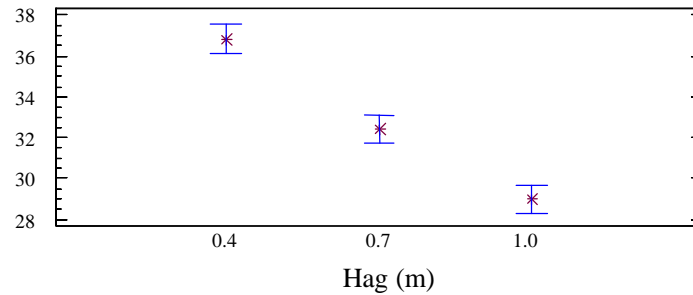


Figura 55. Intervalos de confianza al 95 % para los valores medios de la Ntdf demandada en función de la altura de agarre de la pinza en el árbol. Ensayos ÁRBOL 2.

Revoluciones del motor del tractor (RPMm)

La Tabla 30 muestra la prueba LSD de Fisher realizada para la comparación de medias en el estudio de la variable revoluciones del motor del tractor.

Tabla 30. Contraste de rango múltiple para la potencia demandada en la tdf (Ntdf) en función de las revoluciones del motor del tractor (RPMm). Prueba LSD de Fisher. Ensayos ÁRBOL 2.

Método: 95.0 % LSD		
RPMm	Valor medio observado	Grupos homogéneos
1600	22.384	X
1900	31.6743	X
2200	44.1621	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
1600-1900	*-9.29032	1.3846
1600-2200	*-21.7781	1.3846
1900-2200	*-12.4877	1.3846

También se ha construido el Gráfico de Medias (Figura 56). En ambos casos, se aprecia claramente la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las medias de todos los pares de muestras. Un aumento en la revoluciones del motor del tractor supone un aumento en la Ntdf demandada.

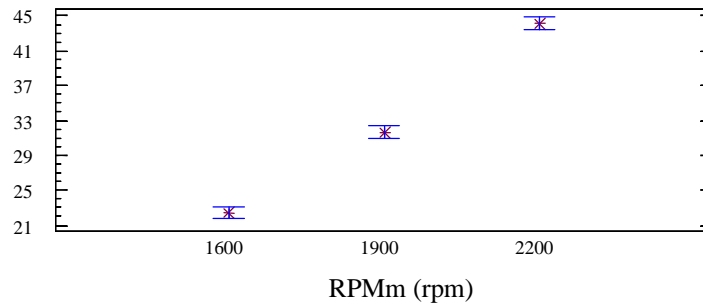


Figura 56. Intervalos de confianza al 95 % para los valores medios de la Ntdf demandada en función de las revoluciones del motor del tractor. Ensayos ÁRBOL 2.

Como resumen de los resultados obtenidos en los árboles, diremos que se observa una clara tendencia al incremento de la potencia demandada al tractor cuando aumentan las variables revoluciones del motor (RPMm) y diámetro del tronco del árbol (Árbol). La altura de agarre (Hag) muestra efecto significativo, con tendencia opuesta a las anteriores, cuando las diferencias en sus valores son considerables (en este caso, 30 cm).

La conclusión práctica de todo esto es que al aumentar las revoluciones del motor del tractor aumentamos la potencia disponible, y por ello la cedida, y que se pone de manifiesto la conveniencia de árboles no muy grandes y con la cruz elevada, es decir, la ventaja de las plantaciones intensivas diseñadas para ser recogidas por vibración. Por otra parte, la copa elevada facilita otras tareas mecanizadas: preparación de suelos, recogida de suelos, desvareto químico, etc...

2.2.1.1.2. Ensayos en poste.

1) Poste normalizado según ISO/TC 23/SC.

Se determina la influencia que las variables independientes altura de agarre (Hag: 0.6, 0.8 y 1 m) y revoluciones del motor del tractor (RPMm) tienen sobre la potencia demandada en la tdf, Ntdf. En la Tabla 31 se muestran los resultados del Análisis de la Varianza multifactorial, que indican el efecto estadísticamente significativo de ambas variables.

Tabla 31. Tabla ANOVA multifactorial para la potencia demandada en la tdf (Ntdf). Ensayos en poste normalizado.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Hag	89.1481	2	44.5741	6.55	0.0073
B: RPMm	1452.27	3	484.09	71.14	0.0000
RESIDUOS	122.485	18			
TOTAL (corregido)	1663.9	23			

La prueba LSD de Fisher para los factores Hag y RPMm se describen en las Tablas 32 y 33.

Tabla 32. Contraste de rango múltiple para la potencia demandada en la tdf (Ntdf) en función de la altura de agarre (Hag). Prueba LSD de Fisher. Ensayos en poste normalizado.

Método: 95.0 % LSD		
Hag	Valor medio observado	Grupos homogéneos
0.6	35.54	X
0.8	36.8738	X
1.0	40.1288	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
0.6-0.8	-1.33375	2.74023
0.6-1.0	*-4.58875	2.74023
0.8-1.0	*-3.255	2.74023

Tabla 33. Contraste de rango múltiple para la potencia demandada en la tdf (Ntdf) en función de las revoluciones del motor del tractor (RPMm). Prueba LSD de Fisher. Ensayos en poste normalizado.

Método: 95.0 % LSD		
RPMm	Valor medio observado	Grupos homogéneos
1600	27.6833	X
1800	33.4067	X
2000	40.5217	X
2200	48.445	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
1600-1900	*-5.72333	3.16414
1600-2000	*-12.8383	3.16414
1600-2200	*-20.7617	3.16414
1900-2000	*-7.115	3.16414
1800-2200	*-15.0383	3.16414
2000-2200	*-7.92333	3.16414

Vemos que un aumento en la variable independiente supone un aumento de la Ntdf, lo cual puede expresarse de forma gráfica según las Figuras 57 y 58.

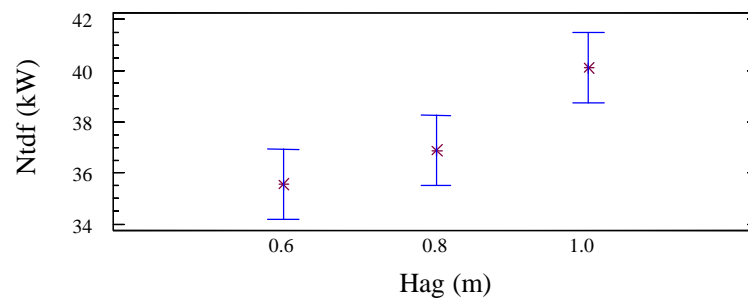


Figura 57. Intervalos de confianza al 95 % para los valores medios de la Ntdf demandada en función de la altura de agarre de la pinza en el árbol. Ensayos en poste normalizado.

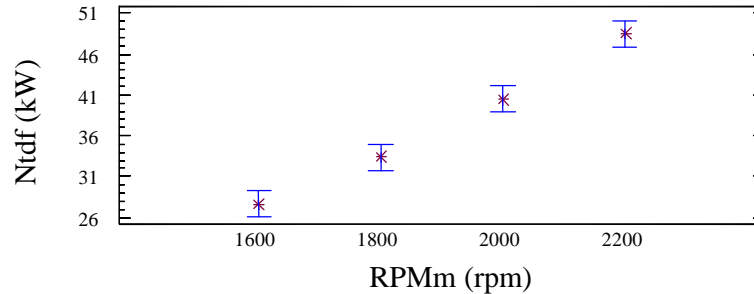


Figura 58. Intervalos de confianza al 95 % para los valores medios de la Ntdf demandada en función de las revoluciones del motor del tractor. Ensayos en poste normalizado.

2) Nueva propuesta de poste móvil.

En este caso, utilizamos como variable dependiente la potencia del motor hidráulico (Nm) y como independientes, la altura de agarre (Hag: 0.4 y 0.8 m) y las revoluciones del motor del tractor (RPMm: 1800, 2000 y 2200 rpm). Según el Análisis de la Varianza, podemos considerar que sólo la primera tiene efecto estadísticamente significativo (Tabla 34).

Tabla 34. Tabla ANOVA multifactorial para la potencia del motor hidráulico (Nm). Ensayos en poste móvil.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Hag	83.0608	1	83.0608	12.35	0.0016
B: RPMm	32.802	2	16.401	2.44	0.1063
RESIDUOS	181.593	27	6.72566		
TOTAL (corregido)	302.121	30			

Realizando la prueba LSD de Fisher para la variable Hag (Tabla 35), obtenemos un resultado similar al poste normalizado. Es decir, el aumento en la altura de agarre supone un incremento de la potencia Nm (Figura 59).

Tabla 35. Contraste de rango múltiple para la potencia del motor hidráulico (Nm) en función de la altura de agarre (Hag). Prueba LSD de Fisher. Ensayos en poste móvil.

Método: 95.0 % LSD		
Hag	Valor medio observado	Grupos homogéneos
0.4	27.3867	X
0.8	31.0896	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
0.4-0.8	*-3.70292	2.10551

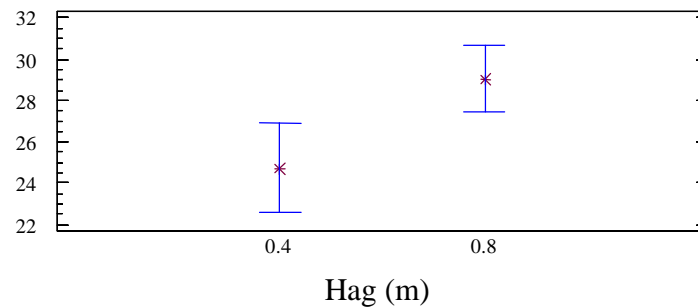


Figura 59. Intervalos de confianza al 95 % para los valores medios de la Nm en función de la altura de agarre de la pinza en el árbol. Ensayos en poste móvil.

En los dos postes ensayados se determina un aumento de la potencia demandada al tractor cuando aumenta la altura de agarre de la cabeza vibradora. Esto supone una contradicción con los resultados obtenidos en los árboles.

Es evidente que entre un árbol y los postes de ensayos hay diferencias constatables, y de hecho en este caso se reflejan en la potencia. Los postes no tienen masa aérea, frente a un olivo que pesa más de 300 kg. Se ha considerado la máquina como centro de nuestro estudio y desde este punto de vista el poste de ensayos cumple las perspectivas, pues determina diferentes cargas sobre el vibrador, permitiendo establecer diferentes condiciones de funcionamiento. Siguiendo en esta línea, sería interesante completar el trabajo analizando la influencia real que el árbol o poste ejercen sobre el comportamiento del vibrador. Para ello se debe establecer un modelo del sistema mecánico vibrador-árbol o poste.

2.2.1.2. En la eficacia de la transmisión de la vibración.

Al igual que en el estudio de la potencia demandada, vamos a realizar un Análisis de la Varianza multifactorial considerando tres variables dependientes que analizaremos de forma sucesiva en función de las variables independientes que se establezcan para cada bloque de ensayos:

- Eficacia de la transmisión de la vibración (Em)
- Aceleración eficaz de la cabeza vibradora (Aef,p)
- Aceleración eficaz del árbol (Aef,a)

2.2.1.2.1. Ensayos en árboles.

1) Bloque de ensayos ARBOL 1.

La Tabla 36 muestra el Análisis de Varianza multifactorial para cada variable independiente (Em, Aef,p y Aef,a).

Tabla 36. Tabla ANOVA multifactorial para Em, Aef,p y Aef,a. Ensayos ARBOL 1.

Análisis de la Varianza para Em					
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Hag	0.165183	1	0.165183	26.99	0.0000
B: RPMm	0.0050105	1	0.0050105	0.82	0.3728
RESIDUOS	0.183617	30	0.00612057		
TOTAL (corregido)	0.356218	32			
Análisis de la Varianza para Aef,p					
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Hag	459.946	1	459.946	1.46	0.2358
B: RPMm	6762.35	1	6762.35	21.52	0.0001
RESIDUOS	9429.25	30	314.308		
TOTAL (corregido)	16794.6	32			

Tabla 36. Tabla ANOVA multifactorial para Em, Aef,p y Aef,a. Ensayos ARBOL 1 (continuación).

Análisis de la Varianza para Aef,a					
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Hag	6801.96	1	6801.96	17.73	0.0002
B: RPMm	5673.96	1	5673.96	14.79	0.0006
RESIDUOS	11507.2	30	383.572		
TOTAL (corregido)	24468.6	32			

Mientras que en Aef,a tienen efecto estadísticamente significativo las dos variables independientes (Hag, RPMm), sobre Aef,p sólo lo tiene las revoluciones del motor del tractor y en Em únicamente la altura de agarre.

Un aumento en la altura de agarre supone un aumento de la variable independiente sobre la cual tiene efecto estadísticamente significativo (Em y Aef,a). Igual tendencia se observa para las revoluciones del motor del tractor (Em y Aef,p) (Tabla 37 y Figura 60).

Tabla 37. Contraste de rango múltiple para Em, Aef,p y Aef,a. Prueba LSD de Fisher. Ensayos ARBOL 1.

Prueba LSD de Fisher para Em		
Método: 95.0 % LSD		
Hag	Valor medio observado	Grupos homogéneos
0.6	0.698	X
0.8	0.842897	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
0.6-0.8	*-0.144897	0.0569221

Prueba LSD de Fisher para Aef,p		
Método: 95.0 % LSD		
RPMm	Valor medio observado	Grupos homogéneos
1800	152.028	X
2200	180.692	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
1800-2200	*-28.6635	12.6115

Tabla 37. Contraste de rango múltiple para Em, Aef,p y Aef,a. Prueba LSD de Fisher. Ensayos

ARBOL 1 (continuación).

Prueba LSD de Fisher para Aef,a. Contraste de Hag.

Método: 95.0 % LSD		
Hag	Valor medio observado	Grupos homogéneos
0.6	114.018	X
0.8	143.422	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
0.6-0.8	*-29.4032	14.2498

Prueba LSD de Fisher para Aef,a. Contraste de RPMm.

Método: 95.0 % LSD		
RPMm	Valor medio observado	Grupos homogéneos
1800	115.592	X
2200	141.848	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
0.6-0.8	*-26.2557	13.9319

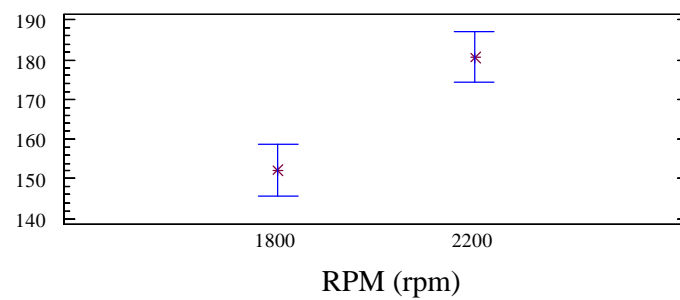
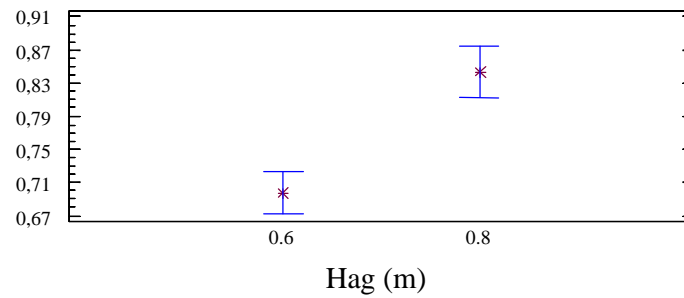


Figura 60. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de Em, Aef,p y Aef,a. Ensayos ARBOL 1.

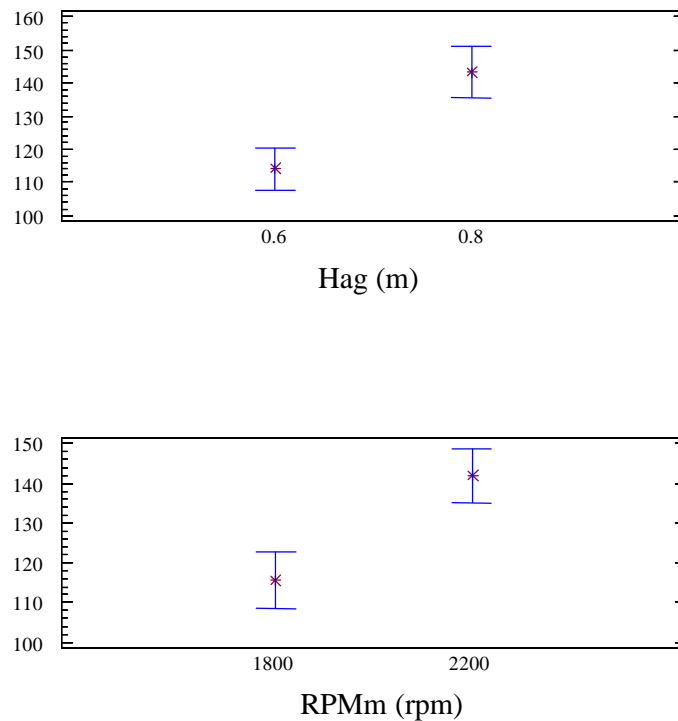


Figura 60. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de E_m , $A_{ef,p}$ y $A_{ef,a}$. Ensayos ARBOL 1 (continuación).

2) Bloque de ensayos ARBOL 2.

Como variables independientes tenemos: diámetro del tronco del árbol (Árbol = 1 ó G, 2 ó T), revoluciones del motor del tractor ($RPM_m = 1600, 1900, 2200$) y altura de agarre de la pinza en el tronco ($Hag = 0.4, 0.7, 1$ m).

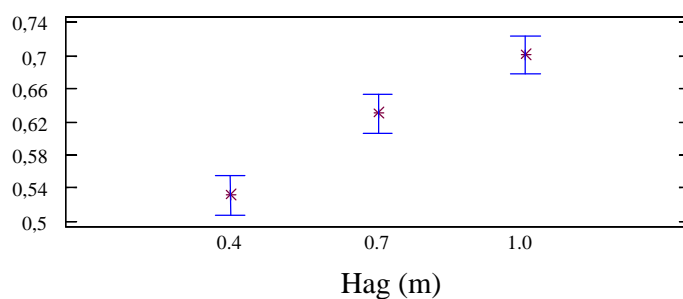
El análisis para E_m (Tabla 38) determina que sólo la Hag tiene efecto estadísticamente significativo. Realizando la prueba LSD de Fisher (Tabla 39) vemos que entre las medias hay diferencias estadísticamente significativas, obteniéndose mayores valores de E_m conforme se aumente la Hag (Figura 61).

Tabla 38. Tabla ANOVA multifactorial para Em. Ensayos ÁRBOL 2.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Árbol	0.0284803	1	0.0284803	3.55	0.0631
B: Hag	0.411717	2	0.205858	25.69	0.0000
C: RPMm	0.0290362	2	0.0145181	1.81	0.1701
RESIDUOS	0.624911	78			
TOTAL (corregido)	1.10242	83	0.00801167		

Tabla 39. Contraste de rango múltiple para Em en función de la altura de agarre (Hagarre). Prueba LSD de Fisher. Ensayos ÁRBOL 2.

Método: 95.0 % LSD		
Hag	Valor medio observado	Grupos homogéneos
4.0	0.531402	X
0.7	0.630138	X
1.0	0.701398	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
0.4-0.7	*-0.098736	0.0484991
0.4-1.0	*-0.169996	0.0472711
0.7-1.0	*-0.0712598	0.0472711

**Figura 61. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de la Em en función de la altura de agarre de la pinza en el árbol. Ensayos ÁRBOL 2.**

El análisis para Aef,p (Tabla 40) muestra que las variables Árbol y RPMm tienen efecto estadísticamente significativo. El contraste de Rango Múltiple arroja diferencias estadísticamente significativas entre las medias de todos los pares que pueden establecerse con dichas variables (Tabla 41 y Figura 62).

Tabla 40. Tabla ANOVA multifactorial para Aef,p. Ensayos ÁRBOL 2.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Árbol	1729.75	1	1729.75	13.96	0.0004
B: Hag	503.298	2	251.649	2.03	0.1382
C: RPMm	52437.5	2	26218.7	211.54	0.0000
RESIDUOS	9667.68	78	123.945		
TOTAL (corregido)	64376.1	83			

Tabla 41. Contraste de rango múltiple para Aef,p. Prueba LSD de Fisher. Ensayos ÁRBOL 2.

Prueba LSD de Fisher para Aef,p. Contraste de Árbol.		
Método: 95.0 % LSD		
Árbol	Valor medio observado	Grupos homogéneos
1	101.313	X
2	110.492	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
1-2	*-9.17828	4.88675

Prueba LSD de Fisher para Aef,p. Contraste de RPMm.		
Método: 95.0 % LSD		
RPMm	Valor medio observado	Grupos homogéneos
1600	75.7857	X
1900	104.957	X
2200	136.965	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
1600-1900	*-29.1716	5.92364
1600-2200	*-61.1789	5.92364
1900-2200	*-32.0072	5.92364

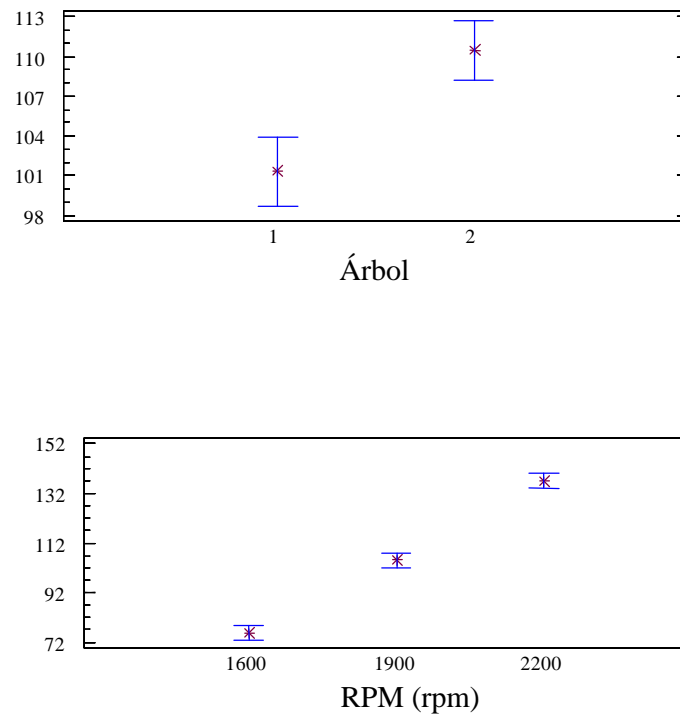


Figura 62. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de la Aef,p. Ensayos ÁRBOL 2.

Considerando la variable independiente Aef,a , todos los factores estudiados tienen efectos estadísticamente significativos (Tabla 42).

Tabla 42. Tabla ANOVA multifactorial para Aef,a. Ensayos ÁRBOL 2.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Árbol	1501.87	1	1501.87	7.45	0.0078
B: Hag	6058.1	2	3029.05	15.02	0.0000
C: RPMm	28081.4	2	14040.7	69.63	0.0000
RESIDUOS	15727.5	78	201.635		
TOTAL (corregido)	51578.0	83			

Tabla 43. Contraste de rango múltiple para Aef,a. Prueba LSD de Fisher. Ensayos ÁRBOL 2.

Prueba LSD de Fisher para Aef,a. Contraste de Árbol.		
Método: 95.0 % LSD		
Árbol	Valor medio observado	Grupos homogéneos
1	62.4359	X
2	70.9882	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
1-2	*-8.55238	6.23289

Prueba LSD de Fisher para Aef,a. Contraste de Hag.		
Método: 95.0 % LSD		
Hag	Valor medio observado	Grupos homogéneos
0.4	55.387	X
0.7	68.9544	X
1.0	75.7948	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
0.4-0.7	*-13.5674	7.69404
0.4-1.0	*-20.4078	7.49922
0.7-1.0	*-6.84043	7.49922

Prueba LSD de Fisher para Aef,a. Contraste de RPMm.		
Método: 95.0 % LSD		
RPMm	Valor medio observado	Grupos homogéneos
1600	45.5583	X
1900	64.411	X
2200	90.1669	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
1600-1900	*-18.8527	7.5554
1600-2200	*-44.6086	7.5554
1900-2200	*-25.7559	7.5554

El Contraste de Rango Múltiple para cada uno se muestra en la Tabla 43 y los Gráficos de Medias en la Figura 63. Se aprecia que un aumento de la variables Hag y RPMm, supone un aumento de Aef,a. El diámetro del tronco influye de forma contraria.

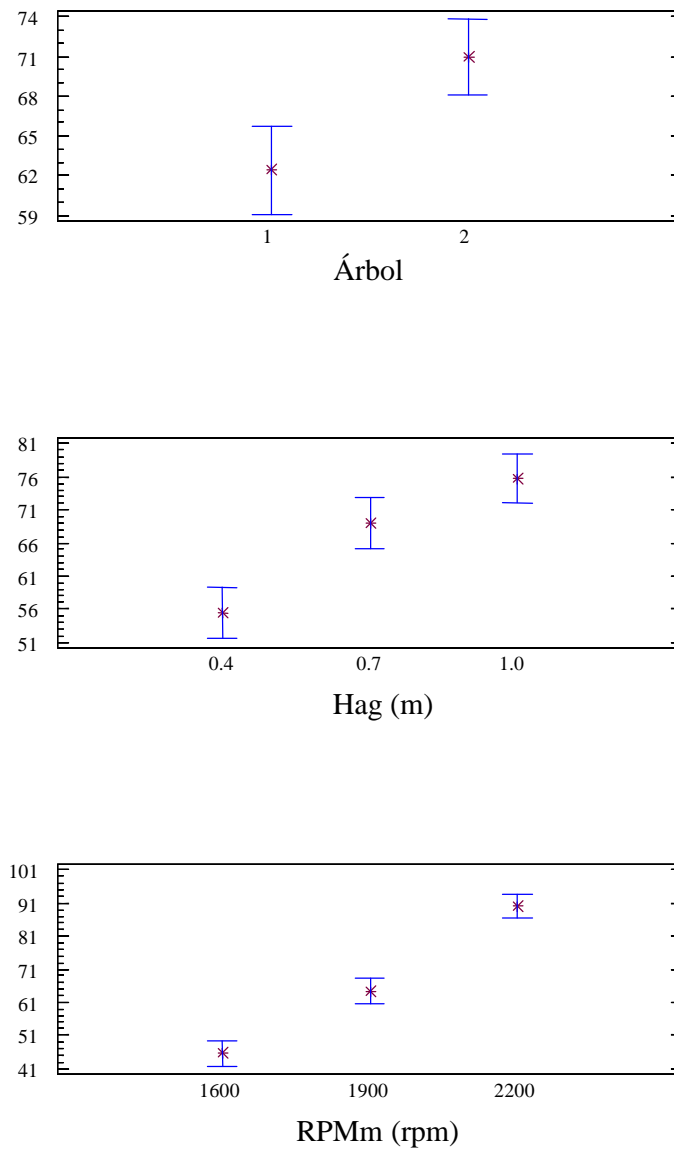


Figura 63. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de la $A_{ef,a}$. Ensayos ÁRBOL 2.

De los resultados obtenidos en los árboles, podemos destacar que en los dos bloques de ensayos (ÁRBOL1 y ÁRBOL2) se siguen las mismas tendencias. Una mayor altura de agarre supone un incremento en la aceleración eficaz del árbol ($A_{ef,a}$) y en la

eficacia de la transmisión de la vibración (Em). Las revoluciones del motor del tractor (RPMm) y el diámetro del tronco del árbol (Árbol) sólo influyen sobre las aceleraciones eficaces en cabeza vibradora (Aef,p) y árbol, siendo su efecto el contrario, esto es, aumentando las aceleraciones con las revoluciones y disminuyendo con el diámetro.

2.2.1.2.2. Ensayos en poste.

1) Poste normalizado según ISO/TC 23/SC.

El Análisis de la Varianza multifactorial para cada variable independiente se muestra en la Tabla 44.

Tabla 44. Tabla ANOVA multifactorial para Em, Aef,p y Aef,a. Ensayos en poste normalizado.

Análisis de la Varianza para Em					
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Hag	5.9239	2	2.96195	214.70	0.0000
B: RPMm	0.093553	3	0.0311843	2.26	0.1162
RESIDUOS	0.248323	18	0.0137957		
TOTAL (corregido)	6.26577	23			

Análisis de la Varianza para Aef,p					
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Hag	16147.0	2	8073.48	34.31	0.0000
B: RPMm	10537.8	3	3512.61	14.93	0.0000
RESIDUOS	4235.91	18	235.328		
TOTAL (corregido)	30920.7	23			

Análisis de la Varianza para Aef,a					
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Hag	53428.7	2	26714.3	269.09	0.0000
B: RPMm	2812.45	3	937.485	9.44	0.0006
RESIDUOS	1787.01	18	99.2782		
TOTAL (corregido)	58028.1	23			

La variable altura de agarre (Hag), tiene efecto estadísticamente significativo sobre Em, Aef,p y Aef,a ,mientras que revoluciones del motor del tractor (RPMm) sólo no tiene efecto sobre Em.

En la Tabla 45 y en la Figura 64, se resume la influencia de las variables con efecto sobre la variable independiente considerada.

Tabla 45. Contraste de rango múltiple para Em, Aef,p y Aef,a. Prueba LSD de Fisher. Ensayos en poste normalizado.

Prueba LSD de Fisher para Em. Contraste de Hag.		
Método: 95.0 % LSD		
Hag	Valor medio observado	Grupos homogéneos
0.6	0.60782	X
0.8	0.825725	X
1.0	1.75365	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
0.6-0.8	*-0.217905	0.123382
0.6-1.0	*-1.14583	0.123382
0.8-1.0	*-0.927927	0.123382

Prueba LSD de Fisher para Aef,p. Contraste de Hag.		
Método: 95.0 % LSD		
Hag	Valor medio observado	Grupos homogéneos
1.0	120.279	X
0.6	158.003	X
0.8	183.416	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
0.6-0.8	*-25.4124	16.1145
0.6-1.0	*37.7241	16.1145
0.8-1.0	*63.1365	16.1145

Prueba LSD de Fisher para Aef,p. Contraste de RPMm.		
Método: 95.0 % LSD		
RPMm	Valor medio observado	Grupos homogéneos
1600	119.033	X
1800	156.311	X
2000	168.105	X
2200	172.148	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
1600-1800	*-37.2784	18.6075
1600-2000	*-49.0719	18.6075
1600-2200	*-53.1153	18.6075
1800-2000	-11.7935	18.6075
1800-2200	-15.8369	18.6075
2000-2200	-4.04335	18.6075

Tabla 45. Contraste de rango múltiple para Em, Aef,p y Aef,a. Prueba LSD de Fisher. Ensayos en poste normalizado (continuación).

Prueba LSD de Fisher para Aef,a. Contraste de Hag.		
Método: 95.0 % LSD		
Hag	Valor medio observado	Grupos homogéneos
0.6	96.0292	X
0.8	144.338	X
1.0	211.11	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
0.6-0.8	*-48.3089	10.4667
0.6-1.0	*-115.081	10.4667
0.8-1.0	*-66.7717	10.4667

Prueba LSD de Fisher para Aef,a. Contraste de RPMm.		
Método: 95.0 % LSD		
RPMm	Valor medio observado	Grupos homogéneos
1600	134.902	X
1800	148.3	X
2000	153.78	XX
2200	164.986	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
1600-1800	*-13.3979	12.0858
1600-2000	*-18.8778	12.0858
1600-2200	*-30.0841	12.0858
1800-2000	-5.47989	12.0858
1800-2200	*-16.6862	12.0858
2000-2200	-11.2063	12.0858

En todos los casos, el aumento de la variable independiente determina una tendencia similar en la dependiente, salvo en Aef,p afectada por la altura de agarre (Hag), en la que se detecta una inflexión a 0.8 m. Los contrastes de rango múltiple reflejan diferencias estadísticamente significativas en todos los pares de muestras que pueden establecerse con la variable Hag, no siendo así para RPMm donde se observa que las diferencias quedan marcadas únicamente en los extremos del intervalo (1600 y 2200 rpm).

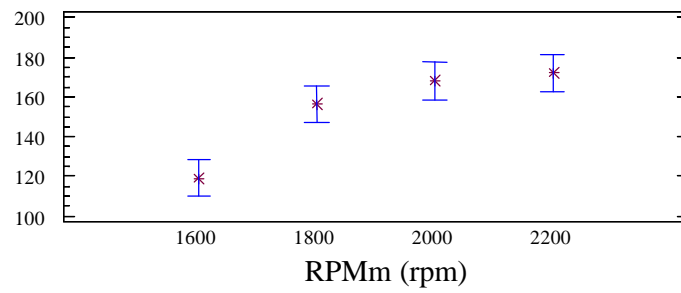
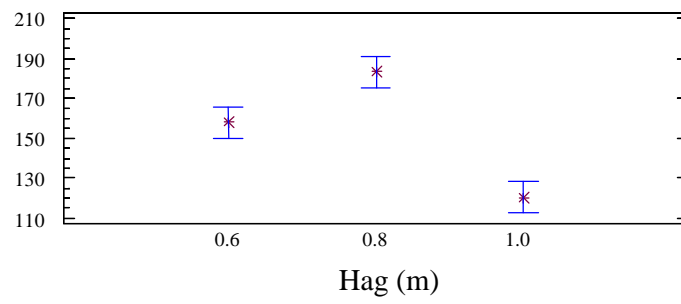
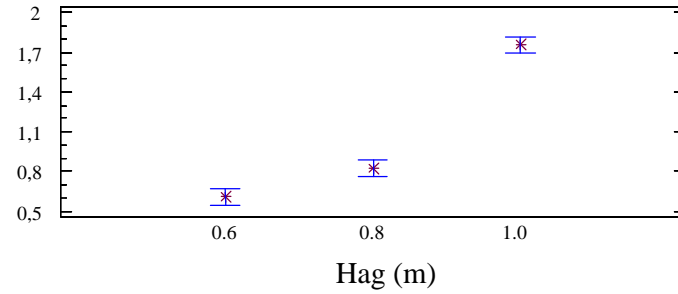


Figura 64. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de E_m , $A_{ef,p}$ y $A_{ef,a}$. Ensayos en poste normalizado.

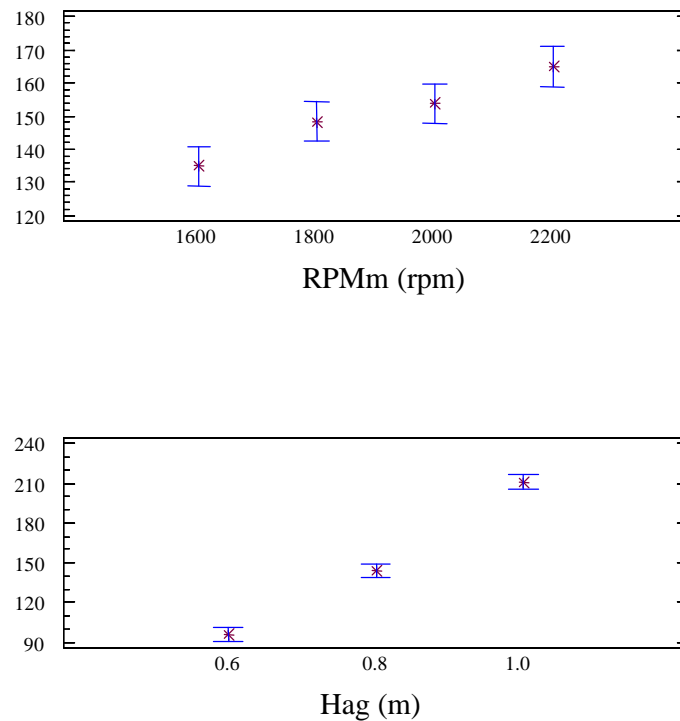


Figura 64. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de E_m , $A_{ef,p}$ y $A_{ef,a}$. Ensayos en poste normalizado (continuación).

2) Nueva propuesta de poste móvil.

En este caso, consideramos dos nuevas variables independientes:

- Eficacia de la transmisión de la vibración cabeza vibradora (c.d.g.) – cabeza vibradora (punto posterior) (E_m t-p)
- Aceleración eficaz de la cabeza vibradora en un punto situado en la parte posterior ($A_{ef,t}$)

El Análisis de la Varianza multifactorial para cada variable independiente se muestra en la Tabla 46.

Tabla 46. Tabla ANOVA multifactorial para Em, Aef,p , Aef,a , Em t-p y Aef,t. Ensayos en poste móvil.

Análisis de la Varianza para Em					
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Hag	0.0625929	1	0.0625929	1.96	0.1814
B: RPMm	0.00432802	2	0.00216401	0.07	0.9346
RESIDUOS	0.478011	15	0.0318674		
TOTAL (corregido)	0.54751	18			

Análisis de la Varianza para Aef,p					
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Hag	2364.6	1	2364.6	2.87	0.1015
B: RPMm	998.527	2	499.263	0.61	0.5523
RESIDUOS	22212.2	27	822.675		
TOTAL (corregido)	25215.9	30			

Análisis de la Varianza para Aef,a					
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Hag	3493.69	1	3493.69	2.78	0.1164
B: RPMm	507.099	2	253.549	0.20	0.8196
RESIDUOS	18870.8	15	1258.05		
TOTAL (corregido)	23010.5	18			

Análisis de la Varianza para Em p-t					
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Hag	0.032804	1	0.032804	0.71	0.4084
B: RPMm	0.0102087	2	0.00510435	0.11	0.8961
RESIDUOS	1.1119	24	0.0463293		
TOTAL (corregido)	1.16431	27			

Análisis de la Varianza para Aef,t					
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Hag	13265.9	1	13265.9	17.55	0.0003
B: RPMm	3464.46	2	1732.23	2.29	0.1219
RESIDUOS	18894.8	25	755.792		
TOTAL (corregido)	36771.9	28			

Sólo se detecta efecto estadísticamente significativo de la variable altura de agarre (Hag) sobre Aef,t . En la Tabla 47 y Figura 65, se refleja su tendencia a incrementar el valor de la variable dependiente.

Tabla 47. Contraste de rango múltiple para Aef,t. Prueba LSD de Fisher. Ensayos en poste móvil.

Método: 95.0 % LSD		
Hag	Valor medio observado	Grupos homogéneos
0.4	193.766	X
0.8	241.056	X
Contraste	Diferencia	+/- Límites
0.4-0.8	*-47.2905	22.7266

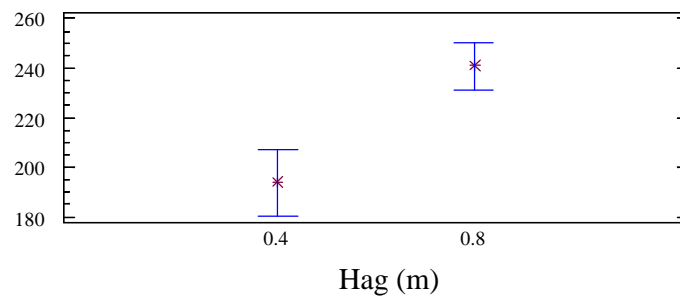


Figura 65. Intervalos de confianza al 95% para los valores medios de Aef,t. Ensayos en poste móvil.

El estudio de la influencia de las variables consideradas sobre las aceleraciones eficaces en la cabeza vibradora y en el poste, muestra resultados diferentes en ambos postes. El poste normalizado tiene un comportamiento más acorde a las tendencias que presentan los árboles ensayados. En este sentido, se detecta una influencia similar de la altura de agarre (Hag) tanto en la eficacia de la transmisión de la vibración (Em) como en la aceleración eficaz en el árbol o poste (Aef,a), y de las revoluciones del motor del tractor (RPMm) en las aceleraciones en el árbol o poste y en la cabeza vibradora (Aef,p).

En el poste móvil no se detecta efecto estadísticamente significativo de las variables estudiadas, salvo en el caso de la altura de agarre (Hag) sobre la aceleración eficaz en la parte trasera de la pinza. El comportamiento distinto de ambos postes en lo que respecta a las aceleraciones, se debe a que presentan diferencias constructivas, fundamentalmente en su base, como ya se comentó en el apartado 4.1.3.2.; el poste móvil está apoyado sobre muelles, mientras que el normalizado está embutido en una zapata de hormigón.

3. ENSAYO DE MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS VIBRATORIAS.

3.1. RESULTADOS.

3.1.1. Parámetros de estudio. Comportamiento del sistema pinza-árbol (vibración).

Vamos a distinguir entre las dos fases del ensayo.

3.1.1.1. Primera fase.

Se obtienen los siguientes resultados:

- 1) Circuito hidráulico.
Los datos fundamentales son las potencias en el circuito hidráulico. El resto se presentan para verificar la similitud entre los ensayos de una misma combinación en diferentes pies (Tabla 48).
- 2) Aceleraciones longitudinal y transversal en pinza y árbol (Tabla 49).
- 3) Fuerza de Retención del fruto (Tabla 50).
- 4) Porcentaje de Derribo (Tabla 50).

ENSAYOS MODIFICACIÓN CARACTERÍSTICAS VIBRATORIAS. Primera fase (I)

FICHERO	Comb.	Qsb	Qsbd	Psb	Qm	Pm	RPMtdf	Mtdf	RPMmh	Pap	Ntdf	Nb	Nm
P9C93	C9	134.07	-	145.49	132.30	137.44	899.39	434.69	1467.4	181.14	40.92	31.83	29.65
P9C94		133.96	-	112.34	131.53	106.04	900.48	327.68	1460.42	171.73	30.85	24.55	22.75
P9C95		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P9C96		132.82	-	119.75	131.99	112.18	897.19	368.73	1456.31	171.54	34.6	25.95	24.15
P9C51	C5	134.34	132.71	131.61	131.42	122.33	895.21	405.09	1466.23	178.65	37.95	28.86	26.24
P9C52		133.23	131.50	117.91	130.29	108.56	889.91	367.32	1450.16	173.66	34.24	25.64	23.08
P9C53		133.69	132.09	125.47	131.83	114.97	892.93	385.97	1455.9	175.34	36.1	27.37	24.72
P9C54		126.21	124.80	115.45	124.28	107.61	852.73	354.91	1372.23	170.94	31.65	23.77	21.8
P9C55		133.42	132.68	124.70	132.10	114.63	896.68	385.47	1455.98	174.8	36.18	27.15	24.7
P9C81	C8	131.32	135.49	124.25	134.41	112.42	891.62	386.31	1510.17	159.26	36.02	26.63	24.65
P9C82		132.68	135.04	118.00	134.82	106.71	897.33	366.63	1509.98	158.92	34.47	25.55	23.47
P9C83		133.03	134.46	122.18	133.49	110.12	896.88	372.88	1490.74	167.91	34.99	26.53	23.99
P9C84		135.06	135.54	117.94	134.30	106.12	903.49	359.09	1495.04	169.01	34	25.99	23.24
P9C85		134.47	134.35	126.50	133.52	114.84	902.36	382.24	1484.98	164.19	36.08	27.76	25.02
P9C86		134.49	133.67	126.97	132.78	116.37	899.15	380.29	1471.61	165.93	35.83	27.87	25.21
P9C41	C4	134.55	134.01	132.25	133.55	122.19	902.15	395.82	1439.72	172.35	37.36	29.04	26.62
P9C42		132.70	132.15	138.93	130.81	128.76	889.35	411.12	1425.21	176.07	38.29	30.09	27.47
P9C43		133.27	132.50	124.17	132.17	113.77	895.84	370.18	1443.18	167.85	34.69	27.01	24.53
P9C44		134.15	133.79	130.23	133.12	120.73	900.92	390.29	1450.71	165.62	36.78	28.51	26.22
P9C45		132.27	132.14	130.88	131.88	121.13	887.71	390.74	1440.79	167.98	36.3	28.25	26.07

Caudales (Qsb, Qsbd, Qm): l/min

Presiones (Psb, Pm, Pap): bar

Velocidades de giro (RPMtdf, RPMmh): rpm

Par (Mtdf): N· m

Potencias (Ntdf, Nb, Nm): kW

Tabla 48. Ensayos de modificación de las características vibratorias. Primera fase. Valores de los parámetros de estudio en el circuito.

ENSAYOS MODIFICACIÓN CARACTERÍSTICAS VIBRATORIAS. Primera fase (II)

FICHERO	Comb.	Qsb	Qsbd	Psb	Qm	Pm	RPMtdf	Mtdf	RPMmh	Pap	Ntdf	Nb	Nm
P9C71	C7	134.85	141.91	136.54	137.61	124.61	906.75	425.28	1464.63	161.43	40.37	30.05	27.97
P9C72		132.68	137.19	123.57	134.02	112.14	892.29	384.93	1470.62	159.09	36	26.75	24.52
P9C73		135.23	137.60	89.97	135.53	78.79	904.86	290.87	1478.18	148	27.53	19.84	17.41
P9C74		134.38	136.17	101.80	135.21	90.95	898.99	321.29	1480.19	149.05	30.22	22.31	20.06
P9C75		133.93	135.97	106.29	134.49	95.60	903.42	332.41	1468.76	152.57	31.41	23.22	20.97
P9C76		135.39	136.67	123.11	134.82	111.52	907.31	376.66	1465.99	164.69	35.8	27.2	24.53
P10C11	C1	138.32	138.04	136.79	135.18	125.32	922.9	408.24	1499.37	175.42	39.44	30.88	27.65
P10C12		133.96	133.34	141.66	131.86	130.71	895.94	419.52	1460.69	177.25	39.38	30.98	28.12
P10C13		133.18	132.15	139.27	130.78	127.74	892.55	411.84	1443.42	178.35	38.46	30.28	27.27
P10C14		133.90	133.71	133.02	132.60	123.07	900.65	395.36	1461.87	178.98	37.24	29.07	26.63
P10C15		133.39	133.08	144.44	131.19	133.19	896.89	424.86	1445.35	181.64	39.9	31.45	28.52
P10C21	C2	130.29	137.15	145.36	132.07	134.44	878.22	441.38	1480.39	166.79	40.65	30.91	28.97
P10C22		129.95	133.96	151.07	130.85	139.78	880.76	455.43	1460.21	172.83	42.06	32.05	29.85
P10C23		129.42	131.50	152.82	129.61	141.53	881.26	454.88	1449.41	172.97	42	32.28	29.94
P10C24		131.10	132.78	148.67	130.05	137.62	887.91	443.15	1451.2	175.44	41.15	31.81	29.21
P10C25		132.66	133.13	120.87	131.62	111.68	889.76	367.70	1459.79	165.88	34.29	26.16	23.98
P10C26		134.28	133.86	124.24	132.23	114.19	896.61	374.67	1465.3	170.65	35.15	27.22	24.62
P10C31	C3	134.84	134.23	135.15	131.16	126.53	892	401.37	1457.51	179.92	37.45	29.74	27.07
P10C32		133.11	131.59	109.56	130.24	101.76	887.55	329.65	1441.79	167.69	30.59	23.79	21.62
P10C33		136.12	133.84	113.31	132.62	103.73	906.88	338.17	1463.22	168.96	32.09	25.16	22.42
P10C34		131.34	129.41	148.60	128.21	140.16	881.79	431.47	1411.43	179.63	39.9	31.86	29.33
P10C35		131.28	130.85	162.47	127.95	154.40	886.79	471.68	1399.64	185.05	43.77	34.82	32.25
P10C36		135.42	135.03	132.50	132.20	127.01	911	388.03	1450.6	177.56	36.97	29.28	27.4

Tabla 48. Ensayos de modificación de las características vibratorias. Primera fase. Valores de los parámetros de estudio en el circuito (continuación).

ENSAYOS MODIFICACIÓN CARACTERÍSTICAS VIBRATORIAS. Primera fase (I)

FICHERO	Comb.	ACELERACIONES (m/s ² valor eficaz)				FRECUENCIAS (Hz)				Aef,a	Aef,p	Em
		Xp	Yp	Xa	Ya	Xp	Yp	Xa	Ya			
P9C93	C9	94.577	60.289	25.278	52.171	22.827	22.827	22.827	22.827	57.972	112.159	0.517
P9C94		110.21	72.295	65.817	77.094	22.705	22.705	22.705	22.705	101.367	131.806	0.769
P9C95		89.671	56.961	53.962	98.651	23.56	23.682	23.56	23.56	112.445	106.233	1.058
P9C96		87.94	66.306	89.768	77.801	22.705	22.705	22.705	22.705	118.791	110.136	1.079
P9C51	C5	90.447	61.609	41.136	92.043	22.827	22.827	22.827	22.827	100.817	109.436	0.921
P9C52		88.194	54.067	36.459	72.713	22.583	22.583	22.583	22.583	81.341	103.448	0.786
P9C53		83.322	71.409	103.35	76.406	22.705	21.24	22.705	22.705	128.527	109.735	1.171
P9C54		71.169	51.98	110.37	52.593	21.362	21.362	21.362	21.362	122.260	88.130	1.387
P9C55		85.881	63.888	89.658	85.837	22.705	22.705	22.705	22.705	124.123	107.038	1.160
P9C81	C8	72.736	62.745	100.2	95.181	23.56	23.56	23.56	23.56	138.201	96.060	1.439
P9C82		80.136	65.416	44.985	99.339	23.56	23.56	23.56	23.56	109.050	103.446	1.054
P9C83		74.3	58.879	73.907	89.007	23.193	23.193	23.193	23.193	115.691	94.801	1.220
P9C84		77.369	54.31	93.119	99.39	23.315	23.315	23.315	23.315	136.197	94.528	1.441
P9C85		79.708	53.783	53.994	73.743	23.193	23.193	23.193	23.193	91.397	96.156	0.951
P9C86		85.151	60.213	63.553	73.681	22.949	22.949	22.949	22.949	97.303	104.289	0.933
P9C41	C4	83.393	69.932	94.254	65.822	22.705	22.705	22.705	22.705	114.962	108.834	1.056
P9C42		78.657	53.22	50.927	61.422	21.851	20.508	21.857	21.857	79.789	94.970	0.840
P9C43		87.542	59.011	53.015	79.812	22.461	22.461	20.874	22.461	95.815	105.574	0.908
P9C44		86.264	63.147	71.295	55.589	22.583	22.583	22.583	22.583	90.405	106.907	0.846
P9C45		82.808	62.324	37.816	78.309	22.339	22.339	22.339	22.339	86.962	103.641	0.839

Aceleraciones Aef,a , Aef,p : m/s² valor eficaz.

Eficacia de la transmisión de la vibración (Em): tanto por uno.

Tabla 49. Ensayos de modificación de características vibratorias. Primera fase. Aceleraciones, frecuencias y eficacia de la transmisión de la vibración.

ENSAYOS MODIFICACIÓN CARACTERÍSTICAS VIBRATORIAS. Primera fase (II)

FICHERO	Comb.	ACELERACIONES (m/s ² valor eficaz)				FRECUENCIAS (Hz)				Aef,a	Aef,p	Em
		Xp	Yp	Xa	Ya	Xp	Yp	Xa	Ya			
P9C71	C7	100.86	121.92	101.76	67.785	23.682	23.682	23.682	23.682	122.270	158.232	0.773
P9C72		92.854	109	62.762	76.062	23.193	23.193	23.193	23.193	98.613	143.188	0.689
P9C73		68.533	77.181	99.116	85.247	23.682	23.682	23.682	23.682	130.733	103.217	1.267
P9C74		96.956	111.87	56.21	94.651	23.56	23.56	23.56	23.56	110.083	148.038	0.744
P9C75		93.123	105.6	111.54	74.766	23.438	23.438	23.438	23.438	134.280	140.795	0.954
P9C76		94.348	78.082	62	70.984	23.315	23.315	23.315	23.315	94.248	122.468	0.770
P10C11	C1	99.626	93.756	91.268	115.5	23.438	21.606	21.606	23.438	147.208	136.805	1.076
P10C12		122.73	121.48	93.126	71.714	20.996	20.996	20.996	20.996	117.539	172.685	0.681
P10C13		112.93	98.249	27.414	65.541	22.583	20.752	20.752	22.583	71.043	149.687	0.475
P10C14		113.62	117.69	57.296	84.366	22.827	22.827	22.827	22.827	101.983	163.586	0.623
P10C15		115.77	106.84	64.118	67.64	22.583	20.752	22.583	22.583	93.200	157.536	0.592
P10C21	C2	83.278	86.415	73.694	68.707	23.071	21.606	21.606	23.071	100.754	120.012	0.840
P10C22		101.01	94.171	50.643	66.21	22.705	21.24	22.705	21.24	83.358	138.099	0.604
P10C23		99.422	95.551	88.812	88.46	22.583	21.118	22.583	21.118	125.350	137.894	0.909
P10C24		92.729	75.202	58.081	79.591	22.705	21.24	21.24	22.705	98.530	119.390	0.825
P10C25		100.25	83.491	63.534	79.985	22.827	21.362	21.362	22.827	102.148	130.464	0.783
P10C26		86.166	81.391	103.69	91.528	22.949	21.362	21.362	22.949	138.308	118.529	1.167
P10C31	C3	107.36	91.855	69.573	76.65	22.705	22.705	22.705	22.705	103.516	141.292	0.733
P10C32		94.138	90.357	75.036	85.71	21.362	21.362	21.362	21.362	113.915	130.485	0.873
P10C33		86.144	89.419	99.922	74.938	21.729	21.729	21.729	21.729	124.900	124.163	1.006
P10C34		107.08	106.6	70.879	57.833	20.874	20.874	20.874	22.095	91.479	151.095	0.605
P10C35		111.3	101.89	43.708	64.894	21.851	20.752	20.752	20.752	78.241	150.895	0.519
P10C36		92.245	75.584	76.878	70.357	22.705	21.484	21.484	22.705	104.213	119.256	0.874

Tabla 49. Ensayos de modificación de características vibratorias. Primera fase. Aceleraciones, frecuencias y eficacia de transmisión de la vibración (continuación).

Tabla 50. Ensayos de modificación de características vibratorias. Primera fase. Fuerza de retención del fruto (antes de la vibración , FRa, y después, FRd) y porcentaje de derribo (PD).

Combinación	Árbol	Pie	FRa (cN)	FRd (cN)	PD (%)
C1	1	1	286.19	240.00	92.65
		2	261.19	270.28	
		3	300.48	320.00	
	2	1	263.48	301.09	85.92
		2	274.81	265.24	
C2	1	1	286.85	322.69	92.37
		2	301.09	275.75	
	2	1	298.91	239.52	94.38
		2	263.50	260.91	
		3	294.50	260.45	
		4	321.00	239.09	
C3	1	1	266.79	251.50	94.31
		2	246.15	283.50	
		3	245.22	293.00	
		4	231.85	320.00	
	2	1	261.25	270.50	94.27
		2	274.00	272.00	
C4	1	1	253.86	302.27	90.95
		2	282.86	283.57	
		3	287.62	290.94	
	2	1	289.25	309.55	89.39
		2	283.81	269.79	
C5	1	1	272.95	324.50	90.02
		2	281.19	340.53	
		3	284.50	264.06	
		4	233.00	275.00	
	2	1	247.20	281.25	85.23
C7	1	1	251.43	296.50	85.78
		2	252.38	270.00	
		3	241.90	316.00	
		4	247.14	302.39	
	2	1	265.95	321.90	82.39
		2	290.00	315.48	
C8	1	1	314.76	276.67	91.04
		2	288.10	346.67	
		3	263.10	327.62	
		4	271.67	252.62	
	2	1	280.48	295.95	91.60
		2	290.95	296.43	
C9	1	1	229.00	238.00	79.17
		2	247.25	300.00	
		3	290.45	279.55	
	2	1	303.18	263.75	80.88
		2	328.10	336.25	

3.1.1.2. Segunda fase.

Se obtienen los siguientes resultados:

- 1) Circuito hidráulico (Tabla 51).
- 2) Aceleraciones longitudinal y transversal en pinza y árbol (Tabla 52).
- 3) Fuerza de Retención del fruto (Tabla 53).
- 4) Porcentaje de Derribo (Tabla 53)

ENSAYOS MODIFICACIÓN CARACTERÍSTICAS VIBRATORIAS. Segunda fase.

FICHERO	COMB.	Qsb	Psb	Qm	Pm	RPMtdf	Mtdf	RPMmh	Pap	Ntdf	Nb	Nm
P14C311	Nueva	122.695	144.257	115.144	137.033	880.56	479.67	1107.8	153.17	49.456	28.921	25.754
P14C312		130.246	120.792	115.836	114.547	893.07	415.987	1092.3	133.15	38.936	25.718	21.684
P14C321		124.161	119.224	110.371	113.728	892.85	407.131	1027.9	134.75	38.131	24.193	20.5
P14C322		127.831	111.123	114.285	105.867	897.93	385.194	1071.3	126.26	36.202	23.223	19.777
P14C331		126.436	105.039	111.881	100.148	896.59	369.449	1040.7	123.5	34.685	21.71	18.3
P14C341		128.431	124.103	124.263	117.795	896.62	425.106	1178.3	138.13	39.92	26.04	23.9
P15O51	Orbital	127.787	120.871	123.916	114.155	886.79	414.411	-	135.5	38.487	25.25	23.13
P15O52		124.71	157.908	129.752	149.56	892.98	518.724	-	161.75	48.496	32.2	31.73
P15O61		124.962	186.492	111.54	177.962	892.22	602.498	-	178.81	56.295	38.1	32.45
P15O62		127.344	166.95	129.29	158.905	895.51	547.327	-	166.06	51.305	34.76	33.59
P15O53		126.026	167.483	117.015	160.286	899.65	549.268	-	164.94	51.75	34.51	30.67
P15O71		127.299	164.683	115.366	157.764	899.10	540.79	-	163.86	50.917	34.28	29.76
P15O72		127.354	144.415	112.319	138.292	899.41	479.792	-	149.87	45.190	30.07	25.4
P16C381	C3	128.341	129.638	130.821	123.453	899.10	439.614	1120.66	145.19	41.391	27.2	26.41
P16C391		127.3	107.387	129.456	101.957	901.20	378.235	1102.96	129.68	35.696	22.36	21.58
P16C3101		128.61	117.323	130.289	110.614	899.54	387.415	1120.31	138.36	36.494	24.67	23.56
P16C3111		127.167	80.9037	108.186	77.5127	899.57	301.433	844.52	112.01	28.398	16.82	13.71
P16C8121	C8	128.347	94.3565	133.308	88.6593	892.46	339.859	1147.86	117.47	31.764	19.8	19.32
P16C8122		127.869	102.831	129.902	96.6494	895.32	364.209	1108.22	123.42	34.147	21.5	20.53
P16C8131		129.33	93.0297	135.154	87.1109	895.43	338.183	1166.82	117.19	31.711	19.67	19.25
P16C8141		128.288	87.8121	122.216	82.5602	894.92	321.174	1016.28	126.75	30.1	18.41	16.5
P16C8151		128.439	82.7048	122.716	77.7274	895.52	307.571	1022.28	117.82	28.845	17.37	15.59
P16C8152		126.579	104.525	132.416	98.2639	893.39	366.648	1135.2	124.8	34.303	21.63	21.27

Caudales (Qsb, Qm): l/min
 Presiones (Psb, Pm, Pap): bar
 Velocidades de giro (RPMtdf, RRPMmh): rpm
 Par (Mtdf): N· m
 Potencias (Ntdf, Nb, Nm): kW

Tabla 51. Ensayos de modificación de características vibratorias. Segunda fase. Valores de los parámetros de estudio en el circuito.

ENSAYOS MODIFICACIÓN CARACTERÍSTICAS VIBRATORIAS. Segunda fase.

FICHERO	ACELERACIONES (m/s ² valor eficaz)				FRECUENCIAS (Hz)				Aef,a	Aef,p	Em
	Xp	Yp	Xa	Ya	Xp	Yp	Xa	Ya			
P14C311	54.87	58.246	79.992	51.241	17.944	18.799	17.944	17.944	95.00	80.02	1.19
P14C312	53.076	55.46	66.772	55.958	17.71	18.555	17.7	18.555	87.12	76.77	1.13
P14C321	49.784	51.497	65.993	47.102	16.724	17.578	16.724	16.724	81.08	71.63	1.13
P14C322	59.175	55.971	58.036	53.569	17.334	17.334	17.334	18.188	78.98	81.45	0.97
P14C331	51.584	50.132	72.53	54.413	16.968	17.7	16.968	16.968	90.67	71.93	1.26
P14C341	60.502	63.055	104	71.422	18.921	19.715	18.921	19.775	126.16	87.39	1.44
P15051	74.362	85.054	106.44	95.141	18.677	18.677	18.677	18.677	142.76	112.98	1.26
P15052	91.642	93.938	138.07	100.84	19.409	19.409	19.409	19.409	170.97	131.23	1.30
P15061	70.857	79.896	65.334	42.048	15.991	15.991	15.991	15.991	77.70	106.79	0.73
P15062	-	88.064	100.77	98.926	-	19.043	19.043	19.043	-	88.06	-
P15053	79.705	72.742	66.447	62.809	16.968	16.968	16.968	16.968	91.43	107.91	0.85
P15071	74.511	66.49	107.68	65.123	16.846	16.846	16.846	16.846	125.84	99.86	1.26
P15072	70.468	87.554	121.5	79.166	17.456	17.456	17.456	17.456	145.02	112.39	1.29
P16C381	91.688	83.295	78.938	77.367	21.851	21.851	21.851	21.851	110.53	123.87	0.89
P16C391	78.656	65.683	79.752	83.325	20.508	20.508	20.508	20.508	115.34	102.47	1.13
P16C3101	80.65	76.712	85.504	89.559	20.752	20.752	21.973	21.973	123.82	111.31	1.11
P16C3111	50.158	50.897	63.601	51.634	16.846	16.846	17.822	16.846	81.92	71.46	1.15
P16C8121	66.767	51.966	98.125	61.262	22.583	22.583	22.583	22.583	115.68	84.61	1.37
P16C8122	66.771	50.469	110.87	62.7	21.973	21.973	21.973	21.973	127.37	83.70	1.52
P16C8131	69.189	60.501	47.27	70.844	22.827	22.827	22.827	22.827	85.17	91.91	0.93
P16C8141	52.365	49.879	52.511	61.455	20.508	20.508	20.508	20.508	80.83	72.32	1.12
P16C8151	49.873	48.848	74.474	61.57	20.63	20.63	20.63	20.63	96.63	69.81	1.38
P16C8152	59.558	52.563	72.203	86.251	22.339	22.339	22.339	22.339	112.48	79.44	1.42

Acceleraciones Aef,a , Aef,p : m/s² valor eficaz ; Eficacia de la transmisión de la vibración (Em): tanto por uno.

Tabla 52. Ensayos de modificación de características vibratorias. Segunda fase. Aceleraciones, frecuencias y eficacia de la transmisión de la vibración.

Tabla 53. Ensayos de modificación de características vibratorias. Segunda fase. Fuerza de retención del fruto (antes de la vibración , FRa, y después, FRd) y porcentaje de derribo (PD).

Combinación	Árbol	Pie	FRa (cN)	FRd (cN)	PD (%)
Nueva	1	1	612,5	695	87,5
		2	672,5	785	75
	2	1	577,5	637,5	82,75
		2	682,5	760	77,14
3	1	684,5	690	86,88	
	4	1	684,5	780	85,41
orbital	5	1	615	569,5	76,6
		2	573	545	92
		3	627,5	722	94,34
	6	1	615	605	89,09
		2	640	635	94,32
	7	1	613	627,5	95,38
2		687,5	712,5	95,45	
C3	8	1	612	595	90,66
	9	1	600	629	88,23
	10	1	584	622,5	96,42
	11	1	591,5	572,5	76,31
C8	12	1	585,5	616,5	85,71
		2	633	613	80,43
	13	1	612,5	602,5	79,66
	14	1	661,5	800	61,9
	15	1	619	670	64,81
		2	594,5	654	90,56

3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

3.2.1. Relaciones entre parámetros de estudio.

3.2.1.1. Primera fase.

Se tienen en cuenta las siguientes variables:

MFRa: media de FRa en cada árbol.

MFRd: media de FRd en cada árbol.

MPTD: media de PTD en cada árbol.

MPM: media de PM en cada árbol.

MPD: media de PD en cada árbol.

Donde:

FRa: fuerza de retención, del fruto que hay antes de vibrar, en cada pie.

FRd: fuerza de retención, del fruto que queda después de vibrar, en cada pie.

PTD: potencia demandada al tractor en la tdf, en cada pie.

PM: potencia en el motor hidráulico, en cada pie.

PD: porcentaje de derribo de frutos, en cada pie.

Tenemos un valor de cada variable para cada uno de los dieciséis árboles ensayados.

Podemos observar que para el análisis se han tenido en cuenta las variables medidas durante el desarrollo de los ensayos y que fueron explicadas en el apartado 4.4.2.2.

Se presentan todas las posibles relaciones entre variables que tienen sentido físico junto con sus coeficientes de determinación de la muestra (r) y de correlación (r^2):

$$\text{MFRa} - \text{MPD} \rightarrow r = 0.0746 \rightarrow r^2 = 0.0056$$

$$\text{MFRd} - \text{MPD} \rightarrow r = -0.3063 \rightarrow r^2 = 0.0938$$

$$\text{MPM} - \text{MPD} \rightarrow r = 0.4677 \rightarrow r^2 = 0.2187$$

$$\text{MPTD} - \text{MPD} \rightarrow r = 0.5046 \rightarrow r^2 = 0.2547$$

$$\text{MPM} - \text{MPTD} \rightarrow r = 0.9697 \rightarrow r^2 = 0.9403$$

De estos resultados extraemos los siguientes comentarios:

- 1) No deja lugar a dudas, y de hecho sólo se ha contemplado para completar todas las relaciones, que entre las variables MPM y MPTD hay una correlación lineal fuerte, ya que, tdf y motor están relacionadas a través de circuito.
- 2) Sorprende el coeficiente de correlación tan bajo entre variables que, como hemos visto en el diseño experimental del ensayo, tienen una fuerte relación, como son MPD y MFRa. Esto se debe a que al ser los árboles ensayados de idénticas

características, obtenemos unos valores de FRa con un rango de variación escaso (31 cN entre extremos) que no es suficiente para afectar al porcentaje de derribo (MPD). Por tanto, comprobamos que la elección de los árboles ha sido correcta.

- 3) Hemos considerado la variable MFRd pensando en establecer alguna relación entre la aceituna derribada y la fuerza de retención del fruto que queda en el árbol después del primer vibrado, aunque podría considerarse que ya está contemplada dentro de la anterior (MFRA - MPD), ya que, a la hora de medir FRa se tienen en cuenta todas las aceitunas del pie. No obstante, la idea es medir la fuerza de retención sólo en la aceituna no derribada y poder predecir el porcentaje de derribo del pie o árbol. El valor de r^2 calculado muestra que las variables MFRd y MPD son incorreladas.
- 4) Los mejores coeficientes de correlación se obtienen para las relaciones del porcentaje de derribo con las potencias en el motor hidráulico y demandada al tractor en la tdf.

A partir de aquí, el siguiente paso es determinar si los coeficientes de correlación son estadísticamente significativos. Para ello se utiliza una prueba estadística denominada Significación del Coeficiente de Correlación.

Determinamos la significación del coeficiente de correlación muestral de la relación MPTD-MPD y los límites de confianza del coeficiente de correlación poblacional:

- 1) Significación de $r_{x,y}$ (contraste de la hipótesis $H_0: \rho_{x,y} = 0$).

Estadístico de contraste: $r_p = |r| = 0.5046$

Valor crítico: $\alpha = 0.05 \rightarrow r_t = 0.4973$

Como $r_p > r_t$, se rechaza la hipótesis nula (H_0). Hay correlación lineal entre MPTD y MPD.

2) Estimación de $\rho_{x,y}$ (límites de confianza).

Nivel de significación $\alpha = 0.05$ (confianza al 95%)

Intervalo de confianza de Z : (0.01179 , 1.099)

Intervalo de confianza de $\rho_{x,y}$: (0.01179 , 0.80013)

El coeficiente de correlación de la población pertenece al intervalo con una probabilidad de 0.95.

3.2.1.2. Segunda fase.

Las variables consideradas son: FRa, FRd, PTD, PM y PD, que son las mismas de la Primera fase.

Las relaciones que se estudian son las siguientes:

$$\text{FRa} - \text{PD} \rightarrow r = -0.2036 \rightarrow r^2 = 0.0415$$

$$\text{FRd} - \text{PD} \rightarrow r = -0.3055 \rightarrow r^2 = 0.0933$$

$$\text{PM} - \text{PD} \rightarrow r = 0.7167 \rightarrow r^2 = 0.5137$$

$$\text{PTD} - \text{PD} \rightarrow r = 0.6707 \rightarrow r^2 = 0.4498$$

$$\text{PM} - \text{PTD} \rightarrow r = 0.9488 \rightarrow r^2 = 0.9003$$

A la vista de los coeficientes de correlación obtenidos podemos corroborar los resultados de la Primera fase.

También destacamos las relaciones entre el porcentaje de derribo en cada pie y las potencias consumidas en el motor y la tdf.

Como en el caso anterior, vamos a determinar la significación del coeficiente de correlación muestral de la relación PM-PD y los límites de confianza del coeficiente de correlación poblacional:

- 1) Significación de $r_{x,y}$ (contraste de la hipótesis $H_0: \rho_{x,y} = 0$).

Estadístico de contraste: $r_p = |r| = 0.7167$

Valor crítico: $\alpha = 0.05 \rightarrow r_t = 0.4132$

$\alpha = 0.01 \rightarrow r_t = 0.5256$

$\alpha = 0.001 \rightarrow r_t = 0.6402$

Como $r_p > r_t$, se rechaza la hipótesis nula (H_0). Hay correlación lineal entre PM y PD, siendo $r_{x,y}$ significativo al nivel $\alpha = 0.001$ (altamente significativo).

- 2) Estimación de $\rho_{x,y}$ (límites de confianza).

Nivel de significación $\alpha = 0.05$ (confianza al 95%)

Intervalo de confianza de Z : (0.46262 , 1.33915)

Intervalo de confianza de $\rho_{x,y}$: (0.4322 , 0.87142)

El coeficiente de correlación de la población pertenece al intervalo con una probabilidad de 0.95.

3.2.2. Influencia de las variables de ensayo.

Determinamos el efecto que la combinación mecánica tiene sobre el porcentaje de derribo.

3.2.2.1. Primera fase.

Planteamos un Análisis de la Varianza con un solo factor (también conocido con ANOVA I).

1) Comprobación de las condiciones para aplicar el método.

Para comprobar la hipótesis de que las varianzas son iguales (hipótesis de homocedasticidad), hemos realizado tres contrastes estadísticos: C de Cochran, Bartlett y Hartley. Los resultados son:

C de Cochran: 0.506596 P-valor : 0.25199

Bartlett: 5.87678 P-valor: 0.171988

Hartley: 28324.9

Como el más pequeño de los P-valor es mayor que 0.05 no hay diferencias estadísticamente significativas entre las varianzas al 95% de nivel de confianza. Por tanto, se acepta la hipótesis nula.

Queda comprobado que podemos utilizar el ANOVA I.

2) Análisis de la Varianza.

Considerando como variable dependiente el porcentaje de derribo PD y como variable independiente la combinación mecánica, tenemos el siguiente resultado (Tabla 54)

Tabla 54. Tabla ANOVA I para el porcentaje de derribo (PD) en función de la combinación mecánica (C). Primera fase.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
Entre grupos	320.33	7	45.7615	8.18	0.0041
Dentro de los grupos	44.7298	8	5.59122		
TOTAL	365.06	15			

Para realizar el contraste de hipótesis hay que tener en cuenta que el cociente de los cuadrados medios entre grupos y dentro de los grupos (F) se distribuye según una F de Snedecor de 7 y 8 grados de libertad para un nivel de significación fijado en $\alpha = 0.05$. De esta manera se tiene la siguiente conclusión: como el P-valor de la prueba F de Snedecor es menos que 0.05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias poblacionales de los diversos tratamientos (combinaciones) a un nivel de confianza del 95%. Es decir, rechazamos la hipótesis nula del contraste, en consecuencia podemos pensar que las combinaciones tienen efecto significativo sobre la variable cualitativa.

En este caso, continuamos el análisis para determinar que par o pares de poblaciones tienen medias diferentes.

3) Prueba HSD de Tukey

En esta prueba se utiliza como parámetro de contraste D_p , que representa la diferencia entre las medias de las muestras que se comparan. Por tanto, D_p debe obtenerse para todas las combinaciones posibles de pares de valores. El valor crítico se obtiene de diferente forma, según que todos los tamaños muestrales sean iguales o distintos.

Los resultados de esta prueba se presentan en la Tabla 55.

Tabla 55. Prueba HSD de Tukey para el estudio del porcentaje de derribo (PD) en función de la combinación mecánica (C). Primera fase.

Contraste	Estadístico de contraste D_p							
	C1	C2	C3	C4	C5	C7	C8	C9
C9	9.257	13.353	14.266	10.149	7.600	4.062	11.293	-
C8	2.036	2.060	2.973	1.144	3.693	7.231	-	-
C7	5.195	9.291	10.204	6.087	3.538	-	-	-
C5	1.657	5.753	6.666	2.549	-	-	-	-
C4	0.892	3.204	4.117	-	-	-	-	-
C3	5.009	0.913	-	-	-	-	-	-
C2	4.096	-	-	-	-	-	-	-
C1	-	-	-	-	-	-	-	-

Valor crítico: $D_t=9.370$

Cuando $D_p > D_t$ se rechaza la hipótesis nula y las diferencias entre pares son estadísticamente significativas. En nuestro caso, sólo se cumple para los pares: combinación 2-combinación 9, combinación 3-combinación 9, combinación 3-combinación 7, combinación 4 – combinación 9, combinación 8-combinación 9.

Si utilizamos como criterio para la elección de las combinaciones que se ensayan en la segunda fase, la potencia en la tdf (Ntdf) o en el motor hidráulico (Nm), vemos (apartado 3.1.1.1) que ésta presenta valores similares para todas las combinaciones ensayadas. Por ello, decidimos hacer la elección de forma cualitativa, considerando las combinaciones que han proporcionado mayor porcentaje de derribo y reflejando la tendencia, obtenida en la prueba de comparación de medias, de distinguir en función del Factor de Orbitalidad (F_O). Según esto, elegimos las combinaciones C3 ($F_O=0$, $n=35.84$) y C8 ($F_O=0.6$, $n=29.78$).

3.2.2.2. Segunda fase.

1) Comprobación de las condiciones para aplicar Análisis de la Varianza de un solo factor (ANOVA I).

a) Hipótesis de Normalidad.

El contraste que utilizaremos para verificar la hipótesis de normalidad es la prueba "W" de Shapiro-Wilk.

La Tabla 56 presenta los resultados. El estadístico de contraste es W_p y el valor crítico que establece la regla de decisión W_t , de tal forma que si $W_p < W_t$ se rechaza la hipótesis nula del contraste y se supone que la población no es normal.

Tabla 56. Comprobación de la hipótesis de normalidad para el estudio del porcentaje de derribo (PD) en función de la combinación mecánica (C). Segunda fase.

Tratamiento	Wp	Wt	Decisión
Combinación nueva	0.8880	0.713	Población normal
Combinación orbital	0.7164	0.730	Población no normal
Combinación C3	0.9427	0.687	Población normal
Combinación C8	0.90614	0.713	Población normal

Al no cumplirse la normalidad para el tratamiento "Combinación orbital" se incumple una de las hipótesis necesarias para aplicar el ANOVA I. Por tanto, sólo podemos abordar el análisis utilizando un test no paramétrico.

b) Hipótesis de Homocedasticidad.

No es necesario realizarla puesto que el ANOVA I ya está invalidado.

2) Test no paramétrico. Prueba "H" de Kruskal-Wallis

La aplicación de la prueba aparece en la Tabla 57. Como el estadístico de contraste (H_p) es mayor que el valor crítico (H_t), se rechaza la hipótesis nula, por tanto, se considera que alguna media poblacional difiere de las demás. A continuación se estudia que medias difieren entre sí.

Tabla 57. Prueba "H" de Kruskal-Wallis para el estudio del porcentaje de derribo (PD) en función de la combinación mecánica (C). Segunda fase.

Tratamiento	Rango	Hp	Ht
Combinación nueva	53	8.52	7.815
Combinación orbital	120		
Combinación C3	58		
Combinación C8	45		

3) Test no paramétrico. Prueba "U" de Mann-Whitney.

Se plantea el contraste de la hipótesis nula H_0 (igualdad de medias poblacionales), comprobando los tratamientos por pares (Tabla 58).

Tabla 58. Prueba "U" de Mann-Whitney para el estudio del porcentaje de derribo (PD) en función de la combinación mecánica (C). Segunda fase.

Contraste	Rango	Hp	Ht	Decisión
nueva-orbital	26 65	5	6	Rechazo H_0
nueva-C3	26 29	5	2	Acepto H_0
nueva-C8	43 35	14	5	Acepto H_0
orbital-C3	46 20	10	3	Acepto H_0
orbital-C8	65 26	5	6	Rechazo H_0
C3-C8	29 26	5	2	Acepto H_0

En vista de los resultados, sólo son estadísticamente significativas las diferencias entre las medias poblacionales de combinación nueva- combinación orbital y combinación orbital-combinación C8.

Aunque no haya diferencias significativas entre todas, podemos decir que la que mejor porcentaje de derribo proporciona es la combinación orbital, aunque también consume más potencia.

4. ENSAYO DE UN PROTOTIPO.

4.1. RESULTADOS.

4.1.1. Parámetros de estudio en el circuito. Comportamiento del sistema pinza-poste o árbol (vibración).

4.1.1.1. Primera fase.

En la Tabla 59, se muestran los valores medios y máximos de los parámetros que definen el funcionamiento del circuito hidráulico del prototipo.

En función de estos resultados, hacemos los siguientes comentarios:

- Caudal de entrada en el motor hidráulico 1 (Q_{m1}).

Se registran valores similares en todos los ensayos, dependiendo de las revoluciones del motor del tractor a las que se realiza el ensayo:

Ensayos a 2000 rpm: 64-67 l/min

Ensayos a 2300 rpm: aproximadamente 77 l/min

- Presión de entrada en el motor hidráulico 1 (P_{m1}).

En todos los casos, para el acople en serie se obtienen presiones superiores a 100 bares, mientras que en el acople independiente son menores de ese valor. Cuando las masas giran en sentido contrario y el regulador se sitúa en los puntos 0 y 1.5, la P_{m1} alcanza los mayores valores.

- Presión de entrada en el motor hidráulico 1. Valor máximo ($P_{m1\text{máx}}$).

Este parámetro determina las puntas de presión que se producen durante el transitorio de arranque. Éstas son más agudas cuando el acople de los motores es independiente.

ENSAYOS PROTOTIPO. Primera fase (I)

1. ACOUPLE EN SERIE

1.1. SENTIDO CONTRARIO

FICHERO	RPMm	Regulador	Qm1	Pm1	Pm1máx	Qm2	Pm2	Pm2máx	Pap	Papmáx	RPMmh1
26071	2000	0	63.2	124.1	190.3	63.3	28.6	157.2	123.43	183.49	1358.3
26073		1.5	60.1	157.1	190.7	55.8	67.2	176.5	117.8	170.36	1362.5
26075		3	66	88.2	190.8	42.7	30.2	161.9	109.09	163.06	1463.9
26077		5	66.6	72.2	190.8	22.5	15.3	71.93	103.63	157.35	1476.1
26072	2300	0	73.2	151.8	192.3	71.2	38.4	165.3	144.19	229.46	1518
26074		1.5	71.5	158.1	192	64.6	57.8	176.2	127.9	203.9	1535.8
26076		3	74.6	132	191.8	49.3	56.4	161.4	120.97	182.08	1598.8
26078		5	77.2	106	191.5	27.4	25.3	117.6	117.99	187.79	1640.3

Caudales (Qm1, Qm2): l/min

Presiones (Pm1, Pm1máx, Pm2, Pm2máx, Pap, Papmáx): bar

Velocidades de giro (RPMm, RPMmh1): rpm

Potencias (Nm1, Nm1máx, Nm2, Nm2máx): kW

FICHERO	RPMm	Regulador	Nm1	Nm1máx	Nm2	Nm2máx
26071	2000	0	12.79	16	2.90	9.7
26073		1.5	15.33	17.7	6.51	9.8
26075		3	9.48	15.5	2.07	4.9
26077		5	7.82	15.7	0.5	1
26072	2300	0	18.13	20	4.51	9.8
26074		1.5	18.40	21.3	7.10	12.2
26076		3	16.07	18.3	4.5	6.8
26078		5	13.34	20.1	1.1	3.5

Tabla 59. Ensayos de un prototipo. Valores de los parámetros de estudio en el circuito.

ENSAYOS PROTOTIPO. Primera fase (II)

1.2. IGUAL SENTIDO

FICHERO	RPMm	Regulador	Qm1	Pm1	Pm1máx	Qm2	Pm2	Pm2máx	Pap	Papmáx	RPMmh1
26079	2000	0	66.2	105.5	189.6	64.4	32.7	226.3	124.67	194.92	1374.9
260711		1.5	64.4	110.6	190.5	59.3	6.2	167.2	122.11	192.88	1331.8
260713		3	67.5	84.5	190.8	42.4	27.3	161.3	108.61	165.15	1467.9
260715		5	67.4	74	191.1	20.6	19.9	88.35	104.63	158.39	1470.4
260717		10	67.5	72.5	191.4	0	18.1	24.02	103.86	162.74	1470.3
260710	2300	0	76.6	117.3	192.2	72.8	30.9	160.6	151.27	242.48	1543.3
260712		1.5	76.4	109.5	192.6	69.9	5.9	166.6	148.51	237.38	1532.7
260724		3	76.8	128.5	192.6	51.2	46.6	152.8	120.41	180.35	1601
260716		5	77.1	103.2	191.8	28	27.9	129.3	117.72	186.98	1620.5
260718		10	77.7	95.1	192.7	0	18.6	25.8	116.34	177.42	1632.9

FICHERO	RPMm	Regulador	Nm1	Nm1máx	Nm2	Nm2máx
26079	2000	0	11.38	15.5	3.4089	9.7
260711		1.5	11.61	16	0.58496	6.7
260713		3	9.20	16.2	1.856	5.1
260715		5	8.11	16	0.6	1.5
260717		10	7.95	15.9	0	0
260710	2300	0	14.67	19.2	3.63	6.6
260712		1.5	13.64	19.9	0.63	7.9
260724		3	16.12	18.8	3.86	6.3
260716		5	12.98	20.2	1.21	3.9
260718		10	12.04	17.5	0	0

Tabla 59. Ensayos de un prototipo. Valores de los parámetros de estudio en el circuito (continuación).

ENSAYOS PROTOTIPO. Primera fase (III)

2. ACOPLÉ INDEPENDIENTE

2.1. SENTIDO CONTRARIO

FICHERO	RPMm	Regulador	Qm1	Pm1	Pm1máx	Qm2	Pm2	Pm2máx	Pap	Papmáx	RPMmh1
27071	2000	0	67.7	29.7	189.7	71.3	108.2	185.7	115.43	198	1444.7
27073		1.5	66.6	76.1	187.8	63.3	64.5	183.8	115.16	196.91	1421.5
27075		3	67.6	60.7	189.7	48.8	37.9	175.1	107.07	183.8	1454.5
27077		5	67.6	58.1	189.5	26.4	10.2	75.58	106.26	183.62	1466.2
27072	2300	0	78.5	52.6	190.8	80	162.6	186.2	143.25	249.05	1602.3
27074		1.5	77.1	87.2	191.2	75	65.6	185.5	151.06	244.12	1536.7
27076		3	76.8	84.2	190.8	58.6	65.1	180.7	124.19	219.76	1603.8
27078		5	77.4	80.8	190.9	36.8	13.6	118.2	122.21	198.55	1618.7

FICHERO	RPMm	Regulador	Nm1	Nm1máx	Nm2	Nm2máx
27071	2000	0	3.25	16.7	12.59	17.3
27073		1.5	8.3	16.1	6.82	14.9
27075		3	6.67	15.8	3.0	10.3
27077		5	6.39	15.6	0.4	2.3
27072	2300	0	6.72	18.3	21.23	25
27074		1.5	10.97	18.3	8.0	17.6
27076		3	10.54	18.2	6.2	13.9
27078		5	10.17	18.3	0.8	5.3

Tabla 59. Ensayos de un prototipo. Valores de los parámetros de estudio en el circuito (continuación).

ENSAYOS PROTOTIPO. Primera fase (IV)

2.2. IGUAL SENTIDO

FICHERO	RPMm	Regulador	Qm1	Pm1	Pm1máx	Qm2	Pm2	Pm2máx	Pap	Papmáx	RPMmh1
270710	2000	0	70,1	32,2	189	72,8	58,4	187,6	124,84	217,51	1446,8
270712		1,5	78,1	76,5	191,2	76,1	39,3	186,7	148,09	250,61	1542,8
270714		3	66,8	56,9	189,1	46,5	28,9	165,3	105,33	182,44	1439,2
270716		5	68	56,4	189	0	11,7	71,32	107,19	187,26	1459,1
270711	2300	0	79,2	41,6	191	81,1	107,7	189,2	149,34	265,82	1598,2
2707131		1,5	77,3	73,7	191,2	75,3	37,1	186,4	145,32	244,82	1522
2370715		3	77,6	91,2	191,6	68,6	1	179,7	148,75	236,46	1492,3
270717		5	76,6	75,1	190,9	34,3	15,4	107,7	122,7	204,2	1584,2

FICHERO	RPMm	Regulador	Nm1	Nm1máx	Nm2	Nm2máx
270710	2000	0	3,64	15,5	6,90	17,7
270712		1,5	9,73	17,9	4,86	18,1
270714		3	6,17	15,2	2,17	9,8
270716		5	6,24	15,4	0	0
270711	2300	0	5,36	18,2	14,24	19,6
2707131		1,5	9,28	18,2	4,52	17,7
2370715		3	11,53	18	0,09	12,6
270717		5	9,37	18	0,81	4,6

Tabla 59. Ensayos de un prototipo. Valores de los parámetros de estudio en el circuito.

- Caudal de entrada en el motor hidráulico 2 (Q_{m2}).

Como es lógico, los valores dependen del punto del regulador, no detectándose la influencia de otra variable. Los valores son similares para las mismas condiciones de ensayo (acople, sentido de giro, punto regulador).

La Figura 66, muestra la evolución temporal de los caudales y presiones en los dos motores hidráulicos. Las presiones destacan por presentar picos pronunciados en el arranque, mientras que los caudales son similares y no se detecta en su evolución ningún tipo de factor reseñable

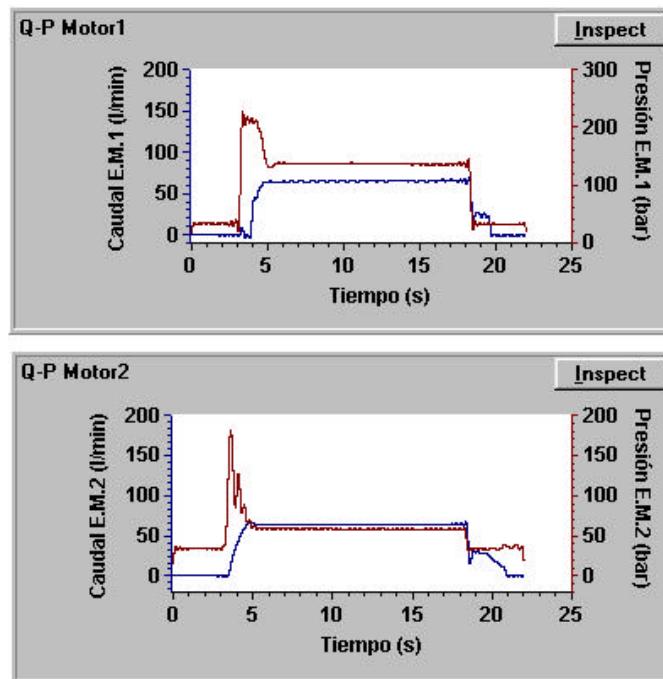


Figura 66. Ensayo de un prototipo. Caudales y presiones en los dos motores hidráulicos (prueba con acople en Serie y mismo sentido de giro).

La presión Pm2 parte de un valor por encima de cero debido a que en el acople en Serie, cuando se detiene la vibración, el primer motor, por inercia, sigue impulsando aceite que recibe el segundo. Llega un momento en que el primer motor no puede impulsar más aceite y el segundo no puede tomarlo, quedando la tubería que los une, que es donde se sitúa el sensor de Pm2, en carga.

- Presión de entrada en el motor hidráulico 2 (Pm2).

Para el acople en Serie:

- sentido contrario: se da un máximo en el punto 1.5
- igual sentido: se da un mínimo en el punto 1.5.

Para el acople Independiente:

- sentido contrario: la presión descende con el aumento del punto del regulador.
- igual sentido: la presión descende con el aumento del punto del regulador. Se registran valores inferiores que en los ensayos realizados en “sentido contrario”.

La diferencia entre los ensayos a 2000 y 2300 rpm se mantienen en los diferentes puntos del regulador.

Para acople Serie, sentido contrario de giro y punto del regulador 1.5, la Pm2 se encuentra sometida a grandes oscilaciones durante el tiempo de registro (Figura 67). En el resto de casos, siempre que se dé el mismo tipo de acople y punto del regulador, se obtienen señales similares.

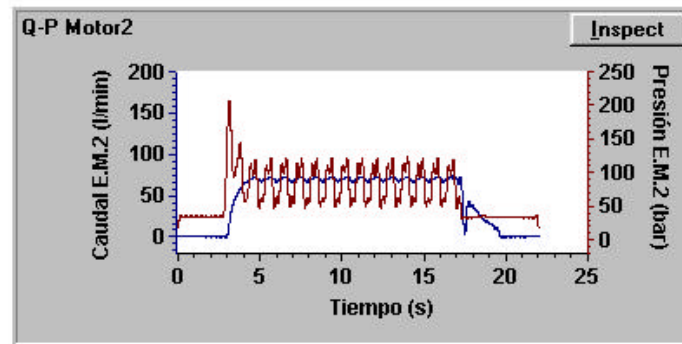


Figura 67. Ensayo de un prototipo. Caudal y presión en el motor hidráulico 2 (prueba con acople en Serie, sentido contrario de giro y punto del regulador 1.5).

- Presión de entrada en el motor hidráulico 2. Valor máximo ($P_{m2\text{máx}}$).

Para el acople en Serie:

- sentido contrario: se da un máximo para los ensayos realizados con el punto del regulador en 1.5.
- igual sentido: disminuye la presión a medida que aumentamos el punto del regulador.
- los valores de $P_{m2\text{máx}}$ para sentido contrario e igual sentido son similares.

Para el acople Independiente:

- sentido contrario: disminuye la presión a medida que aumentamos el punto del regulador.
- igual sentido: disminuye la presión a medida que aumentamos el punto del regulador (la tendencia se observa más clara que en sentido contrario).

- Presión de apriete de la pinza (Pap).

- está sometida a los mismos ciclos de la aceleración (provocado por la combinación de los movimientos de las masas), por tanto, el segundo cilindro situado en la pinza, y que se introduce en el prototipo con objeto de evitar las oscilaciones en la presión de apriete , no cumple su misión.

- estas oscilaciones en la presión de apriete siguen curvas sinusoidales de amplitud constante en todos los ensayos, excepto en aquellos con acople serie, sentido contrario y punto regulador 1.5, en los que el movimiento tiene amplitud modulada (Figura 68).

- de los valores de Pap, nos interesa el valor medio y el rango de variación (valor máximo-valor mínimo):

- valor medio: valores en ensayos a 2300 rpm son mayores que a 2000 rpm.
- rango de variación: valores similares para acople en Serie y acople Independiente:

valor mínimo: aproximadamente 50 bar.

2000 rpm: rango de variación, aproximadamente 100 bar.

2300 rpm: rango de variación, aproximadamente 150 bar.

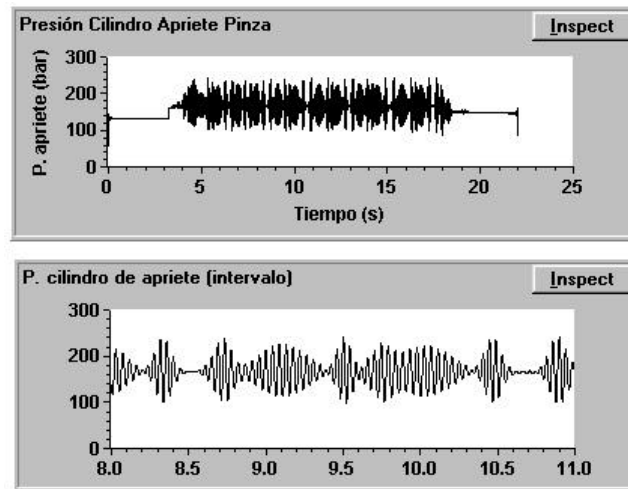


Figura 68. Ensayo de un prototipo. Presión de apriete de la pinza (prueba con acople en Serie, sentido contrario de giro y punto del regulador 1.5).

- Presión de apriete de la pinza. Valor máximo ($P_{p\text{m}\acute{a}x}$).

Ya hemos referenciado prácticamente este valor al hablar del rango de variación en la presión de apriete, aunque no es exactamente el mismo puesto que éste referencia el máximo dentro del régimen permanente y $P_{p\text{m}\acute{a}x}$ generalmente suele corresponder al transitorio de arranque, aunque las diferencias que se aprecian en los diferentes ensayos son pequeñas.

- Velocidad angular del motor hidráulico 1 (RPMmh1).

Dependen claramente de las RPM motor de la unidad tractora.

Para el acople en Serie:

- ensayos a 2000 rpm:

puntos del regulador 0 y 1.5: aproximadamente 1350 rpm.

puntos del regulador 3 y 5: aproximadamente 1450 rpm.

- ensayos a 2300 rpm:
 - puntos del regulador 0 y 1.5: aproximadamente 1530 rpm.
 - puntos del regulador 3 y 5: aproximadamente 1600 rpm.

Para el acople Independiente:

- ensayos a 2000 rpm: aproximadamente 1400 rpm.
- ensayos a 2300 rpm: aproximadamente 1600 rpm.

Para los valores de las potencias demandadas por los motores hidráulicos 1 (N_{m1}) y 2 (N_{m2}) y sus máximos respectivos ($N_{m1máx}$ y $N_{m2máx}$), se realizan los siguientes comentarios:

- acople en Serie:

- sentido contrario:

mayor valor de potencia: se da para los ensayos en el punto de regulador 1.5
menor valor de potencia: se da para los ensayos en el punto de regulador 5, excepto $N_{motor1máx}$ que se da para el punto 3.

- igual sentido:

En el punto del regulador 1.5, se da un máximo de N_{motor1} y un mínimo de N_{motor2} , ya que, la presión P_{m2} es muy pequeña. Puede deberse a que llega un momento en que ambos motores se acoplan en su funcionamiento y entonces el motor 2 no trabaja, simplemente pasa aceite por él.

- acople Independiente:

- Nm1: valores similares para ensayos en igual sentido y sentido contrario.
- Nm2: mucha diferencia entre los valores de los ensayos en el punto del regulador 0 (máximo de potencia) y los otros puntos, sobre todo para 2300 rpm. En acople Serie, las diferencias son más pequeñas.
- Nm1máx: valores similares para ensayos en igual sentido y sentido contrario.

En la Tabla 60, se resume el ensayo del prototipo. Se presentan los valores máximos de Nm1, Nm1máx, Nm2 y Nm2máx que se obtienen en cada ensayo, indicando el punto del regulador en el que se producen (aparece entre paréntesis junto al valor de potencia).

Tabla 60. Ensayo de un prototipo. Primera fase. Valores máximos de potencias.

ACOPLE	Sentido giro	RPM	Nm1 (kW)	Nm1máx	Nm2 (kW)	Nm2máx
Serie	Contrario	2000	15.4 (1.5)	17.7 (1.5)	6.5 (1.5)	9.8 (1.5)
		2300	18.4 (1.5)	21.3 (1.5)	7.1 (1.5)	12.2 (1.5)
	Igual	2000	11.6 (1.5)	16 (1.5)	3.4 (0)	9.7 (0)
		2300	14.7 (0)	19.9 (1.5)	3.6 (0)	7.9 (1.5)
Independiente	Contrario	2000	8.3 (1.5)	16.7 (0)	12.6 (0)	17.3 (0)
		2300	11 (1.5)	18.3 (1.5)	21.3 (0)	25 (0)
	Igual	2000	9.8 (1.5)	17.9 (1.5)	6.9 (0)	18.1 (1.5)
		2300	11.5 (3)	18.2 (1.5)	14.3 (0)	19.6 (0)

En la Tabla 61 se muestran los valores de las aceleraciones longitudinal y transversal en la cabeza vibradora y en el poste, y las frecuencias máximas correspondientes.

Estudiando el espectro de frecuencias y la forma de las señales de aceleración, se demuestra la funcionalidad del prototipo para generar movimientos orbitales, caracterizados por un solo pico de frecuencia (Figura 69). También se consigue la vibración multidireccional aunque con menos precisión, lo cual se detecta por la presencia de varias frecuencias en el espectro (Figura 70).

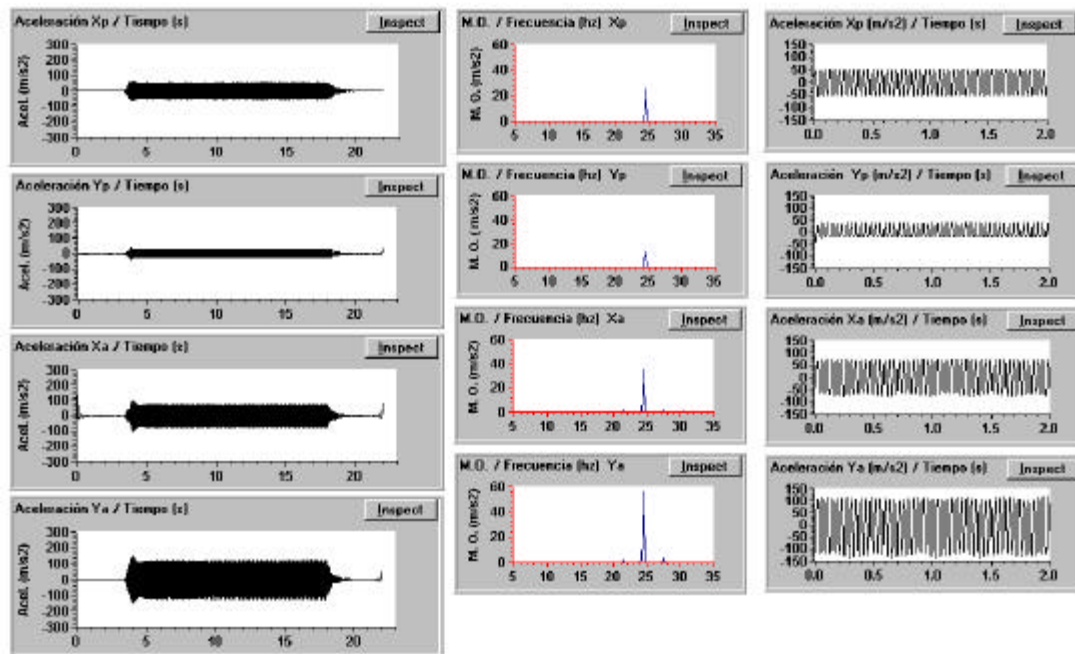


Figura 69 . Ensayo de un prototipo. Aceleraciones longitudinal y transversal en cabeza vibradora y poste. Espectro de frecuencias (prueba con acople en Serie, mismo sentido de giro y punto del regulador 10).

ENSAYOS PROTOTIPO. Primera fase (I)

1. ACOUPLE EN SERIE

1.1. SENTIDO CONTRARIO

FICHERO	RPMm	Regulador	ACELERACIONES (m/s ² valor eficaz)				FRECUENCIAS (Hz)				Aef,a	Aef,p
			Xp	Yp	Xa	Ya	Xp	Yp	Xa	Ya		
26071	2000	0	59.291	30.301	44.114	41.898	22.583	22.583	22.583	22.583	60.840	66.585
26073		1.5	36.686	32.664	34.127	81.57	22.705	22.705	22.705	22.705	88.421	49.120
26075		3	36.85	23.429	47.639	83.129	24.292	24.292	24.292	24.292	95.812	43.667
26077		5	37.392	21.606	46.349	84.01	24.536	24.536	24.536	24.536	95.947	43.185
26072	2300	0	67.564	38.244	79.339	54.806	25.269	25.269	25.269	25.269	96.428	77.637
26074		1.5	52.878	38.386	62.235	100.08	22.705	24.17	26.855	26.855	117.852	65.342
26076		3	45.653	22.126	66.635	102.03	26.611	26.611	26.611	26.611	121.862	50.732
26078		5	45.471	19.13	71.15	112.81	27.344	27.344	27.344	27.344	133.373	49.331

Aceleraciones Aef,a , Aef,p : m/s² valor eficaz.

1.2. IGUAL SENTIDO

FICHERO	RPMm	Regulador	ACELERACIONES (m/s ² valor eficaz)				FRECUENCIAS (Hz)				Aef,a	Aef,p
			Xp	Yp	Xa	Ya	Xp	Yp	Xa	Ya		
26079	2000	0	22.508	27.2	28.776	72.081	26.367	26.367	26.367	26.367	77.613	35.305
260711		1.5	21.02	30.622	25.044	81.78	25.024	22.217	25.024	22.217	85.529	37.142
260713		3	38.778	23.768	51.383	85.622	24.414	24.414	24.414	24.414	99.857	45.482
260715		5	36.936	20.421	51.866	83.499	24.414	24.414	24.414	24.414	98.296	42.205
260717		10	36.859	20.233	51.044	82.881	24.414	24.414	24.414	24.414	97.338	42.047
260710	2300	0	12.538	29.484	10.706	83.583	25.757	25.757	25.757	25.757	84.266	32.039
260712		1.5	6.5332	29.401	9.0108	96.604	25.513	25.513	25.513	25.513	97.023	30.118
260714		3	45.817	23.155	64.251	98.406	26.123	26.123	26.123	26.123	117.524	51.336
260716		5	45.565	18.586	76.104	107.64	26.978	26.978	26.978	26.978	131.826	49.210
260718		10	46.279	17.107	76.191	109.82	27.1	27.1	27.1	27.1	133.662	49.340

Tabla 61. Ensayo de un prototipo. Aceleraciones y frecuencias.

ENSAYOS PROTOTIPO. Primera fase (II)

2. ACOUPLE INDEPENDIENTE

2.1. SENTIDO CONTRARIO

FICHERO	RPMm	Regulador	ACELERACIONES (m/s ² valor eficaz)				FRECUENCIAS (Hz)				Aef,a	Aef,p
			Xp	Yp	Xa	Ya	Xp	Yp	Xa	Ya		
27071	2000	0	63.983	24.387	65.738	60.562	23.926	23.926	23.926	23.926	89.383	68.473
27073		1.5	43.328	35.88	49.833	104.64	23.682	24.658	23.682	24.658	115.900	56.256
27075		3	39.131	20.746	54.328	92.214	24.414	24.414	24.414	24.414	107.028	44.290
27077		5	37.48	17.373	53.616	88.911	24.414	24.414	24.414	24.414	103.826	41.311
27072	2300	0	60.246	45.501	106.49	82.42	26.611	26.855	26.611	26.611	134.659	75.498
27074		1.5	72.34	33.324	98.337	28.83	25.635	25.635	25.635	25.635	102.476	79.646
27076		3	49.999	25.279	74.333	119.99	26.855	26.855	26.855	26.855	141.149	56.026
27078		5	46.482	17.216	80.453	119.62	27.1	27.1	27.1	27.1	144.158	49.568

2.2. IGUAL SENTIDO

FICHERO	RPMm	Regulador	ACELERACIONES (m/s ² valor eficaz)				FRECUENCIAS (Hz)				Aef,a	Aef,p
			Xp	Yp	Xa	Ya	Xp	Yp	Xa	Ya		
270710	2000	0	22.376	29.624	29.032	50.34	24.17	24.17	24.17	24.17	58.112	37.125
270712		1.5	14.04	32.437	31.957	90.308	25.879	25.879	25.879	25.879	95.796	35.345
270714		3	40.372	19.908	20.072	89.164	23.926	23.926	23.926	23.926	91.395	45.014
270716		5	37.763	15.277	15.064	91.9	24.414	24.414	24.414	24.414	93.126	40.736
270711	2300	0	32.139	42.472	41.643	75.033	26.611	26.611	26.611	26.611	85.814	53.261
2707131		1.5	14.092	31.142	30.624	86.214	25.391	25.391	25.391	25.391	91.491	34.182
2370715		3	6.3352	28.931	28.507	98.107	24.902	24.902	24.902	24.902	102.165	29.617
270717		5	45.43	15.765	16.133	118.04	26.367	26.367	26.367	26.367	119.137	48.088

Tabla 61. Ensayo de un prototipo. Aceleraciones y frecuencias (continuación).

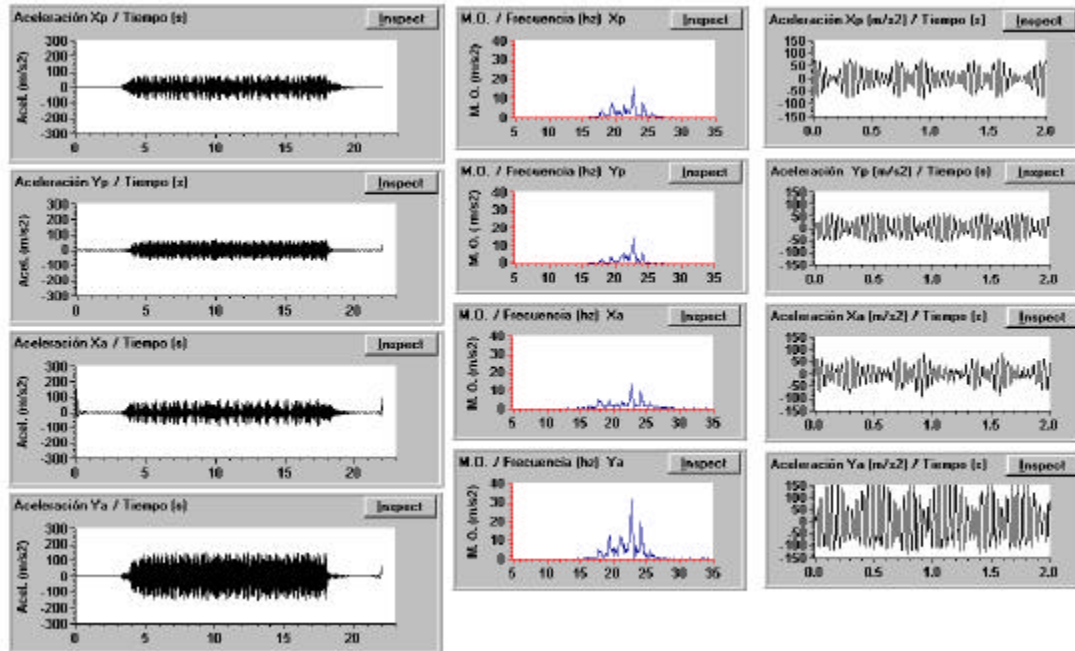


Figura 70. Ensayo de un prototipo. Aceleraciones longitudinal y transversal en cabeza vibradora y poste. Espectro de frecuencias (prueba con acople en Serie, distinto sentido de giro y punto del regulador 1.5).

4.1.1.2. Segunda fase

Se presentan los siguientes resultados:

- Circuito hidráulico (Tabla 62).
- Aceleraciones longitudinal y transversal en pinza y árbol (Tabla 63).
- Fuerza de Retención del fruto y Porcentaje de Derribo (Tabla 64). Se expresa el porcentaje de derribo obtenido experimentalmente en cada pie, la media de los obtenidos en los tres pies del árbol y la medida de los tres árboles vibrados con cada cabeza vibradora.

ENSAYOS PROTOTIPO. Segunda fase.

Cabeza	FICHERO	Qsb	Psb	Qm	Pm	RPMtdf	Mtdf	Pap	Ntdf	Nb	Nm
M202	P1711	126.936	174.91	122.806	166.945	884.92	502.424	171.76	46.721	36.301	33.521
	P1712	123.903	165.455	122.239	157.99	880.73	470.247	165.33	43.487	33.517	31.578
	P1713	124.45	166.631	121.924	159.398	882.99	467.937	166.17	43.405	33.904	31.776
	P17211	123.923	181.939	118.103	173.77	861.38	516.45	176.49	46.733	36.863	33.55
	P1723	124.303	181.314	177.48	173.419	875.18	514.421	175.04	47.237	36.85	33.309
	P1722	124.358	147.586	96.9877	142.635	888.26	417.814	150.67	38.977	30.006	22.614
	P1731	124.341	164.682	122.534	157.592	889.15	462.524	164.96	43.135	33.479	31.573
	P1733	124.042	145.487	112.844	139.333	890.16	406.579	149.74	37.918	29.504	25.706
	P17321	123.81	133.547	110.374	128.427	896.48	376.352	140.69	35.379	27.033	23.176
M201-C	P1773	122.677	215.872	102.678	206.374	857.46	630.181	203.04	56.724	43.299	34.644
	P1771	120.199	235.487	91.1518	225.89	840.78	688.321	217.28	60.754	46.279	33.665
	P1772	121.459	235.824	91.069	226.708	846.87	686.048	217.94	60.992	46.831	33.756
	P1751	121.649	212.214	100.622	203.969	854.08	608.33	199.18	54.438	42.209	33.556
	P1753	123.919	219.961	99.805	210.869	866.78	632.825	204.45	57.467	44.566	34.41
	P1752	123.037	220.048	98.3367	211.473	862.73	631.553	204.87	57.068	44.266	34.001
	P1743	121.089	238.295	87.5539	229.679	843.26	636.356	220.47	60.81	47.178	32.878
	P1742	115.458	233.617	88.6811	223.457	827	680.876	214.75	57.56	44.101	32.4
	P17411	119.518	232.879	91.6817	223.223	839.39	676.429	214.48	59.518	45.507	33.461

Caudales (Qsb, Qm): l/min
 Presiones (Psb, Pm, Pap): bar
 Velocidad de giro (RPMtdf): rpm
 Par (Mtdf): N· m
 Potencias (Ntdf, Nb, Nm): kW

Tabla 62. Ensayo de un prototipo. Segunda fase. Valores de los parámetros de estudio en el circuito.

ENSAYOS PROTOTIPO. Segunda fase.

Cabeza	FICHERO	ACELERACIONES (m/s ² valor eficaz)				FRECUENCIAS (Hz)				Aef,a	Aef,p	Em
		Xp	Yp	Xa	Ya	Xp	Yp	Xa	Ya			
M202	P1711	115.72	77.053	63.68	86.131	22.827	22.827	24.17	24.17	107.115	139.026	0.770
	P1712	123.89	82.944	65.17	58.514	24.048	22.583	22.583	24.048	87.584	149.092	0.587
	P1713	121.56	73.278	76.786	80.839	23.804	23.804	22.461	23.804	111.495	141.938	0.786
	P17211	111.58	72.437	65.213	53.019	22.095	22.095	22.095	22.095	84.046	133.031	0.632
	P1723	123.18	73.868	55.285	56.155	21.851	21.851	23.193	23.193	78.802	143.631	0.549
	P1722	71.123	51.394	63.047	41.439	18.555	17.436	17.436	17.436	75.446	87.749	0.860
	P1731	128.36	93.616	60.274	79.124	22.705	22.705	22.705	24.048	99.466	158.872	0.626
	P1733	127.98	86.397	79.93	77.571	24.419	23.071	23.071	24.414	111.383	154.413	0.721
	P17321	98.345	58.031	60.157	54.762	19.897	19.897	21.118	19.897	81.350	114.190	0.712
M201-C	P1773	91.204	88.959	32.12	146.13	28.198	28.198	28.198	28.198	149.618	127.404	1.174
	P1771	99.196	77.294	59.229	106.61	24.902	24.902	24.902	24.902	121.958	125.755	0.970
	P1772	94.453	78.068	42.095	103.81	24.78	24.78	24.78	24.78	112.020	122.540	0.914
	P1751	107.46	86.038	73.269	156.61	27.466	27.466	27.466	27.466	172.902	137.660	1.256
	P1753	97.626	81.164	125.27	149.52	27.344	27.344	27.344	27.344	195.061	126.958	1.536
	P1752	81.133	83.311	52.457	122.66	26.733	26.733	26.733	26.733	133.406	116.290	1.147
	P1743	90.18	73.174	42.721	93.739	23.682	23.682	23.682	23.682	103.015	116.133	0.887
	P1742	89.67	70.339	80.314	101.68	24.78	24.78	24.78	24.78	129.573	113.966	1.137
	P17411	104.22	13.558	46.836	104.16	25.269	25.269	25.269	25.269	114.206	105.098	1.087

Aceleraciones Aef,a , Aef,p : m/s² valor eficaz.
 Eficacia de la transmisión de la vibración (Em): tanto por uno.

Tabla 63. Ensayo de un prototipo. Segunda fase. Aceleraciones, frecuencias y eficacia de transmisión de la vibración.

Tabla 64. Ensayo de un prototipo. Segunda fase. Fuerza de retención del fruto (antes de la vibración, FRa, y después, FRd) y porcentaje de derribo (PD).

Cabeza	Árbol	Pie	FRa (cN)	FRd (cN)	PD (%)		
					Pie	Árbol	Cabeza
M202	1	1	797.5	857.5	65.16	67.057	63.38
		2	732.5	762.5	70.00		
		3	735.0	840.5	67.28		
	2	1	732.5	792.5	83.80	69.730	
		2	727.5	842.5	61.85		
		3	702.5	815.0	64.04		
	3	1	765.0	762.5	55.12	53.367	
		2	727.5	840.0	43.02		
		3	700.0	847.4	55.11		
M201-C	4	1	765.8	755.3	52.05	59.223	73.28
		2	831.6	747.4	51.28		
		3	828.9	784.2	73.18		
	5	1	781.6	810.5	82.95	75.056	
		2	744.7	784.2	74.11		
		3	776.3	581.6	71.53		
	6	1	742.1	813.2	90.06	85.567	
		2	776.3	757.9	83.26		
		3	802.6	868.4	82.72		

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.2.1. Relaciones entre parámetros de estudio. Segunda fase

Las variables consideradas son: FRa, FRd, PTD, PM y PD, que ya fueron descritas en el apartado 3.2.1.1.

Las relaciones que se estudian son las siguientes:

$$\text{FRa} - \text{PD} \rightarrow r = 0.1363 \rightarrow r^2 = 0.0186$$

$$\text{FRd} - \text{PD} \rightarrow r = -0.0242 \rightarrow r^2 = 0.0006$$

$$\text{PM} - \text{PD} \rightarrow r = 0.5885 \rightarrow r^2 = 0.3463$$

$$\text{PTD} - \text{PD} \rightarrow r = 0.5278 \rightarrow r^2 = 0.2786$$

Con resultados similares a los obtenidos para los ensayos de modificación de características vibratorias (apartados 3.2.1.1. y 3.2.1.2.).

Continuamos el análisis determinando la significación del coeficiente de correlación muestral de la relación PM-PD y los límites de confianza del coeficiente de correlación poblacional:

- 1) Significación de $r_{x,y}$ (contraste de la hipótesis $H_0: \rho_{x,y} = 0$).

Estadístico de contraste: $r_p = |r| = 0.5885$

Valor crítico: $\alpha = 0.05 \rightarrow r_t = 0.4683$

Como $r_p > r_t$, se rechaza la hipótesis nula (H_0). Hay correlación lineal entre PM y PD, siendo $r_{x,y}$ significativo al nivel $\alpha = 0.05$.

- 2) Estimación de $\rho_{x,y}$ (límites de confianza).

Nivel de significación $\alpha = 0.05$ (confianza al 95%)

Intervalo de confianza de Z : (0.1693 , 1.1814)

Intervalo de confianza de $\rho_{x,y}$: (0.1677 , 0.8278)

El coeficiente de correlación de la población pertenece al intervalo con una probabilidad de 0.95.

4.2.2. Influencia de las variables de ensayo. Segunda fase

Determinamos el efecto que la cabeza vibradora tiene sobre el porcentaje de derribo. Para ello, planteamos un Análisis de la Varianza con un solo factor (ANOVA I).

1) Comprobación de las condiciones para aplicar el método.

a) Hipótesis de normalidad:

Utilizamos la prueba “W” de Shapiro-Wilk, presentando los resultados en la Tabla 65. En ambos casos, el estadístico de contraste W_p es mayor que el valor crítico W_t , por lo que se acepta la hipótesis nula: la población de la que se ha tomado la muestra es normal.

Tabla 65. Comprobación de la hipótesis de normalidad para el estudio del porcentaje de derribo (PD) en función de la cabeza vibradora. Ensayo de un prototipo. Segunda fase.

Tratamiento	W_p	W_t	Decisión
Cabeza M202	0.966	0.764	Población normal
Cabeza M201-C	0.868	0.764	Población normal

b) Hipótesis de homocedasticidad:

Utilizamos la prueba “F” de Snedecor de homocedasticidad, en la cual el estadístico de contraste (F_p) se obtiene como el cociente entre las varianzas muestrales de los tratamientos cuyas varianzas poblacionales se contrastan en la hipótesis nula, la cual se acepta (igualdad de varianzas poblacionales) si el valor crítico (F_t) es mayor o igual al estadístico de contraste.

En este caso, obtenemos $F_p = 1.457 > F_t = 6.0291$, con lo cual se cumple la hipótesis de homocedasticidad.

Por tanto, queda comprobado que podemos emplear ANOVA I.

2) Análisis de la Varianza.

La Tabla 66 resume los cálculos del análisis. Como el P-valor es mayor que 0.05, no hay diferencias estadísticamente significativas entre las cabezas vibradoras afectando al porcentaje de derribo.

Tabla 66. Tabla ANOVA I para el porcentaje de derribo (PD) en función de la cabeza vibradora. Ensayo de un prototipo. Segunda fase.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-ratio	P-valor
Entre grupos	509.486	1	509.486	3.22	0.0917
Dentro de los grupos	2531.72	16	158.232		
TOTAL	3041.2	17			

Aunque el mayor porcentaje de derribo que produce la cabeza vibradora M201-C no es estadísticamente significativo, la Tabla 64 muestra que las diferencias con la cabeza vibradora M202 son aproximadamente un 10% de derribo más en la primera. Además el mayor porcentaje de derribo provocado por M201-C se repite en la mayoría de los pies vibrados (Figura 71).

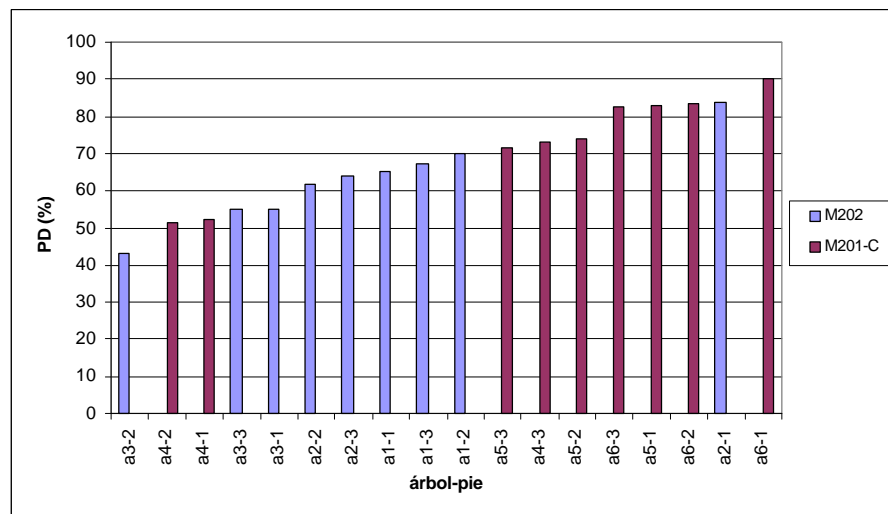


Figura 71. Porcentajes de derribo obtenidos con dos cabezas vibradoras. Ensayo de un prototipo. Segunda fase.

5. ENSAYOS EN CONDICIONES REALES DE TRABAJO EN CAMPO.

5.1. RESULTADOS.

5.1.1. Parámetros de estudio en el circuito.

5.1.1.1. Evolución temporal.

Al igual que en los "ensayos en poste y árbol", también podemos obtener la evolución temporal de las señales de los sensores utilizados en el monitoreo del funcionamiento del conjunto tractor-vibrador. En este caso y debido a la concepción diferente de los ensayos en condiciones reales de trabajo en campo y el Sistema de Adquisición de Datos utilizado para ellos, la información que proporcionan está orientada a describir el funcionamiento del vibrador durante una operación normal de vibrado y, a partir de ahí, obtener los tiempos que se emplean en las diferentes fases de la misma.

Tomando como ejemplo un ensayo vamos a describirlo en función de los parámetros medidos:

1) Comenzamos con el vibrador procedente del pie anterior y dirigiéndose al siguiente para proceder a su vibrado. En este trayecto (desplazamiento entre pies), las variables registradas son:

- Caudal a la salida de la bomba (Q_{sb}) (Figura 72). Debido a que el caudalímetro está colocado a la salida del depósito, en todo momento detecta el paso de caudal. Cuando no hay vibración, este caudal retorna directamente al depósito. Cuando comienza la vibración de un pie o árbol aumenta repentinamente hasta situarse en el nivel requerido, donde se mantiene hasta completar el vibrado, con valores que dependen de las revoluciones del motor del tractor (RPM_m), para luego descender bruscamente en la parada.

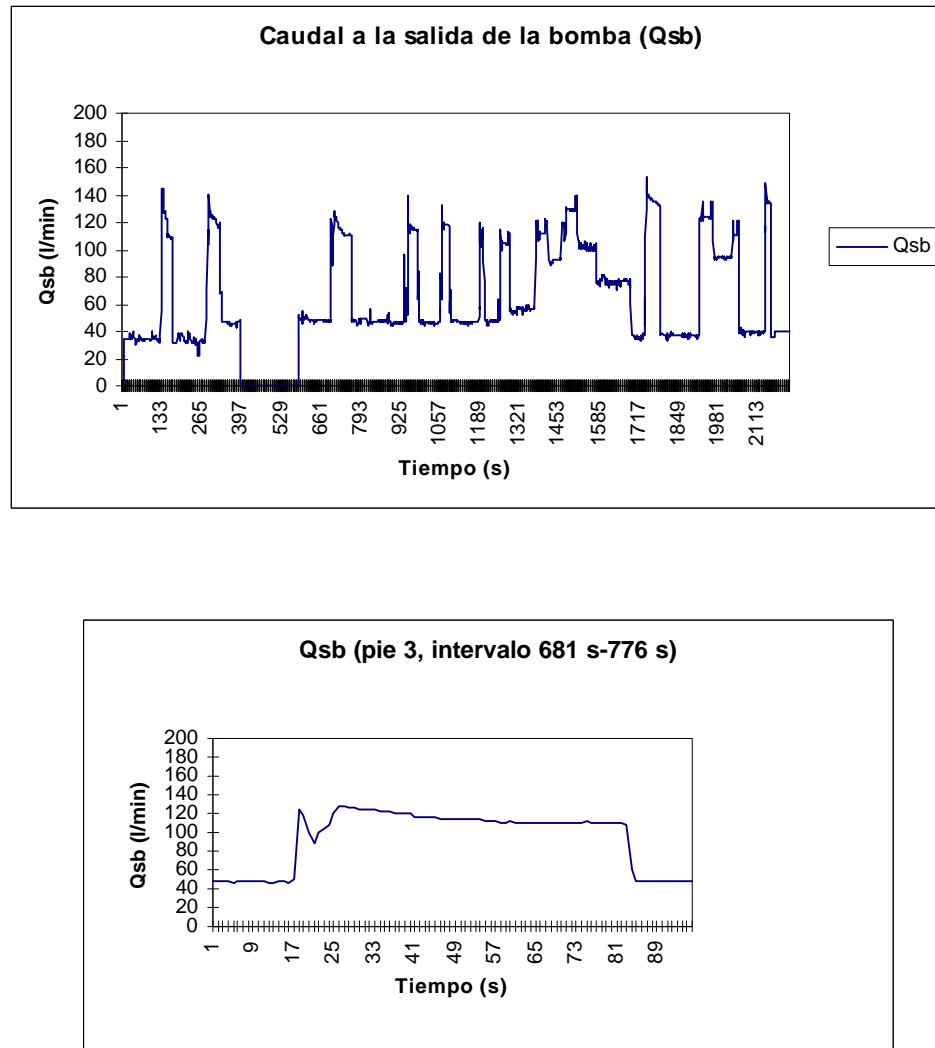


Figura 72. Caudal a la salida de la bomba (Qsb). Ensayo en condiciones reales de trabajo en campo: a) Descripción general (superior); b) Detalle del vibrado de un pie (inferior).

- Revoluciones del motor del tractor (RPMm) (Figura 73). Siempre que el tractor esté en funcionamiento tendremos lectura de este parámetro. Como es lógico, esta lectura está directamente relacionada con el Qsb y ambos gráficos (Figuras 72 y 73) son idénticos.

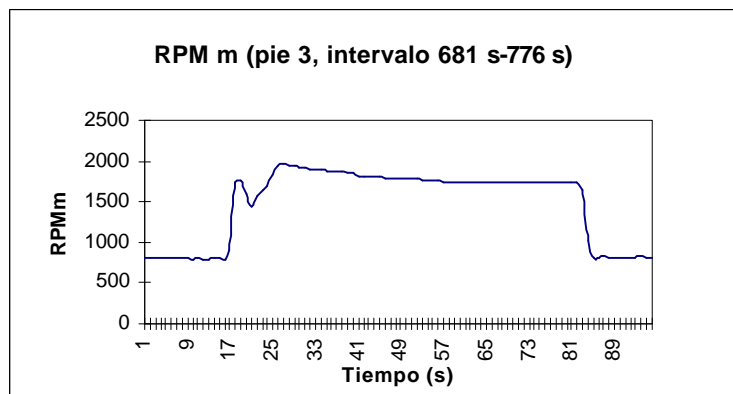
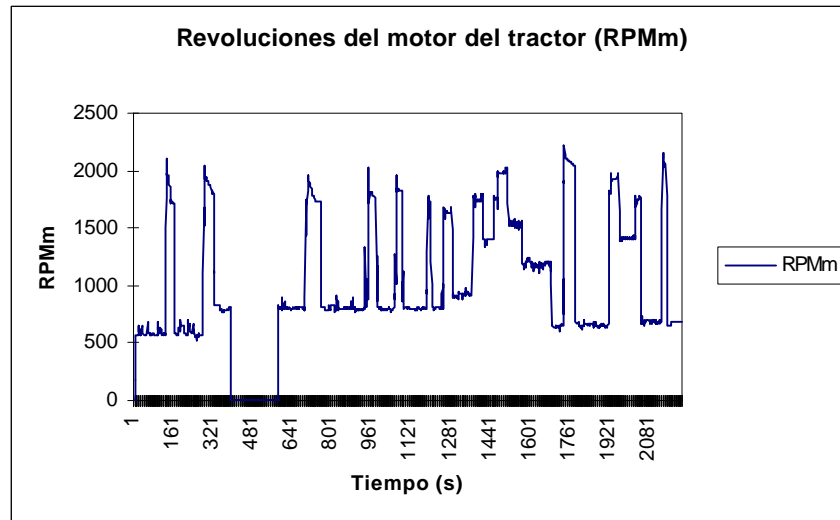


Figura 73. Revoluciones del motor del tractor (RPMm). Ensayo en condiciones reales de trabajo en campo: a) Descripción general (superior); b) Detalle del vibrado de un pie (inferior).

- Tiempo y consumo de combustible (Figura 74). Son valores acumulativos a lo largo del ensayo, por lo que no tienen interés para describirlo gráficamente.

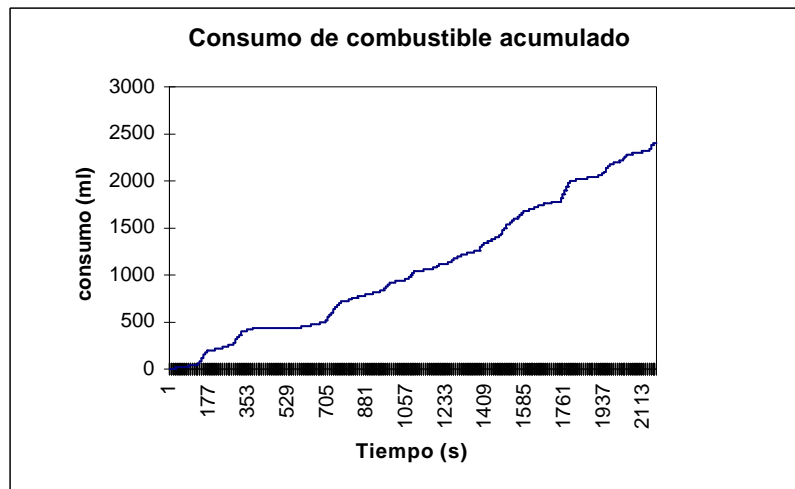


Figura 74. Consumo acumulado de combustible. Ensayo en condiciones reales de trabajo en campo.

2) Una vez que el vibrador llega al pie que se va a vibrar, comienza a hacer maniobras con la pinza para agarrar el tronco. Cuando ya se ha fijado la pinza al tronco, el tractorista sube las RPMm y acciona la palanca del mando del distribuidor que da paso al aceite al cilindro de apriete de la pinza. En este momento, en el que todavía no hay vibración, se registran los siguientes parámetros:

- Caudal a la salida de la bomba (Q_{sb}). Aumenta de valor debido al incremento de las RPMm.

- Presión en el cilindro hidráulico de apriete de la pinza (P_{ap}) (Figura 75). Aumenta desde la presión nula correspondiente a la fase anterior en que no habría apriete del pie hasta valores normales de presión para iniciar el vibrado.

- Tiempo y consumo de combustible.

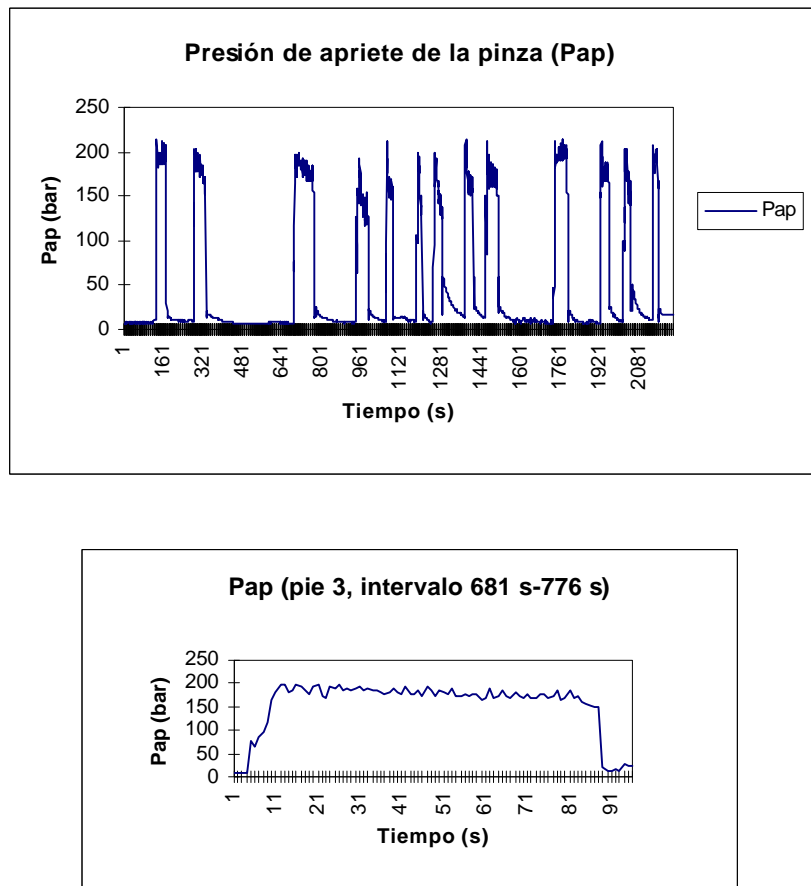


Figura 75. Presión en el cilindro hidráulico de apriete de la pinza (Pap). Ensayo en condiciones reales de trabajo en campo: a) Descripción general (superior); b) Detalle del vibrado de un pie (inferior).

3) Vibración del pie. Se detecta porque todos los parámetros medidos registran valor:

- Caudal a la salida de la bomba (Q_{sb}) (Figura 72). Valores correspondientes al caudal de aceite necesario para accionar el motor hidráulico. Este caudal depende de las revoluciones de la tdf (RPMtdf) y éstas de las RPMm. Por tanto, como ya hemos comentado con anterioridad, los gráficos de ambas variables son idénticos.

- Presión en el cilindro hidráulico de apriete de la pinza (Figura 75). Empieza a registrar valores normales de presión en el cilindro de apriete durante la vibración del pie, observándose las frecuentes oscilaciones (Figura 75 b) que ya fueron descritas para los ensayos en poste y árbol en el punto 2.1.1.1., aunque debido a la baja frecuencia de muestreo (1 dato/s) no son tan marcadas.

- Revoluciones del motor del tractor (RPMm) (Figura 73). Indican las revoluciones utilizadas para vibrar el pie. Son las que el tractorista considera necesarias según su práctica de manejo.

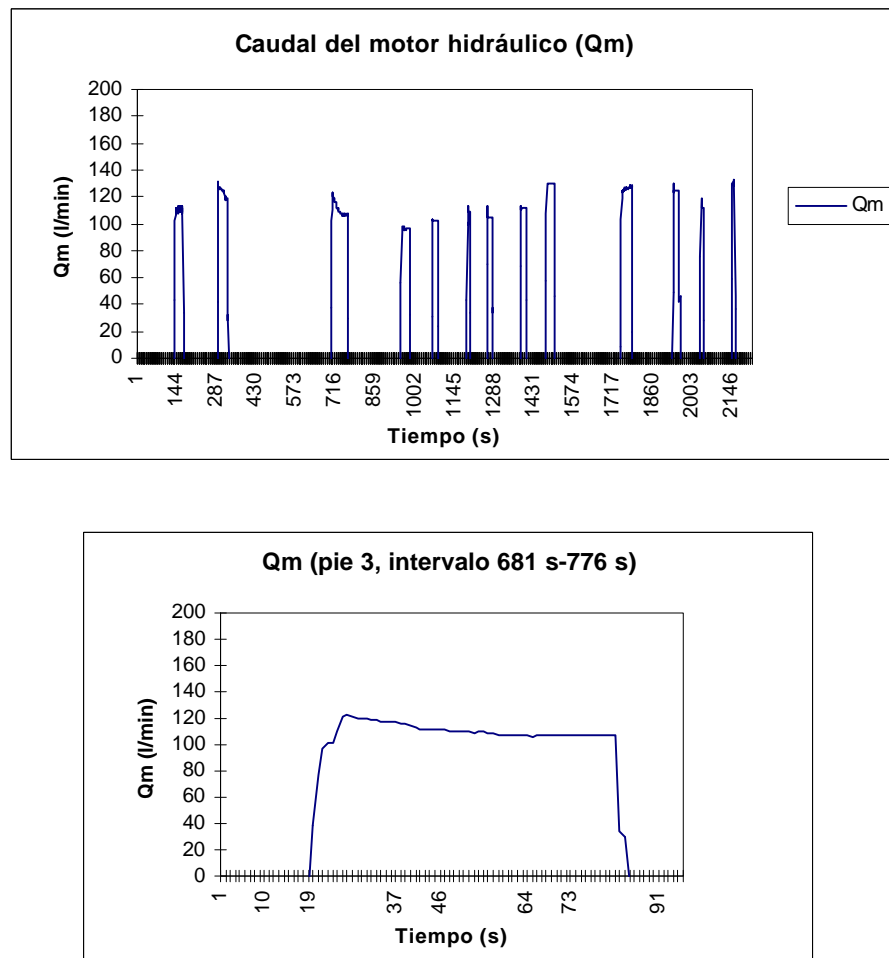


Figura 76. Caudal del motor hidráulico(Qm). Ensayo en condiciones reales de trabajo en campo:
a) Descripción general (superior); b) Detalle del vibrado de un pie (inferior).

- Caudal del motor hidráulico (Q_m) (Figura 76). Partiendo del valor nulo que se mantiene durante el desplazamiento entre pies, aumenta cuando se inicia la vibración y desciende cuando se termina, permaneciendo durante todo ese tiempo en niveles prácticamente constantes.

- Presión de la bomba hidráulica (P_{sb}) (Figura 77). Sigue un ciclo similar al descrito en el anterior parámetro. Destacar las puntas de presión que se requieren al inicio de la vibración y que se aprecian claramente en la Figura 77 b).

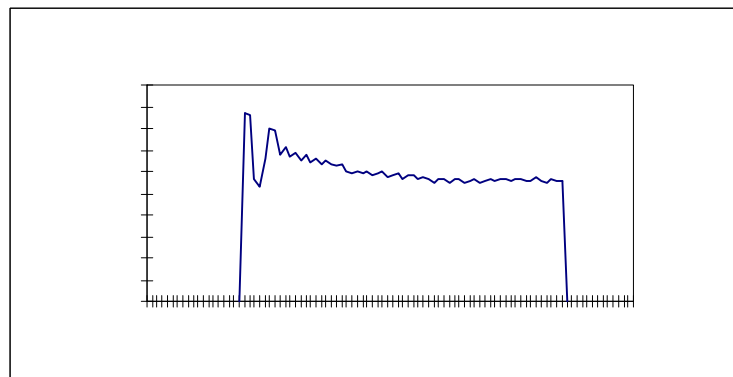
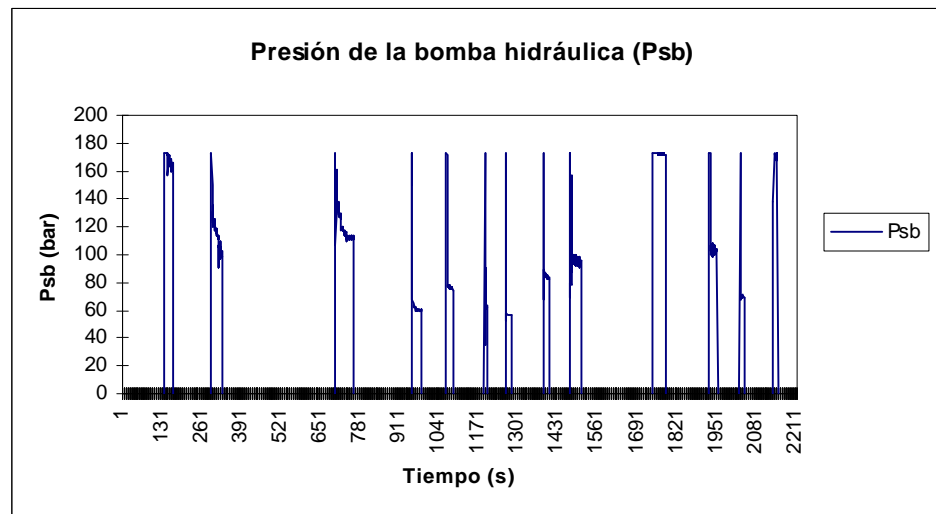


Figura 77. Presión a la salida de la bomba (P_{sb}). Ensayo en condiciones reales de trabajo en campo: a) Descripción general (superior); b) Detalle del vibrado de un pie (inferior).

- Presión del motor hidráulico (P_m) (Figura 78). Actuación similar al P_{sb} . También se registran puntas de presión en el inicio (Figura 78 b).

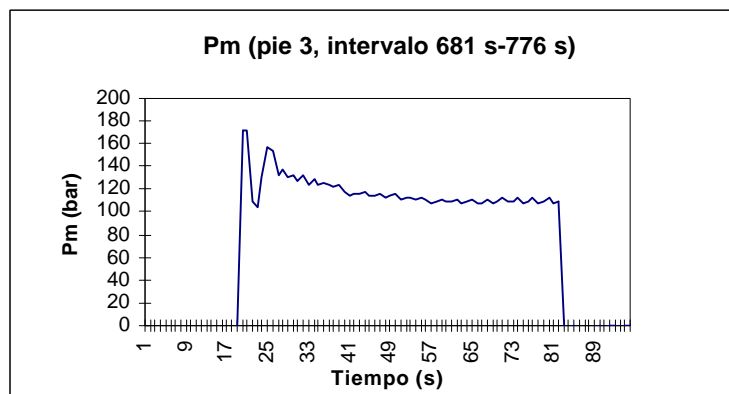
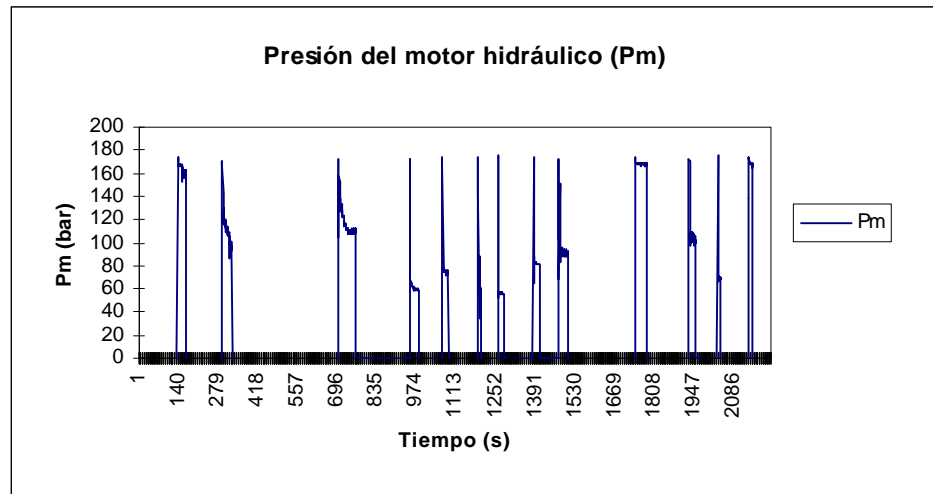


Figura 78. Presión del motor hidráulico (P_m). Ensayo en condiciones reales de trabajo en campo:
a) Descripción general (superior); b) Detalle del vibrado de un pie (inferior).

- Velocidad angular de la polea accionada por el motor hidráulico (RPMmh). (Figura 79). Sigue las mismas pautas que Q_m , por lo que sus señales son similares (Figura 76 b y Figura 79 b).

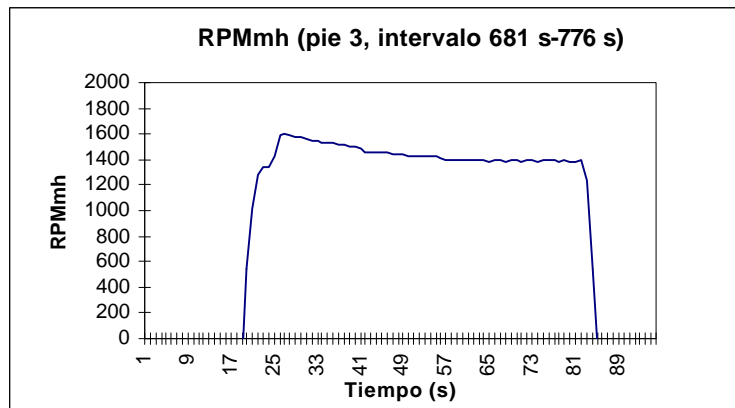
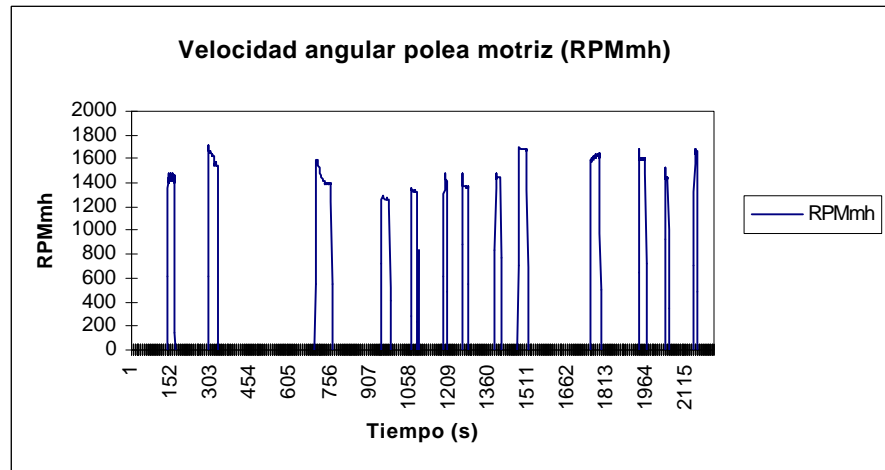


Figura 79. Velocidad angular de la patea accionada por el motor hidráulico (RPMmh). Ensayo en condiciones reales de trabajo en campo: a) Descripción general (superior); b) Detalle del vibrado de un pie (inferior).

- Aceleraciones longitudinal y transversal en la cabeza vibradora (A1 y A2) (Figura 80). Muestran las oscilaciones debidas al movimiento generado en la pinza, aunque no se aprecian ciclos de amplitud modulada con en el caso de los "ensayos en poste y árbol" (punto 2.1.2.1.) debido a que se registran directamente los valores eficaces de cada segundo de señal.

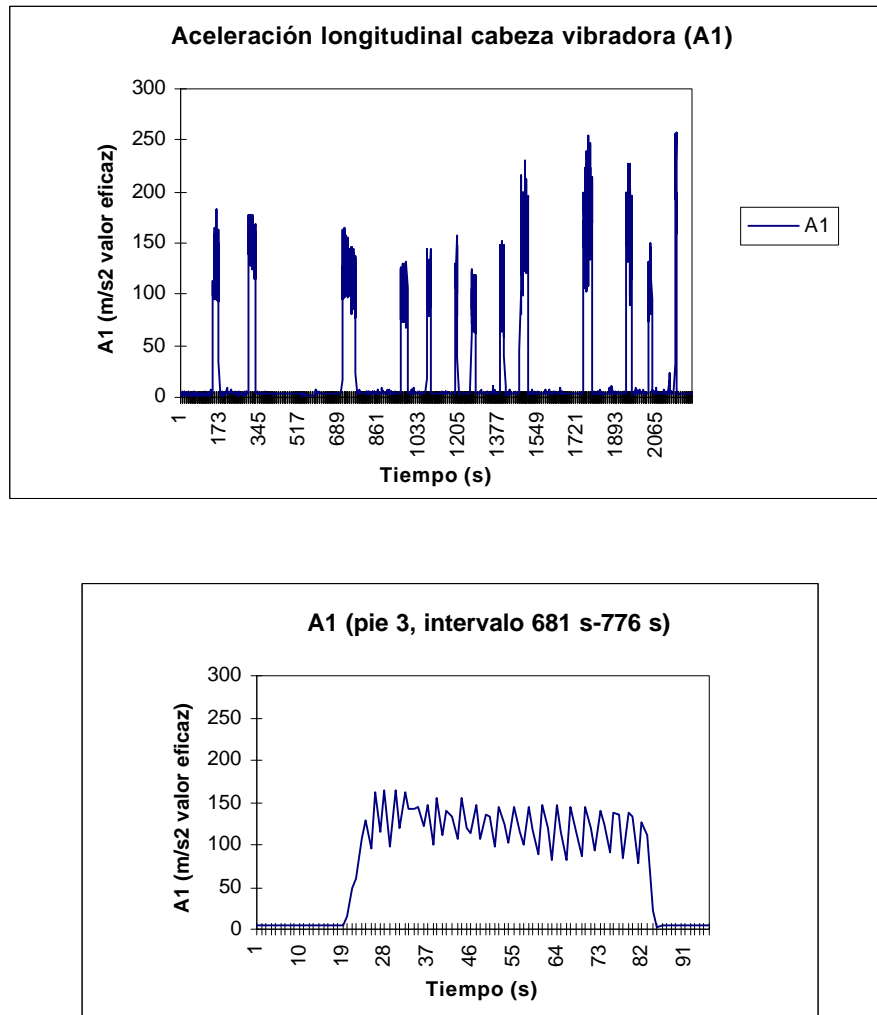


Figura 80. Aceleración longitudinal en la cabeza vibradora (A1). Ensayo en condiciones reales de trabajo en campo: a) Descripción general (superior); b) Detalle del vibrado de un pie (inferior).

- Par en la tdf (Mtdf) (Figura 81). Señalar las puntas de par al inicio de la vibración. Durante el resto del período los valores son estables.

- Tiempo y consumo de combustible

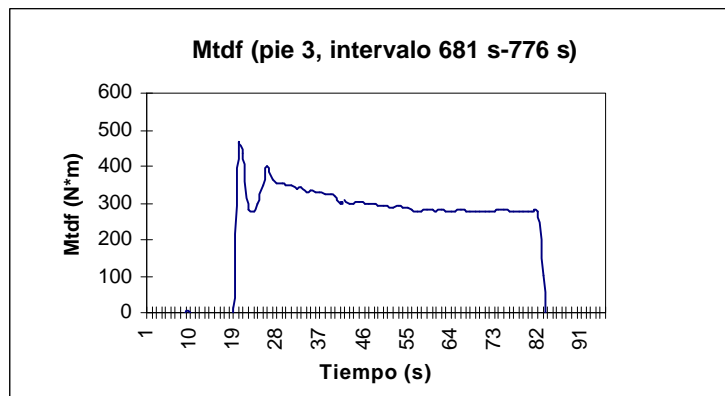
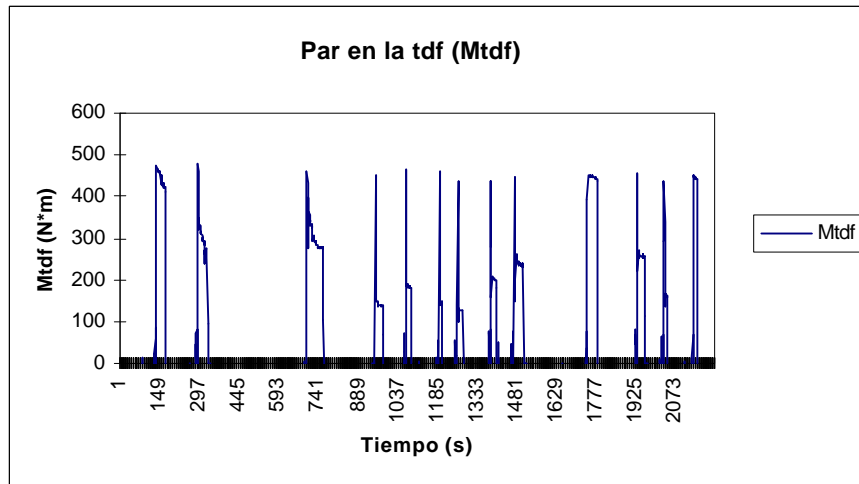


Figura 81. Par en la tdf (Mtdf). Ensayo en condiciones reales de trabajo en campo: a) Descripción general (superior); b) Detalle del vibrado de un pie (inferior).

4) Finalizada la vibración del pie, la cual se detecta en que las variables que al comenzar la vibración (fase 3)) empezaron a dar valores, ahora dejan de darlos.

A partir de aquí, lógicamente, el proceso es el inverso al descrito para el vibrado del pie.

- En primer lugar, y una vez parada la vibración, debe procederse al desapriete de la pinza, para la cual o bien a las RPMm del ensayo o bien bajándolas, se acciona la palanca del mando del distribuidor que gobierna el cilindro de apriete, observándose el descenso en la presión hasta ser prácticamente nula. En este momento, la pinza está suelta y puede maniobrase el conjunto tractor-vibrador para dirigirse al siguiente pie que será vibrado.

- Seguidamente comienza el período de desplazamiento entre pies, que ya fue descrito en la fase 1).

En esta fase sólo mantienen sus valores los mismos parámetros de la fase 2: Qsb, Pap, RPMm, tiempo y consumo de combustible.

Vemos que los parámetros Qsb, Pap y RPMm comienzan a dar valores antes que el resto y terminan después, lo cual permite diferenciar las fases 2 y 4, respectivamente. Para apreciar la diferencia entre estas fases y la fase 3, (vibración del pie), comparamos los gráficos de detalle de Qsb, Pap y RPMm con los del resto de parámetros medidos

En función de los gráficos analizados, se propone el caudal a la salida de la bomba (Qsb) y la presión en el cilindro de apriete de la pinza (Pap) como los más significativos para la descripción general de la operación de vibrado en cuanto a la determinación de tiempos empleados en cada una de las fases.

5.1.2. Valores de los parámetros. Balance de potencias.

Como ya sabemos por los resultados obtenidos con los "ensayos en poste y árbol" y ha quedado también reflejado en el punto anterior, dentro del período de vibración, hay dos zonas bien diferenciadas: períodos transitorios de arranque y parada y régimen permanente.

La obtención de los valores medios de los parámetros de estudio se va a realizar para la vibración dentro del régimen permanente, para lo cual se desecharán los datos correspondientes a los transitorios.

Por otra parte, tal y como se puede observar en la evolución temporal, el transitorio de arranque es mucho más acusado que el de parada, lo que tiene gran interés en variables de presión (Psb, Pm y Pap) para ver las puntas que se registran en el funcionamiento del circuito, y en otras como el Mtdf (se distingue claramente el comienzo de la vibración del pie puesto que coincide con una punta de par).

Por tanto, para caracterizar la vibración de un pie se calculan el valor medio entre todos los registrados durante el régimen permanente y el valor máximo que se da en todo el período de vibración, para los parámetros que definen el funcionamiento del vibrador: Qsb, Pap, RPMm, Qm, Psb, Pm, RPMmh, A1, A2 y Mtdf. La diferencia entre los valores máximo y medio nos define, aproximadamente, la forma de la relación valor del parámetro-tiempo.

En las Tablas del Anexo III se muestran, para cada uno de los ensayos, los valores medios y máximos de los parámetros y el cálculo de las potencias en la tdf, bomba y motor hidráulico. También aparecen los datos de tiempos y consumos, cuyo cálculo veremos en el siguiente apartado.

5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Se plantea el estudio de los tiempos empleados en todas las fases de la operación de vibrado de un pie. En función de éstas, definimos:

- 1) Tiempo de apriete T_a . Desde que se aprieta el tronco del pie para comenzar la vibración (tiempo inicial del apriete, T_{ai}), que se detecta por un aumento importante de la Pap que pasa de valor nulo (pinza suelta) hasta valores de trabajo, hasta que se suelta el tronco y se dirige hacia el siguiente pie (tiempo final del apriete, T_{af}). También se observa el incremento de Q_{sb} (suministro de aceite al cilindro de apriete), RPM_m (para alcanzar las revoluciones de vibrado) y RPM_{tdf} .
- 2) Tiempo de vibración T_v . Está comprendido dentro del anterior y representa el tiempo que se está vibrando el pie, lo cual se detecta por un aumento de los parámetros medidos desde un valor nulo (Q_m , P_{sb} , P_m , RPM_{mh} , M_{tdf} y aceleraciones en la pinza). Se obtiene mediante $T_{vf}-T_{vi}$, donde T_{vf} es el tiempo final de la vibración y T_{vi} el tiempo inicial.
- 3) Tiempo de desplazamiento entre pies T_{ep} . Desde que se suelta un pie hasta que se agarra el siguiente. Los parámetros toman valores nulos (Q_m , P_{sb} , P_m , Pap , RPM_{mh} , M_{tdf} y aceleraciones en la pinza) o estables (Q_{sb} , RPM_m y RPM_{tdf}).

El desplazamiento entre pies puede referirse a:

- a) Pies del mismo árbol (T_{ep} p-p).
- b) Pies de árboles diferentes (T_{ep} a-a).

En ambos casos, el tiempo T_{ep} empleado dependerá de:

- Marco de plantación.
- Experiencia del tractorista.
- Método de trabajo.

La única forma de conocer si los pies son del mismo o distinto árbol es siguiendo el plano de operación que recoge los movimientos del vibrador.

Por último, la caracterización real de la operación exige el considerar un tiempo de pérdidas que contemple las interrupciones, fundamentalmente debidas a: interrupciones de la máquina (tractor-vibrador) o interrupciones del equipo auxiliar (movimiento de mallas). Este tiempo sólo puede registrarse mediante cronometraje manual.

El consumo de combustible se ha elaborado para los tres tiempos definidos obteniendo, por tanto, el consumo en apriete C_a , consumo en vibración C_v y consumo entre pies C_p .

Los datos y cálculos de tiempos y consumos de cada ensayo se presentan en las Tablas del Anexo III.

En la Tabla 67, se recoge la media, para las 320 vibraciones realizadas en los ensayos en condiciones de campo, de los valores medios y máximos de los parámetros medidos. Se ha observado la gran uniformidad de la mayoría de los valores en los distintos ensayos, la escasa diferencia entre el caudal de la bomba y del motor, las elevadas presiones en el cilindro de apriete y que las pérdidas de carga entre la bomba y el motor son del orden del 4%. (aproximadamente 5 bares).

El estudio de los valores máximos lleva a distinguir dos tipos de parámetros: aquellos cuyas diferencias máximos-medios son pequeñas y aquellos que tienen notables diferencias. Entre éstos se encuentran las presiones, debido a los picos que se producen en el arranque, y las aceleraciones, que son las que muestran mayores diferencias.

Tabla 67. Medias de los valores medios y máximos de los parámetros medidos en los ensayos en condiciones de campo.

	Qsb (l/min)	Pap (bar)	RPMm	Qm (l/min)	Psb (bar)	Pm (bar)	RPMmh	A1 (m/s ²)	Mtdf (N·m)	RPMtdf
V. medios	120.4	171.8	1808	116.3	147.25	142.26	1480	143.6	421.34	825
V. máximos	124.4	190.5	1873.7	121.8	178.17	176.56	1549.6	234.17	503.17	862.3

Tabla 68. Análisis de tiempos.

ENSAYO	Ta (s)	Tv (s)	Tep (s)	Tpie (s)	Tep p-p (s)	Tep a-a (s)	pies/h	s/árbol	árboles/h	ha/h
M20011	19.83	15	78.79	98.61	34.67	125.7	34.95	185.4	19.42	0.194
M20012	25.5	20.09	60.81	86.31	24.5	88.58	41.13	141.4	25.46	0.254
M20013	32.48	23.54	80.53	103.01	44.73	101.9	29.81	200	18.01	0.18
M19011	19.25	13.95	60.26	79.51	43.01	74.5	43.95	223	16.15	0.102
M19012	16.66	11.56	67.65	84.3	42.72	96.58	41.06	239	15.06	0.1
M18012	17.24	11.76	73.15	90.38	54.53	113.42	38.95	245	14.07	0.106
M18013	19.97	15.26	61.3	81.28	44.28	93.82	43.94	205	17.58	0.127
M07011	29.81	20.91	93.33	122.48	69.29	118.42	27.67	372	9.68	0.139
05014	15.05	7.97	81.64	96.7	63.35	104.5	38.1	250	14.42	0.107
MEDIA	21.75	15.56	73.05	93.62	46.79	101.05	37.73	228.98	16.65	0.15

En la Tabla 68, se presentan los resultados del análisis de tiempos. El tiempo de agarre medio es de 21.75 segundos y el de vibración de 15.56 segundos, más bajo que los que usualmente se registran, debido a la mayor formación de los tractoristas de una empresa de servicios. Con esto obtenemos un tiempo empleado en cada pie ($T_{pie}=T_a+T_{ep}$) medio de aproximadamente 94 segundos.

Destacan las elevadas pérdidas en el cambio de pie y de árbol, y las frecuentes interrupciones, o tiempos muertos, en gran parte provocados por el manejo de las lonas, que lleva a rendimientos medios de 38 pies/hora y a llegar a 17 árboles/hora, con una capacidad superficial que llega a 0.15 ha/h. Vemos que la mejora en la organización del trabajo es clave para aumentar el rendimiento en estos olivos y disminuir los costes de recolección, sino será más rentable tirar todo al suelo y recoger con barredora aunque se pierda calidad.

El análisis del consumo de combustible (Tabla 69), indica que el aprovechamiento del combustible (consumo en trabajo de vibrado, C_v) es del 45% respecto al consumo total en el pie (C_a+C_{ep}), debido a los altos tiempos de desplazamiento. No obstante los bajos consumos horarios (5.02 l/h) hacen que este sea un aspecto totalmente secundario en la recolección.

Tabla 69. Consumos de combustible.

ENSAYO	C_v (ml / pie)	Consumo total (ml / pie)	l / h
M20011	65.34	143.23	5.28
M20012	73.73	137.67	5.8
M20013	99.31	172.55	5.53
M19011	58.68	127.01	5.8
M19012	45.09	113.5	4.9
M18012	36.29	96.35	3.86
M18013	46.52	103.05	4.6
M07011	78.91	177.8	5.28
05014	24.84	110.4	4.13
MEDIA	58.75	131.28	5.02

La difícil recolección de las plantaciones tradicionales de varios pies y con podas de renovación intensas, lleva a medio plazo a la necesidad de su reconversión hacia un olivar fácilmente mecanizable.

El análisis de las potencias en el circuito hidráulico, muestra que el valor medio de 36.6 kW (50 CV) no es demasiado elevado, aunque hay algunos ensayos con media de 43.94 kW (60 CV) (Tabla 70).

La mayor pérdida de potencia se produce en la bomba hidráulica, rendimiento 79.34 %, lo que achacamos a que gira demasiado despacio para obtener mayores rendimientos. Las pérdidas bomba-motor son pequeñas, consiguiéndose un rendimiento global del circuito del 74.26 %.

Tabla 70. Potencias y rendimientos en el circuito.

ENSAYO	Ntdf (kW)	Nb (kW)	Nm (kW)	tdf-b (%)	b-m (%)	tdf-m (%)
M20011	43.94	35.55	32.78	79.39	92.43	73.34
M20012	39.18	31.45	29.40	80.03	94.03	75.24
M20013	43.26	34.33	30.77	79.49	89.97	71.47
M19011	39.23	31.57	29.04	80.71	93.77	74.49
M19012	38.72	31.21	29.45	80.76	94.47	76.29
M18012	27.20	21.51	20.45	79.01	95.01	75.04
M18013	28.63	22.96	21.75	80.75	94.67	76.58
M07011	40.25	31.86	29.58	78.42	94.34	73.98
05014	28.96	22.00	20.84	75.49	96.4	71.89
MEDIA	36.60	29.16	27.12	79.34	93.90	74.26

CONCLUSIONES

En función de los resultados obtenidos en el presente trabajo, podemos establecer las siguientes conclusiones:

- 1) Es necesario disponer de una metodología de ensayo de vibradores que permita conocer su funcionamiento en condiciones reales de campo y en condiciones controladas para la comparación entre equipos. Así mismo, es necesario desarrollar una norma de ensayo de vibradores que actualice y complete el proyecto ISO/TC 23/SC (1980).
- 2) La medida de la potencia de accionamiento en la toma de fuerza del tractor es básica para la optimización del comportamiento del circuito hidráulico de los vibradores.
- 3) Se ha mejorado y completado un sistema electrónico de medida para el ensayo de vibradores de troncos que permite el conocimiento de la potencia mecánica aplicada por la toma de fuerza del tractor, la hidráulica desarrollada por la bomba, absorbida por el motor, así como las pérdidas de carga en conducciones y elementos singulares de la circuitería. Su utilidad se centra fundamentalmente en el análisis de la incidencia de las modificaciones introducidas en el diseño de los vibradores para su optimización.
- 4) Las pérdidas de potencia en el vibrador representan un 25% de la total suministrada por el tractor. El dimensionado y características de funcionamiento de la bomba resulta de gran influencia en el rendimiento de la transformación mecánico-hidráulica.
- 5) La potencia demandada por el vibrador aumenta con el diámetro del tronco y con la velocidad de giro del motor, disminuyendo con la altura de agarre al tronco.
- 6) Se ha desarrollado un poste móvil para realizar ensayos en condiciones controlables con prototipos en desarrollo por parte de fabricantes. Tiene la ventaja de que, al ser transportable, permite su uso en la fábrica, haciendo innecesario el transporte del

prototipo y facilitando las intervenciones, ajustes y modificaciones del mismo al disponer de todo el equipo del taller.

- 7) El dimensionado de las masas de inercia y de los diámetros de las poleas que las accionan (que determinan su velocidad de giro), puede ser optimizado en relación a distintos criterios. Se han encontrado combinaciones que originan vibraciones en estrella, con una componente orbital, que son más eficaces en cuanto a porcentajes de derribo que las inicialmente montadas en el modelo comercial.
- 8) La aplicación de la metodología desarrollada al ensayo de un nuevo prototipo, capaz de generar vibraciones con distintas proporciones de orbitalidad y estrella, ha dado resultados muy satisfactorios, permitiendo orientar de una forma clara la línea a seguir para su optimización y puesta a punto. Consideramos necesaria una fase final de ensayo con medida del Porcentaje de Derribo de frutos y sobre todo en olivar tradicional.
- 9) Los datos registrados durante la recolección en condiciones reales de trabajo, proporcionan una información muy valiosa de tiempos, demandas de combustible y potencia. Las modificaciones introducidas en el sistema electrónico de medida mediante el uso de telemetría, buscando que las condiciones normales de trabajo no sean alteradas, han permitido conocer y evaluar esos parámetros, mostrando la importancia de una correcta organización de los trabajos.

Posibles líneas de trabajo para su continuación:

- 1) Simplificación del equipo electrónico de medida unificando los instrumentos utilizados en los ensayos sobre poste/árbol y los necesarios para la toma de datos en condiciones reales de campo durante la recolección.
- 2) Modelización del comportamiento del sistema pinza-árbol/poste frente a la vibración forzada, utilizando equipos de análisis de señales dinámicas y vibradores electromagnéticos que permitan la excitación con diferentes modos de vibración.
- 3) Propuesta de un protocolo de ensayo normalizado para máquinas vibradoras de árboles que complete y actualice la prenorma ISO/TC 23/SC (1980) de acuerdo a la tecnología y necesidades actuales.

BIBLIOGRAFÍA

Affeldt, H.A.; Marsall, D.E.; Brown, G.K. 1988a. Relative dynamic displacement within a trunk shaker clamp. *Transaction of the ASAE*, 31(2), 323-30.

Affeldt, H.A.; Brown, G.K.; Van Ee, G.R. 1988b. Hydraulic Power Consumption and Pressure Factors for trunk shaking cherry tress. *Applied Engineering in Agriculture*, 4 (4), 294-299

Affeldt, H.A.; Brown, G.K.; Gerrish, J.B.; Esch, T.A. 1988c. Elimination of adverse dynamic shaker loading on fruit and nut tress. *Transaction of the ASAE*, 31(6), 1649-1655.

Affeldt, H.A.; Brown, G.K.; Gerrish, J.B. 1989a. Tree growth and damage prognoses by digital image analysis. *Transaction of the ASAE*, 32 (5), 1812-1820.

Affeldt, H.A.; Brown, G.K.; Gerrish, J.B. 1989b. A new shaker for fruit and nut trees. *Journal Agricultural Engineering Research*, 44(1), 53-66.

Agrela, F.; Gil, J.; Plá, F.; Blanco, G.L.; Agüera, J. 2001. Análisis del tiempo de vibrado en el olivar. I Congreso Nacional de Ingeniería para la Agricultura y el Medio Rural. Valencia.

Agüera, J.; Cubero, A.; Gil, J.; Illanes, R. 1992. Determinación del balance energético de los tractores agrícolas. *Anales de Ingeniería Mecánica*.

Almirante, P. 1988. Evolutione delle machine per la recolta delle olive. *Olivicoltura y Elaiotecnia*, 1, 10-13.

Alper, Y.; Foux, A.; Peiper, V.H. 1976. Experimental Investigation of Orange tree Dynamics Under Mechanical Shaking. *Journal Agricultural Engineering Research*, 21, 121-131.

Allshouse, G. W.; Morrow, C.T. 1972. Over the row harvester for dwarf fruit trees. *Transactions of the ASAE* ,15(6), 1038- 1043.

Antoñozzi, E.; Nicoli, G.; Pille, M. 1984. Racolta mecánica della olivicoltura tradizionale. *Giornale Oleo Umbro*, 222-229.

Ayuso, R.; Gil J.; Gracia, C. 1983. Propiedades biomecánicas de la madera del olivo. XI Conferencia Internacional de Mecanización Agraria. Zaragoza.

Baesdaemaeker, J.; Jacques, G. 1991. Some experiences with modal analysis of the behaviour of fruit trees. I.S. ASAE Fruit, Nut and Vegetable Harvesting Mechanisation.

Barasona, J. 1991. Recolección mecanizada de la aceituna para almazaras. *Máquinas y Tractores Agrícolas*, 1, 44-49.

Barasona, J.; Agüera, J.; Gil, J.; Jalón, J. 1988. Criterios para la homologación de vibradores de troncos. Conferencia Internacional de Mecanización Agraria. Zaragoza.

Barasona, J.; Gil, J.; Agüera, J.; Gil Amores, A. 1986. Metodología para el ensayo de vibradores de troncos. II Congreso Nacional de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas.

Barasona, J.; Barasona Villarejo, M.L.; Rodríguez, R.; Cano, J. 1999. Rendimientos y costes de mecanización de la recolección de la aceituna. Monografía Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. Sevilla.

Barasona Villarejo, M.L. 2000. Diseño de un sistema de agarre al árbol para un vibrador multidireccional de masas de inercia para su aplicación al derribo de aceituna verde y de almazara. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba.

Berlage, A. G.; Langmo, R.D. 1981. Performance of a mechanical apple harvester with sorting capability. *Transactions of the ASAE*. Paper nº 81-1060.

Berlage, A.G., Willmorth, F.M. 1974. Fruit Removal Potential of high Frequency Vibrations. *Transactions of the ASAE*, 17(2), 233-234.

Blanco, G.L.; Gil, J.; Agüera, J. 1997. Estudio de las condiciones de trabajo de los tractoristas: efecto de los aperos en el nivel de vibración. Análisis de la transmisión en los asientos. Trabajo Profesional Fin de Carrera. ETSIAM. Universidad de Córdoba.

Blanco, G.L.; Gil, J.; Agüera, J. 1999. Desarrollo de un sistema electrónico para la determinación de los principales parámetros del circuito hidráulico de un vibrador de olivos. IX Simposium Científico-Técnico de Expoliva '99. Jaén.

Blanco, G.L.; Gil, J.; Agüera, J.; Agrela, F. 2000. Obtención del balance de potencias de un vibración de olivos. Anales de Ingeniería Mecánica. XIV Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica. Leganés.

Blanco, G.L.; Gil, J.; Agüera, J. 2001a. Ensayos en campo de vibradores de olivos. X Simposium Científico-Técnico de Expoliva 2001. Jaén.

Blanco, G.L.; Agüera, J.; Gil, J.; Agrela, F. 2001b. Mejora del comportamiento y diseño de los vibradores de olivos. IV Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas. SECH. Cáceres.

Blázquez, M. 1990. Normalización de la maquinaria agrícola y mercado único europeo. Maquinas y Tractores Agrícolas, 11, 31-43.

Bolli, P. 1996. Machine e cantiere di lavoro. Machine & Motori Agricole, 10, 10-12.

Brandt, T.R. 1965. Vibration Generator. U.S. Patent nº 3, 220, 268.

Broch, J.T. 1980. Mechanical Vibration and Shock Measurements. Ed. Brüel & Kjaer, Dinamarca, 370 pp.

Brown, G.K.; Frahm, J.R.; Ledebour, R.L.; Cargill, B.F. 1982. Bark damage when trunk shaking cherry trees. ASAE Paper nº 82-1557.

Brown, G.K.; Frahm, J.R.; Segerking, L.J.; Cargill, B.F. 1987. Bark strengths and shaker pads vs. Cherry bark damage during harvesting. Transactions of the ASAE, 30(5), 1266-1271.

Brown, G.K.; Rauch, M.; Timm, E. 1988. Improved clamp pad for trunk shakers. Transactions of the ASAE, 31(3), 677-682.

Castro, S.; Gil, J.; Blanco, G.L. 2001. Aplicación de un vibrador electromagnético al estudio del comportamiento de los olivos. Trabajo Profesional Fin Carrera. ETSIAM. Universidad de Córdoba.

Chen, P. 1973. Selective harvester of Valencia oranges with a flexible hook device. Transactions of the ASAE, 16(4), 645- 647.

Chen, P.; Mehlschau, J.; Ortiz-Cañavate, J. 1982. Harvesting Valencia oranges with flexible curved fingers. Transactions of the ASAE, 534-537.

Coppock, G. E. 1983. Citrus rollout harvest system. Transactions of the ASAE. 716-718.

Coppock, G.E.; Summer, H.R.; Churchill, D.B.; Hedden, S.L. 1981. Shaker methods for selective removal of oranges. Transactions of the ASAE, 902-904.

De Jaime, M.J.; Gil, J.; Barranco, D. 1998. Factores que influyen en la eficacia de derribo de aceitunas por vibración. Trabajo Profesional Fin Carrera. ETSIAM. Universidad de Córdoba.

Di Candia, E. 1978. Studio teorico-sperimentale di un sistema albero-scuotitore. Machine & Motore Agricoli, 2, 35-44

Di Candia, E.; Perellano, A. 1975. Contributo alla conoscenza del modo di vibrara dell'albero di olivo. II Seminario Olivicolo Internazionale. Córdoba.

Fontanazza, G.; Cappellini, M. 1993. Evolución de los sistemas de cultivo del olivo: de los olivares intensivos mecanizados a las plantaciones densas. Olivae, 48, 28-36.

Frahm, J.R.; Sergelind, L.J.; Brown, G.K.; Clemens, J.R. 1991. Instrumentation for bark strength and shaker pressure determination. Transactions of the ASAE, 30 (5), 1072-1076.

Frahm, J.R.; Brown, L.J. 1988. Mechanical properties of trunk shaker pads. Transactions of the ASAE, 31(5), 1674-1679.

Fridley, R.B. 1983. Vibration and vibratory mechanism for the harvest of fruit trees. En: Harvesting and handling fruits and nuts, Ed. AVI Publishing Co. Inc., EE.UU., capítulo 6.

Fridley, Y.; Hartman, J.; Chen, P.; Whisler, P. 1971. Olive harvest mechanization in California. California Agricultural Experiment Station Bulletin, 885.

Fridley, Y.; Young, C. 1975. Computer analysis of fruits detachment during tree shaking. Transaction of the ASAE, 18 (3), 409-15.

Gálvez, M.; Gil, J.; Agüera, J. 1995. Análisis del comportamiento de los tractores de orugas. Comparación con los de doble tracción. Trabajo Profesional Fin de Carrera. ETSIAM. Universidad de Córdoba.

García, L. 1997. La medida del caudal. Ed. Centro Español de Metrología. Ministerio de Fomento. AENOR, Madrid, 270 pp.

García, M.A; Gil, J.; Agüera, J. 2000. Evaluación de aperos de labranza y cultivo en vertisoles. Trabajo Profesional Fin de Carrera. ETSIAM. Universidad de Córdoba.

Garrido, M.; Barranco, D.; Navarro, C. 2001. Influencia del fosfato monopotásico en la eficiencia de vibración de la aceituna. Trabajo Profesional Fin de Carrera. ETSIAM. Universidad de Córdoba.

Ghate, S.R.; Rohrbach, R.P. 1980. Natural frequencies and associate mode shapes for a two branch structure with arbitrary geometrie. Transactions of the ASAE, 562-567.

Giametta, G. 1975. Influencia de las características geométricas de la planta en la recolección mecánica de los olivos por vibración. II Seminario Oleícola Internacional. Córdoba.

Giametta, G. 1991. Meccanizzazione della raccolta delle oliva e della frutta secca.. Motore & Machine Agricole, 9, 69-94.

Giametta, G.; Zimbalatti, G. 1993. Possibility of mechanical harvesting for old olives groves. IV International Symposium on Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering, 355-359.

Gil Amores, A.; Chico, J.; López, F. J. 2000. Estudio biométrico para determinar el centro de gravedad y la distribución de masas en los olivos. *Agricultura*, 930-932.

Gil Amores, A.; López, F. J.; Jiménez, F.; Dorado, M. P. 1996. Análisis comparativo entre la recolección mecanizada y la manual en el olivar. *Agricultura*, 933-935.

Gil Amores, A.; López, F. J.; Jiménez, F.; Dorado, M. P. 1997a. Estudio económico de recolección mecanizada de aceituna. *Agricultura*, 898-900.

Gil Amores, A.; López, F. J.; Jiménez, F.; Dorado, M. P. 1997b. Recolección mecanizada de aceituna, estudio económico. *Agricultura*, 936-941.

Gil Amores, A.; López, F. J.; Jiménez, F.; Dorado, M. P. 1998. Selección del conjunto tractor-vibrador en función del tipo de plantación en olivar. *Agricultura*, 230-233.

Gil, J. 1986. Sistemas vibratorios de recolección de frutos. *Fruticultura Profesional*, 2, 9-13.

Gil, J. 1989. Instrumentación para la medida de la energía en el laboreo. XIX Conferencia Internacional de Mecanización Agraria. Zaragoza.

Gil, J. 2001. Mecanización y recolección del olivar: calidad y costes. *Vida Rural*, noviembre, 45-48.

Gil, J.; Blanco, G.L.; Agüera, J. 2001. Optimization of the design and use of shaker machines for mechanically harvesting of the olive trees in Spain. ASAE Paper nº 01-1096.

Gil, J.; Gracia, C. 1979. Estudio de la eficiencia de transmisión de vibraciones en la estructura de los olivos. *Anales INIA. Serie Tecnología Agraria*, 5, 95-117.

Gil, J.; López, F. 2001. Mecanización del olivar. En: *El cultivo del olivo*, Ed. Mundi-Prensa, Madrid, capítulo 13.

Gil Sierra, J. 1999. Avances en la recolección mecanizada de la aceituna. *Vida Rural*, noviembre, 66-69.

Gil Sierra, J.; Ortiz-Cañavate, J. 1984. Estudio dinámico del sistema vibrador-tronco durante la vibración multidireccional de un poste de ensayos. *Anales INIA, Ser. Agric.*, 26, 159-181.

Gillespie, B.A.; Liang, T.; Myers, A.L. 1975. Multiple Spectral Analysis for tree shaker parameter optimization. *Transactions of the ASAE*, 18(2), 227-230.

Gniwek, M.T. 2000. Waveform analysis using the Fourier Transform. Publicado electrónicamente en internet, disponible en [www. dataq.com](http://www.dataq.com).

Green, M. K.; Stout, B. A.; Searcy, S.W. 1985. Instrumentation Package for Monitoring Tractor Performance. *Transaction of the ASAE*, 28, 346-349.

Grevis-James, I. W.; Bloome, P. D. 1982. A tractor Power Monitor. *Transaction of the ASAE*, 25(3), 595-597.

Grevis-James, I. W.; De Voe, D.R.; Bloome, P. D.; Batchelder, D. G.; Lambert, V.W. 1983. Microcomputer-based Data Acquisition for Tractors. *Transaction of the ASAE*, 26(3), 692-695.

Grosz, F.; Sarig, Y.; Shamruk, J.; Kendel, R.; Egozi, H. 1989. A roll-out catching harvester for citrus fruit destined for processing. *Transactions of the ASAE*, 307-310.

Hedden, S. L.; Whitney, J.D.; Churchill, D.B. 1984. Trunk shaker removal of oranges. *Transactions of the ASAE*, 27(2), 372-374.

Hedden, S.L.; Churchill, D.B.; Whitney, J.D. 1988. Trunk shakers for citrus harvesting. *Engineering in Agriculture*, 4 (2), 102-106.

Hermoso, M.; Uceda, M.; Frias, L.; Beltran, G. 1997. Maduración. En: *El Cultivo del olivo*, Ed. Mundi Prensa, Madrid, capítulo 6.

Hidalgo, M. 1984. Análisis de la respuesta dinámica del olivo sometido a vibraciones forzadas. Influencia de los parámetros de la vibración en la transmisión. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba.

Hoag, D.L.; Fridley, R.B.; Hutchinson, J.R. 1970. Effects de l'Amortissement Proportionnel, non Proportionnel et non Lineaire sur la Response Dynamique des Branches d'Arbre. *Transactions of ASAE*, 13(6), 879-884 (Traducción del inglés)

Humanes, J. 1976. *Olivicultura moderna*. INIA-FAO. Madrid.

Humanes, J. 2001. Técnicas de cultivo y su relación con la calidad del aceite de oliva. *Vida Rural*, mayo, 46-50.

Humanes, J.; Herruzo, B; Porras, A. 1980. Recolección de aceitunas: hacia una mecanización integral. *Olea*, junio, 16-84.

Illanes, R. 1990. Determinación y análisis de las fuerzas ejercidas sobre el tractor por los aperos de labranza. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba.

ISO/TC 23/SC. 1980. *Vibreurs d'abres pour la recolte d'olive. Methode d'essai*. ISO.

Lenker, D.H.; Hedden, S.L. 1968. Limb properties of citrus as criteria for tree-shaker desing. *Transactions of ASAE*, 11 (1), 129-135.

López, F.J. 1979. Modelización del subsistema pedúnculo-fruto del olivo. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba.

McHugh, C. M.; Webb, B.K.; Hood, C.E.; Garrett, T.R. 1981. A compact, single operator tree crop harvester. Transactions of the ASAE., 24(1), 26-30.

McLaughlin, N.B; Heslop, L. C.; Buckley, D.J; Amour, G.R.; Camton, B.A.; Jones, A.M.; Van Bodegon, P. 1993. A general purpose tractor instrumentation and data logging system. Transaction of the ASAE, 36(2), 265-273.

Newland, D.E. 1983. Vibraciones aleatorias y análisis espectral. Ed. AC. Madrid.

Norton, H. N. 1984. Sensores y analizadores. Ed. GG., Barcelona, 589 pp.

O'Brien, M.; Cargill, B. F.; Fridley, R.B. 1983. Harvesting and handling fruits and nuts. Ed. AVI Publishing Co. Inc., EE.UU.

Orlando, F. J.; Wiederrich, F. J.; Mortensen, D. 1982. Inertial grape shaker development. ASAE Paper nº 82-1066.

Ortiz-Cañavate, J. 1969. Métodos vibratorios para la recogida de la aceituna. Bol. INIA.

Ortiz-Cañavate, J.; Gil Sierra, J. 1993. Recolección integral de la aceituna. Máquinas y Tractores Agrícolas, 11-12, 51-54.

Ortiz-Cañavate, J.; Gil Sierra, J.; Juste, F. 1980. Desing and Testing of a Tree Shaker. ASAE Paper nº 80-1045.

Ortiz-Cañavate, J.; Gil Sierra, J.; Morales, E. 1993. Development and testing of two wrap-around shaker harvesters for olives in Spain. IV International Symposium on Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering, 347-354.

Osuna, V.; Gil Amores, A.; Gil, J. 1998. Evaluación de los parámetros coyunturales que condicionan la recolección. *Mercaceite*, 54-57.

Pacheco, A.; Rehkugler, G.E. 1980. Design and development of a spring activated impact shaker for apple harvesting. *Transactions of the ASAE*, 23(4), 826-830.

Parameswarakumar, M.; Gupta, C.P. 1991. Design parameters for vibratory mango harvesting system. *Transactions of the ASAE*, 34 (1), 14-20.

Pastor, M. 2000. *Olivar. Plantaciones intensivas y superintensivas.. Vida Rural*, febrero, 44-46.

Pellenc, R. 1993. Mechanical harvesting of olives with shaker frequency and amplitude control. IV International Symposium on Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering, 327-330.

Pellerin, R.A.; Millier, W.F.; Throop, J.A.; Lakso, A.N.; Carpenter, S.G. 1982. Apple harvesting with a double impact trunk shaker. *Transactions of the ASAE*, 25(6), 1567-1574.

Peña, D. 1993. Modelos lineales y series temporales. En: *Estadística. Modelos y métodos*. Ed. Alianza Universidad Textos, Madrid, volumen 2.

Pérez, R.; Barasona, J.; Salas, L.; Vega, V. 1997. Vibrador de amplitud y frecuencia variable para la recolección mecanizada de aceituna verde y de almazara. *Anales de Ingeniería Mecánica*, 207-214.

Pérez, R. 1997. Diseño de un sistema de vibración multidireccional de frecuencia y amplitud variables para su aplicación al derribo de aceituna verde y de almazara. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba.

Peterson, D. L.; Monroe, G. F. 1977. Continuously moving shake-catch harvester for tree crops. *Transactions of the ASAE*, 24 (6), 1478-1483.

Porras, A. 1993. *Recolección Mecanizada de aceituna. Simposium Científico-Técnico de Expoliva '93*. Jaén.

Porras, A. 1994. Recolección mecanizada de la aceituna. Consejo Oleícola Internacional. Monografía.

Porras, A. 1987. Las máquinas para la recolección de aceitunas. Principios y características. Serie Monografías nº 8. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. Sevilla.

Porras, A.; Tobes, B.; Barasona, J. 1985. Estudio teórico práctico de la vibración producida por los vibradores multidireccionales para derribo de fruto de los árboles. Anales de Ingeniería Mecánica, 3(1), 419-426.

Porras, A. 2001. Plantaciones de alta densidad en el olivar. Agricultura, 226-228.

Porras, A. 2001. Aspectos económicos y agronómicos de las plantaciones en seto. Vida Rural, mayo, 46-48.

Propuesta modificada de Directiva del Consejo sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la exposición de trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos. DOCE. Nº C230/3, 19 agosto 1994.

Real Decreto 1435/1992, de 27 de noviembre por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo 89/392/CEE relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas. B.O.E. núm. 297, 11 diciembre 1992.

Randall, R.B; Tech, B. Frequency analysis. Ed. Brüel & Kjaer, Dinamarca, 344 pp.

Ruiz-Maya, L. 1983. Métodos estadísticos de investigación. Ed. Instituto Nacional de Estadística, Madrid, 367 pp.

Salas, L. 1993. Caracterización energética de las operaciones mecanizadas bajo distintos sistemas de manejo del suelo y residuos. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba.

Sánchez-Hermosilla, J. 1997. Estudio experimental del sistema suelo-vehículo aplicado a tractores de cadenas y ruedas. Comparación de ambos sistemas de tracción. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba.

Schuler, R.T.; Bruhn, H.D. 1973. Structurally damped timoshenko beam. Theory applied to vibrating tree limbs. Transactions of the ASAE, 16 (5), 886-889.

Studer, H.F.; Singh, N. 1982. A hypocycloidal mechanics as a low frequency high velocity impactor. Transactions of the ASAE, 35 (3), 759-64.

Suhas, R.; Ghate, R.P.; Rohrbach. 1975. Mechanical properties influencing vibrations in blueberry canes. Transactions of the ASAE, 18(5), 921-925.

Summer, H.R. 1973. Selective harvesting of Valencia oranges with a vertical canopy shaker. Transactions of the ASAE, 16 (5), 1024-1026.

Summer, H. R.; Whitney, J. D.; Hedden. S. L. 1975. Foliage shaker for citrus harvesting. Part I: design and kinematics of shaker drive system. Transactions of the ASAE, 66-69.

Summer, H. R.; Churchill, D.B. 1978. Effects of three limb shaker mechanisms on removal of oranges. Transactions of the ASAE, 661-664.

Summer, H. D.; Hedden, S. L. 1982. Tractor-mounted limb shaker for harvesting citrus. . Transactions of the ASAE, 288-296.

Tennes, B. R.; Brown, G.K. 1981. Design development and testing of a sway bar shaker. ASAE Paper nº 81-1059.

Tennes, B. R.; Brown, G.K. 1986. A sway-bar shaker for apples. Transactions of the ASAE, 29 (1), 60-64.

Tennes, B. R.; Burton, C. L.; Levin, J. H. 1976. Concepts for mechanizing high density orchard fruit culture. *Transactions of the ASAE*, 19(1), 35-36.

Tim, E.J.; Brown, G.K.; Segerlind, L.J.; Van Ee, G.R. 1988. Slip belt and lubrication systems for trunk shakers. *Transactions of the ASAE*, 31 (1), 40-46.

Tombessi, A. 1988. Aspecti agronomici della raccolta meccanica. *Olivicoltura, Elaiotecnica, Olio de oliva*, 1, 22-25.

Tombessi, A. 1990. Physiological and mechanical advances in olive harvesting. *Acta Horticulturae*. 286, 12, 399-412.

Tsatsarelis, C.A. 1987. Vibratory Olive Harvesting: The response of the Fruit-Stem system to Fruit Removing actions. *Journal Agricultural Engineering Research*, 18, 77-90

Tsatsarelis, C.A.; Akriditis, C.B.; Siatras, A.J. 1984. Classification of olive varieties for effective mechanical harvesting. *Transactions of the ASAE*, 27(6), 1169-1173.

Upadahyaya, S.K.; Cooke, J.R.; Rand, R.H. 1981. Limb impact harvesting. Part I: finite element analysis. *Transactions of the ASAE*, 24(4), 856-863.

Vicario, J.; Gil, J.; Blanco, G.L. 2001. Exposición a ruido y vibraciones en la recolección mecanizada de la aceituna. XII Congreso Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. Valencia.

Walpole, R.E.; Myers, R.H. 1989. Probabilidad y estadística para ingenieros. Ed. Interamericana, México D.F., 733 pp.

Watts, C.W.; Longstaff, D.J. 1989. Mobile instrumentation and data processing system for testing field machinery. *Journal Agricultural Engineering Research*, 43, 67-76.

- Whitney, J. D.; Patterson, J. M. 1972. Development of a citrus removal device using oscillating forced air. *Transactions of the ASAE*, 15(5), 849-855.
- Whitney, J.D. 1977. Design and performance of an air shaker for citrus fruit removal. *Transactions of the ASAE*, 20(1), 52-56.
- Whitney, J.D. 1978. Performance of three air shaker patterns in citrus. *Transactions of the ASAE*, 21(3), 435-441.
- Whitney, J.D. 1981. A self-propelled air shaker for citrus fruit removal. *Transactions of the ASAE*, 555-558.
- Whitney, J.D.; Smerage, G.H.; Block, W.A. 1990. Dynamic analysis of a trunk shaker-post system. *Transactions of the ASAE*, 33 (4), 1066-1073.
- Whitney, J.D.; Churchill, D.B.; Hedden S.L. 1998. Trunk shaker for citrus harvesting. *Applied Engineering in Agriculture*, 4 (2), 93-101.
- Whitney, J. D.; Harmond, U.; Kender, W.J.; Burns, J.K.; Salyani, M. 2000. Orange removal with trunk shakers and abscission chemicals. *Transactions of the ASAE*, 16 (4), 367-371.
- Young, G. S. 1987. Tree line seal for continuous mechanical harvesting of fruit. *Applied Engineering in Agriculture*, 3(1), 25-27.
- Zocca, A.; Fridley, R. B. 1977. Mechanical harvesting of clingstone peaches. *Journal Agricultural Engineering Research*. 22, 247-257.

ANEXOS

ANEXO I

CALIBRACIÓN

En este Anexo se expondrá el procedimiento seguido en la comprobación del funcionamiento y calibración de todos los sensores utilizados en el equipo de medida, consistente en la generación de una magnitud física, cuyo valor conocemos en todo momento gracias a un equipo de medida de lectura directa, y la medición de la respuesta (salida de voltaje) del sensor correspondiente.

1. SENSORES DE PRESIÓN.

Se emplearon dos instrumentos para generar la presión:

- Prensa hidráulica.
- Calibrador de presión.

La prensa hidráulica es de accionamiento manual, permitiendo la obtención de presiones de hasta 350 kg/cm^2 y disponiendo de un manómetro de aguja para efectuar la lectura.

El calibrador de presión, de la marca DRUCK, es un equipo portátil, indicado para uso tanto en laboratorio como en campo, que permite la realización de pruebas de presión y calibración de sensores y sistemas de presión. Incorpora un microprocesador y un sensor interno de presión para medir la presión neumática aplicada a la toma exterior, generada a través de una bomba manual integrada en el equipo con la opción de provocar vacío. En el frontal, parte superior, se sitúa la pantalla, las teclas que permiten su configuración (selección de lectura de presión, voltaje o corriente o, en modo dual, presión y corriente o presión y voltaje) y la tecla de ajuste de cero; en la parte inferior, la toma de presión. Junto al mando de la bomba aparece el interruptor presión/vacío, otro de ajuste fino de presión (G 1/8'') y el de la válvula de descarga. El equipo puede alimentarse desde la red o a través de baterías de Ni-Cd teniendo, en este último caso, un período máximo de operatividad de 18 horas. El Calibrador de presión viene acompañado de un Certificado de Calibración del fabricante. Para que el instrumento realice las medidas dentro de las especificaciones de exactitud requeridas, se

aconseja la comprobación de su calibración al menos cada tres meses, dependiendo la longitud de este intervalo de la incertidumbre total aceptable en cada una de las aplicaciones particulares.

En ambos casos, prensa hidráulica y calibrador de presión, el procedimiento seguido es el mismo:

- 1) Se sitúa el sensor en la boca de salida de presión del instrumento, intercalando, si es necesario, el racor adecuado para acoplar las roscas de la conexión del sensor y de la toma de presión.
- 2) Se descarga el sistema, evacuando la presión residual que pudiera haber almacenada. Para ello, en el calibrador se abre la válvula de descarga y se acciona la tecla de ajuste de cero, mientras que en la prensa se realiza mediante el desenroscado de un tornillo situado en la parte inferior del cilindro.
- 3) Se conecta la salida eléctrica del sensor a un voltímetro (o a un osciloscopio, si nos interesa el seguimiento de la evolución de la señal en el tiempo) y registramos, como primer valor de la curva de comprobación de la calibración, el voltaje que obtenemos cuando la presión es nula, voltaje que recibe el nombre de “offset”.
- 4) Se aplica presión sobre el sensor, desde cero hasta el fondo de escala del instrumento o del sensor, tomando la medida, tanto de presión como de voltaje, en una serie de puntos. Cuando conseguimos que la presión alcance el punto de medida, esperamos hasta su estabilización para realizar la lectura. Una vez alcanzado el punto máximo se vuelven a tomar medidas, pero ahora descendiendo en la escala, completando de esta forma un ciclo.

En la Figura 1, se muestra una prueba de comprobación de la calibración utilizando la prensa hidráulica. Para facilitar la conexión de la salida eléctrica del sensor al voltímetro y

reproducir el montaje del sensor en condiciones de trabajo, se utiliza el Sistema de Acondicionamiento (apartado 3.2.2. de “Materiales y Métodos”).

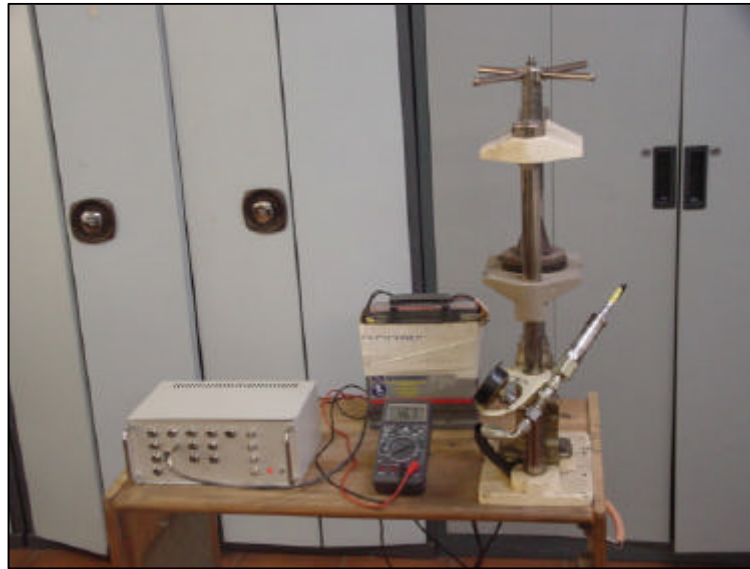


Figura 1. Prueba de comprobación de la calibración de un sensor de presión (de izquierda a derecha: Sistema de Acondicionamiento, voltímetro, batería de alimentación del sistema, prensa hidráulica y sensor).

La Tabla 1 y Figura 2, muestran los resultados de la prueba de comprobación de la calibración de un sensor de presión.

Tabla 1. Hoja de resultados de la comprobación de la calibración de un sensor de presión.

Presión (bar)		0	60	120	180	240	300	350
Medidas obtenidas (V)	Subiendo	0.0623	0.74274	1.73	2.731	3.69	4.647	5.451
	en la	0.0616	0.76	1.747	2.738	3.713	4.632	5.416
	escala	0.062	0.753	1.74	2.735	3.7	4.64	5.423
	Bajando	0.06278	0.756	1.759	2.746	3.697	4.654	5.437
	en la	0.06246	0.7624	1.759	2.737	3.737	4.633	5.422
	escala	0.06231	0.758	1.76	2.74	3.7	4.64	5.431

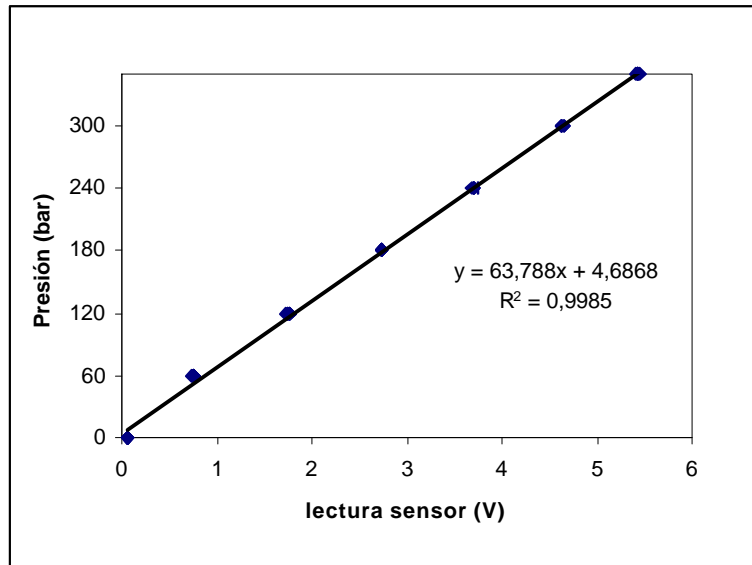


Figura 2. Curva de comprobación de la calibración de un sensor de presión.

2. SENSORES DE CAUDAL.

Para la generación del caudal necesario se utiliza el propio sistema hidráulico del vibrador, modificándolo para evitar el paso por el motor. Las tuberías flexibles de presión (tramo de salida de la bomba) y de retorno (tramo de entrada en el distribuidor del circuito de vibración), se desacoplan de su unión con los tramos rígidos, ubicados estos en los brazos de elevación, y se unen entre sí, proporcionando de esta forma la longitud suficiente para la ubicación de los caudalímetros; estos se sitúan a la salida de la bomba, tanto en la tubería de presión como en la de retorno.

Cuando es accionado el mando del distribuidor el aceite del depósito se dirige hacia el motor hidráulico a través de la tubería de presión que, al estar unida a la de retorno, permite su regreso al depósito. De esta manera se produce un retorno continuo, en el que pasará un caudal

de aceite idéntico en los tres caudalímetros, hasta que deja de accionarse el mando, cortándose pues el paso hacia el motor y retornando el aceite directamente al tanque.

Todos los caudalímetros, ya descritos en el apartado 3.2.1. de “Materiales y métodos”, se encuentran equipados de un convertidor de señal para la transformación de la señal de frecuencia, proporcionada por el sensor, en una señal analógica de voltaje, la cual puede conectarse a un Medidor Manual que permite, en función del sensor utilizado, la lectura directa de la presión, la temperatura o el caudal, y la memorización de los valores mínimo y máximo.

Realmente, la comprobación del funcionamiento del sensor se efectúa en dos fases :

- Primera fase . Obtención de la frecuencia de la señal proporcionada por el caudalímetro en respuesta al caudal de aceite

- Segunda fase . Obtención de la relación directa entre caudal y voltaje en función de la conversión frecuencia/tensión. En este caso el procedimiento es de calibración ya que debemos determinar tanto el convertidor frecuencia/tensión necesario como la conversión caudal/tensión, aunque evitamos el término, o lo entrecomillamos, por considerar que sólo deberá aplicarse cuando se realiza en un Laboratorio de Calibración certificado para tal fin.

El procedimiento se basa en la variación de las revoluciones del motor para la consecución de diferentes caudales en la bomba. Su puesta en práctica es como se describe a continuación :

- Conexión de la salida eléctrica de los caudalímetros al Sistema de Acondicionamiento (tarjetas frecuencia/tensión), para la medición del voltaje, ya sea en el voltímetro o en el osciloscopio, si deseamos la observación de la señal temporal, o directamente en el osciloscopio, para la observación y medición de la señal de frecuencia.

- Fijación de las revoluciones del tractor en un determinado valor para, una vez estabilizadas, tomar las lecturas de tensión o frecuencia de todos los caudalímetros y la del situado en la salida de la bomba, considerado como el de referencia, mediante el Medidor Manual. Esta operación se repetirá en todos aquellos puntos de la curva de comprobación de la calibración que queramos obtener.

Se efectuó una prueba inicial en la que se determinaron, mediante su grabación en la memoria del osciloscopio digital portátil, la frecuencia y el valor de tensión pico a pico (V_{p-p}) de la señal de pulsos producida por cada uno de los caudalímetros; el valor de dichos parámetros es utilizado en la elección del convertidor frecuencia/tensión. Los resultados obtenidos son mostrados en las Tablas 2.

Tabla 2. Prueba inicial de comprobación del funcionamiento de los caudalímetros.

RPMtdf = 539 rpm , Caudal = 79 l/min.

Medida	Caudalímetro 1 SCF-300-01-02	Caudalímetro 2 SCFT-600-01-02	Caudalímetro 3 SCF-300-01-02
Frecuencia (Hz)	182.33	102.87	429.37
Tensión (V_{p-p})	4.4	2.74	8.56
Conversión (Hz/l/min)	2.308	1.302	5.435

RPMtdf = 1036 rpm , Caudal = 158.9 l/min.

Medida	Caudalímetro 1 SCF-300-01-02	Caudalímetro 2 SCFT-600-01-02	Caudalímetro 3 SCF-300-01-02
Frecuencia (Hz)	355.35	206.35	820.70
Tensión (V_{p-p})	7.76	5.12	16.4
Conversión (Hz/l/min)	2.236	1.299	5.165

Con estos datos se procede a la realización de una comprobación de funcionamiento, obteniendo los valores de tensión, una vez convertidos, para diferentes caudales seleccionados variando el régimen del motor del tractor.

En la Figura 3, se muestran los resultados de una prueba de comprobación de la calibración realizada con los tres caudalímetros.

3. VELOCIDAD DE ROTACIÓN.

Consideramos en este caso los sensores para la medida de las revoluciones de la polea accionada por el motor hidráulico.

La rotación es generada por un motor eléctrico. En el eje de salida se sitúa una polea y, sobre ella, una pegatina reflectante para detectar, gracias al sensor, cada una de las vueltas de dicha polea.

Para la medición de las revoluciones del motor se utiliza un tacómetro manual marca ONO-SOKKI con un transductor fotoeléctrico incorporado. La lectura, en revoluciones por minuto, se muestra en formato digital en la pantalla frontal del instrumento.

La prueba consiste en la generación de diferentes revoluciones con el motor eléctrico y en la lectura alternativa del tacómetro y de la tensión producida por el sensor.

El sensor ONO-SOKKI necesita un convertidor frecuencia/tensión por lo que además habrá que registrar la salida de pulsos en el osciloscopio digital.

Una vez comprobado el funcionamiento del sensor, se procederá al montaje sobre la cabeza vibradora para evaluar su comportamiento en condiciones reales mediante la visualización en el osciloscopio, durante la vibración, de su salida (frecuencia o tensión). Esta

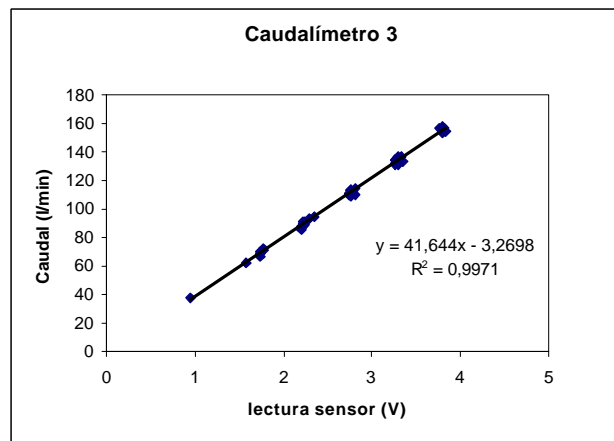
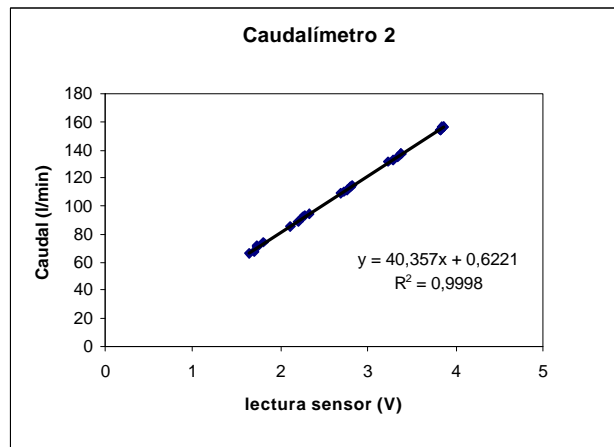
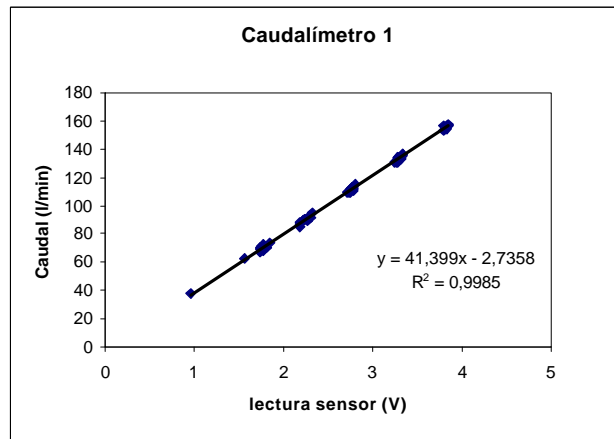


Figura 3. Curva de comprobación de la calibración de sensores de caudal.

fase es de una gran importancia pues en ella se puede detectar la correcta ubicación tanto del sensor como de la marca reflectante situada en la polea; en caso de ubicación incorrecta puede llegar a perderse la señal completa o parcialmente. Merece citar que, en una de las pruebas, y debido al pequeño tamaño de la señal reflectante, se perdió el 16% de los pulsos de la señal.

4.- SENSORES DE LA TDF (PAR Y VELOCIDAD DE ROTACIÓN).

En ambos casos la comprobación del funcionamiento se hizo utilizando la propia tdf del tractor como eje sobre el que ubicar los sensores, elemento generador de la velocidad de rotación y como soporte de la acción del par.

La generación del par estático aplicado a la tdf se realizó mediante el método tradicional de colocación de pesas en el extremo de una barra metálica.

El procedimiento es similar al seguido con los sensores anteriores :

- Conexión de la salida eléctrica de los sensores al Sistema de Acondicionamiento para efectuar la medida de la tensión en el voltímetro o en el osciloscopio.

- Colocación de un determinado peso y lectura de tensión una vez estabilizada. Se continuará aumentando el peso hasta el valor máximo considerado, anotando los correspondientes valores de tensión de salida del sensor.

Los resultados obtenidos para el modelo utilizado en la Variante 1, se muestran en la Figura 4.

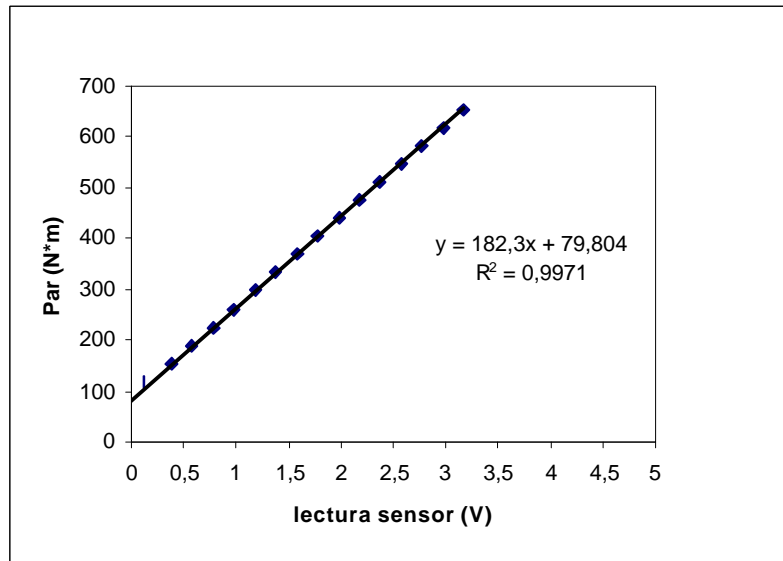


Figura 4. Curva de comprobación de la calibración del sensor de par en la tdf

En el caso del sensor de velocidad de giro de la tdf se ha empleado el tacómetro manual para la obtención de la lectura directa. Con la variación del régimen de motor se consiguen diferentes velocidades en la tdf y, por tanto, diferentes puntos en la curva de comprobación del funcionamiento del sensor. Los resultados, para el sensor de la Variante 1, aparecen expuestos en la Figura 5.

5. SENSORES DE ACELERACIÓN.

Cuando se utiliza un sensor con medidas en las que la magnitud varía de forma rápida con el tiempo, se hace necesaria la determinación de las características dinámicas del transductor. Estas pueden venir definidas, como en el caso de los acelerómetros, por la respuesta frecuencial, es decir, por el cambio experimentado por la frecuencia debido a la variación de la sensibilidad dentro de un rango establecido de frecuencias y variaciones senoidales de la magnitud física aplicada al sensor.

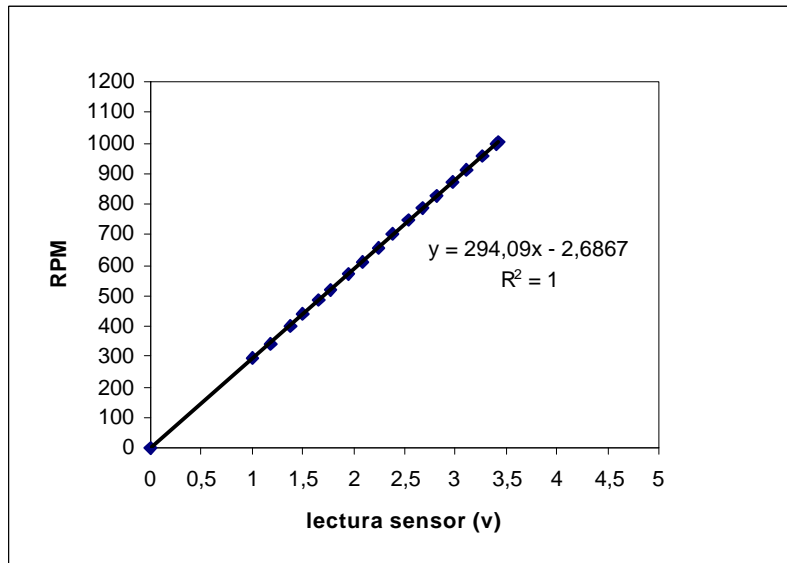


Figura 5. Curva de comprobación de la calibración del sensor de velocidad de rotación de la tdf.

La calibración del sensor se realiza por comparación con un acelerómetro de referencia, generado de forma controlada gracias a un vibrador electromagnético.

De manera más sencilla se puede proceder a la comprobación de la calibración de un acelerómetro mediante un calibrador, pequeño vibrador electromagnético generador de una determinada aceleración a una determinada frecuencia. Midiendo la salida eléctrica del sensor se puede contrastar su correspondencia con el valor de la señal proporcionada.

En este trabajo, no se ha comprobado la calibración de los acelerómetros por considerar que no contamos con ningún sistema de referencia suficientemente adecuado. No obstante, se dispone de un método basado en un vibrador electromagnético y un vibrómetro para medir la aceleración generada, aplicado en un estudio anterior realizado por el autor para determinar el comportamiento de un Equipo de Medida de Vibraciones en el Cuerpo Humano del que no se disponía de la información necesaria para su empleo (Blanco et al., 1997).

ANEXO II

TABLAS DE RESULTADOS DE LOS “ENSAYOS DEL CIRCUITO MECÁNICO-HIDRÁULICO DE GENERACIÓN DE VIBRACIÓN”

Valores de los parámetros de estudio en el circuito. Balance de potencias.

ENSAYOS EN ÁRBOLES.

Tablas

Ensayos ÁRBOL.....	1, 2
Ensayos ÁRBOL 1.....	3, 4
Ensayos ÁRBOL 2.....	5, 6

ENSAYOS EN POSTE.

Poste normalizado según ISO/TC 23/SC.

Ensayos POSTEG.....	7, 8
---------------------	------

Nueva propuesta de poste móvil.

Ensayos HALCON 8.....	9, 10
Ensayos HALCON 7.....	11, 12
Ensayos HALCON 2.....	13, 14
Ensayos HALCON 3.....	15, 16

Caudales (Qsb, Qsbd, Qm): l/min

Presiones (Psb, Pm, Pap): bar

Velocidades de giro (RPMm, RPMtdf, RPMmh): rpm

Par (Mtdf): N· m

Potencias (Ntdf, Nb, Nm): kW

Altura de agarre (Hag): cm

Aceleraciones, frecuencias y eficacia de la transmisión de la vibración.

ENSAYOS EN ÁRBOLES.

Tablas

Ensayos ÁRBOL 1.....17

Ensayos ÁRBOL 2.....18

ENSAYOS EN POSTE.

Poste normalizado según ISO/TC 23/SC.

Ensayos POSTEG.....19

Nueva propuesta de poste móvil.

Ensayos HALCON 8.....20

Ensayos HALCON 7.....21

Ensayos HALCON 2.....22

Ensayos HALCON 3.....23

Aceleraciones $A_{ef,a}$, $A_{ef,p}$, A_{eft} : m/s^2 valor eficaz

Eficacia de la transmisión de la vibración (E_m , E_m t-p): tanto por uno

Velocidad de giro RPMm: rpm

Altura de agarre (H_{ag}): cm

ENSAYOS ÁRBOL

FICHERO	Qsb	Qsbd	Psb	Qm	Pm	RPMtdf	Mtdf	RPMmh	Pap
a1	-	138.20	137.63	134.00	125.50	890.05	429.46	1509.78	160.1
a1bis	-	136.70	132.82	133.54	121.18	893.05	414.63	1504.42	160.16
a13	132.15	133.53	115.25	130.27	103.43	891.7	358.34	1446.77	151.49
a13bis	132.61	135.08	112.36	132.09	101.01	889.63	349.16	1475.84	151.92
a14	131.97	134.36	140.19	132.12	128.90	890.09	423.02	1475.69	162.01
a14bis	131.66	133.49	135.04	131.18	124.40	887.86	406.22	1459.95	161.26
a2	133.86	133.48	117.15	132.70	104.61	892.78	354.66	1477.34	152.05
a2bis1	134.10	132.72	117.80	131.52	105.85	893	351.01	1455.05	159.25
a3	134.66	133.00	97.97	132.06	86.05	898.26	298.55	1462.97	152.47
a3bis	134.68	132.86	96.01	131.48	84.35	898.02	292.00	1454.98	154.64
a5	133.44	131.56	131.31	130.15	119.78	892.88	383.76	1428.14	169.92
a5bis	133.29	131.41	127.60	129.50	116.10	894.45	373.84	1424.67	169.1
a4	133.41	132.30	144.72	130.19	132.50	894.01	421.37	1433.63	173.16
a4bis	132.79	131.12	140.87	129.09	128.57	891.53	407.90	1419.47	172.64
a6	135.07	112.16	91.76	111.69	81.18	904.41	277.87	1240.8	148.13
a6bis	136.32	92.45	72.96	92.64	66.03	910.39	226.79	1033.64	138.25
a7	132.72	122.86	115.74	119.09	104.59	893.23	360.29	1342.7	150.71
a7bis	132.77	137.91	126.67	133.88	114.93	890.89	387.68	1493.31	156.86
a8	133.83	135.64	118.50	132.52	107.53	893.98	362.07	1471.26	154.48
a8bis	134.98	135.31	116.64	132.76	104.55	892.78	350.73	1464.85	156.17
a9	134.85	135.95	129.82	133.40	116.95	900.93	388.48	1475.93	161.62
a9bis	136.40	136.30	125.56	133.86	112.37	905.25	374.38	1475.77	160.46
a9bis1	134.25	133.43	109.32	131.72	97.41	890.6	326.86	1452.83	155.61
a10	135.22	134.68	131.70	133.17	119.01	898.18	391.26	1470.9	167.08
a10bis	135.68	122.31	117.72	120.85	105.81	902.72	352.65	1336.51	165.98
a11	133.77	132.48	129.69	131.50	117.68	893.09	378.13	1451.95	164.42
a11bis	133.71	132.05	126.02	130.70	113.83	893.1	367.27	1438.68	165.68

Tabla 1. Ensayos ÁRBOL. Valores de los parámetros de estudio en el circuito.

ENSAYOS ÁRBOL

FICHERO	Potencias (kW)			Rendimientos (%)		
	Ntdf	Nb	Nm	tdf-b	b-m	tdf-m
a1	39.99	-	27.45	-	-	68.64
a1bis	38.77	-	26.41	-	-	68.12
a13	33.5	24.85	21.97	74.18	88.41	65.58
a13bis	32.59	24.31	21.76	74.59	89.51	66.77
a14	39.54	30.2	27.79	76.38	92.02	70.28
a14bis	37.79	29.08	26.63	76.95	91.57	70.47
a2	33.23	25.59	22.64	77.01	88.47	68.13
a2bis1	32.84	25.78	22.71	78.50	88.09	69.15
a3	28.08	21.52	18.53	76.64	86.11	65.99
a3bis	27.48	21.09	18.08	76.75	85.73	65.79
a5	35.85	28.59	25.44	79.75	88.98	70.96
a5bis	35.04	27.76	24.53	79.22	88.36	70.01
a4	39.43	31.51	28.15	79.91	89.34	71.39
a4bis	38.07	30.53	27.09	80.19	88.73	71.16
a6	26.31	20.21	14.78	76.81	73.13	56.18
a6bis	21.56	16.21	9.949	75.19	61.38	46.15
a7	33.69	25.07	20.32	74.41	81.05	60.31
a7bis	36.15	27.45	25.11	75.93	91.48	69.46
a8	33.91	25.87	23.25	76.29	89.87	68.56
a8bis	32.8	25.69	22.65	78.32	88.17	69.05
a9	36.61	28.57	25.46	78.04	89.11	69.54
a9bis	35.52	27.95	24.54	78.69	87.80	69.09
a9bis1	30.48	23.94	20.93	78.54	87.43	68.67
a10	36.81	29.07	25.86	78.97	88.96	70.25
a10bis	33.28	26.06	20.86	78.31	80.05	62.68
a11	35.33	28.31	25.25	80.13	89.19	71.47
a11bis	34.32	27.5	24.28	80.13	88.29	70.75

Tabla 2. Ensayos ÁRBOL. Balance de potencias.

ENSAYOS ÁRBOL 1

FICHERO	Hag	RPMm	Qsbd	Psb	Qm	Pm	RPMtdf	Mtdf	RPMmh	Pap
A3618	60	1800	109.66	165.702	99.2552	147.179	781.49	463.388	1329.92	155.9
A3622		2200	113.01	169.49	102.53	150.52	971.1	485.571	1365.39	159.23
A1618	60	1800	115.42	151.40	106.38	133.89	809.53	424.617	1430.87	141.98
A1622		2200	131.829	169.493	119.717	149.424	988.31	486.12	1586.81	157.34
A4618	60	1800	113.351	157.97	103.099	140.116	791.4	442.28	1378.46	149.27
A4622		2200	123.876	169.235	111.977	149.746	985.17	486.674	1477.62	158.55
A4818	80	1800	116.161	144.247	112.388	127.279	805.41	402.925	1503.98	138.12
A4822		2200	138.579	168.202	127.337	147.691	993.45	482.992	1686.7	156.88
A10618	60	1800	117.577	136.777	116.698	120.655	809.63	382.332	1557.59	135.57
A10622		2200	142.866	165.471	131.92	144.951	983.94	474.238	1745.04	154.24
A10818	80	1800	-							
A10822		2200	116.922	118.592	116.874	104.006	805.15	331.959	1564.13	125.46
A9618	60	1800	114.819	148.429	108.971	131.33	803.66	415.461	1448.42	141.65
A9622		2200	136.278	169.185	124.123	148.617	997.74	485.138	1638.19	157.22
A9818	80	1800	117.13	145.879	112.474	129.094	806.3	407.262	1499.13	140.51
A9822		2200	138.847	167.594	167.594	127.109	980.78	479.982	1678.96	156.4
A5618	60	1800	115.044	137.05	114.352	120.247	803.58	379.937	1519.69	135.23
A5622		2200	128.192	148.765	123.331	129.819	900.7	416.879	1633.81	142.73
A11618	60	1800	101.868	169.392	98.5956	148.772	783.58	493.834	1372.68	158.55
A11622		2200	109.286	169.619	104.843	148.77	969.82	509.02	1444.34	158.47
A11818b	80	1800	111.117	154.336	106.268	135.14	783.22	439.934	1460.65	144.23
A11822		2200	123.879	169.988	115.799	149.093	972.96	498.946	1571.83	158
A8618a	60	1800	113.12	162.344	105.452	143.38	806.86	464.685	1430.31	151.31
A8622		2200	123.51	169.995	113.613	149.559	980.5	498.577	1538.85	157.72
A8818	80	1800	113.719	148.367	110.953	130.863	791.79	422.33	1501.26	141.84
A8822		2200	135.057	169.56	126.202	148.59	1004.8	496.448	1702.37	157.29
A6618	60	1800	116.166	146.668	114.628	128.798	811.13	416.895	1551.74	141.07
A6622		2200	134.912	169.005	124.384	147.91	982.03	498.593	1673.26	156.62
A6818a	80	1800	113.777	139.3	113.462	122.69	789.02	393.578	1531.48	137.32
A6822		2200	139.962	166.838	129.2	145.773	980.78	483.69	1727.93	154.84
A7618	60	1800	110.885	147.206	106.299	129.978	802.35	417.176	1428.76	139.66
A7622		2200	134.759	168.728	123.773	148.13	983.69	489.492	1653.79	157.28
A7818	80	1800	115.817	138.163	114.357	121.728	801.91	390.68	1534.13	135.27
A7822		2200	142.928	163.379	131.713	142.944	982.67	471.338	1758.61	151.72

Tabla 3. Ensayos ÁRBOL 1. Valores de los parámetros de estudio en el circuito.

ENSAYOS ÁRBOL 1

FICHERO	Hag	RPMm	Potencias (kW)		Rdto. (%)
			Ntdf	Nm	tdf-m
A3618	60	1800	37.96	23.88	62.91
A3622		2200	49.37	25.24	51.12
A1618	60	1800	36.03	23.29	64.64
A1622		2200	50.33	29.25	58.12
A4618	60	1800	36.73	23.61	64.28
A4622		2200	50.18	27.42	54.64
A4818	80	1800	34.08	23.39	68.63
A4822		2200	50.25	30.75	61.19
A10618	60	1800	32.54	23.02	70.74
A10622		2200	48.89	31.26	63.94
A10818	80	1800	-	-	-
A10822		2200	28.07	19.87	70.79
A9618	60	1800	35.06	23.4	66.74
A9622		2200	50.72	30.16	59.46
A9818	80	1800	34.49	23.74	68.83
A9822		2200	49.31	30.63	62.12
A5618	60	1800	32.06	22.48	70.12
A5622		2200	39.35	26.18	66.53
A11618	60	1800	40.51	23.98	59.20
A11622		2200	51.69	25.5	49.33
A11818b	80	1800	36.13	23.48	64.99
A11822		2200	50.87	28.23	55.49
A8618a	60	1800	39.35	24.72	62.82
A8622		2200	51.17	27.78	54.29
A8818	80	1800	35.07	23.74	67.69
A8822		2200	52.25	30.66	58.68
A6618	60	1800	35.51	24.14	67.98
A6622		2200	50.67	30.08	59.36
A6818a	80	1800	32.59	22.76	69.84
A6822		2200	49.74	30.79	61.90
A7618	60	1800	35.22	22.59	64.14
A7622		2200	50.44	29.98	59.44
A7818	80	1800	32.98	22.76	69.01
A7822		2200	48.54	30.78	63.41

Tabla 4. Ensayos ÁRBOL 1. Balance de potencias.

ENSAYOS ÁRBOL 2 (I)

FICHERO	Hag	RPMm	Qsbd	Psb	Qm	Pm	RPMtdf	Mtdf	RPMmh	Pap
G1416	40	1600	73.93	134.74	75.62	127.89	706.42	404.47	1064.89	155.79
G1419		1900	90.76	159.62	85.24	151.00	831.71	484.58	1174.53	175.81
G1422		2200	99.32	167.58	90.45	158.35	973.87	514.79	1232.94	183.19
G17516a	70	1600	75.71	122.42	78.24	116.07	707.55	366.24	1080.36	149.45
G17519		1900	94.98	149.09	92.21	141.11	844.49	448.42	1248.59	165.3
G17522		2200	111.03	166.52	100.41	157.19	982.23	507.38	1343.59	181.13
G4416	40	1600	74.59	120.60	76.31	115.11	707.53	362.51	1053.63	148.22
G4419		1900	93.58	154.22	87.13	147.06	839.78	467.13	1176.86	170.9
G4422		2200	102.65	167.30	91.16	159.39	983.56	510.05	1217.92	183.49
G4716	70	1600	74.94	119.09	76.89	113.84	714.41	358.47	1047.94	147.01
G4719		1900	94.17	148.00	89.97	140.89	847.47	445.63	1206.75	165.35
G4722		2200	112.33	166.27	100.42	157.59	988.66	505.39	1330.62	182.18
G2416	40	1600	77.05	128.34	78.00	123.30	724.25	376.34	1045.82	150.48
G2419		1900	97.53	134.93	98.03	128.37	851.56	401.7	1292.65	156.52
G2422		2200	118.57	143.72	116.00	135.13	990.93	434.4	1541.96	162.07
G2716	70	1600	77.72	105.53	79.29	101.17	717.68	312.58	1058.56	135.5
G2719		1900	100.29	107.43	101.09	101.55	851.18	323.67	1351.77	134.79
G2722		2200	119.48	129.58	118.62	121.42	994.83	391.12	1579.75	153.22
G21016	100	1600	71.63	78.43	72.54	74.97	719.37	237.42	973.245	128.4
G21019		1900	99.64	98.80	100.09	93.09	854.75	299.82	1335.03	135.57
G21022		2200	119.76	118.67	118.63	111.22	993.05	362.88	1576.53	146.05
G10416a	40	1600	70.55	106.18	70.81	102.30	-	-	913.442	141.6
G10419a		1900	92.75	120.84	92.29	115.28	-	-	1201.21	147.16
G10422a		2200	113.66	143.74	107.29	136.12	-	-	1389.99	163.01
G10716a	70	1600	78.52	85.95	78.84	82.47	727.13	259.03	1036.94	132.83
G10719		1900	97.63	97.58	97.22	92.41	867.98	297.17	1280.48	131.13
G10722		2200	117.08	121.48	114.97	114.38	998.82	367.32	1511.82	148.66
G5416	40	1600	65.29	81.45	64.36	75.70	-	-	846.441	125.06
G5419		1900	83.32	118.46	81.97	110.78	-	-	1062.28	148.02
G5422		2200	111.48	154.46	99.19	146.22	-	-	1274.18	174.17
G5616	60	1600	78.15	91.72	78.11	87.87	-	-	1017.15	128.38
G5619		1900	97.71	112.22	97.23	106.51	-	-	1268.66	142.93
G5622		2200	118.19	139.71	113.11	132.24	-	-	1471.02	159.94
G58516	85	1600	78.17	81.71	77.97	78.04	-	-	1014.14	133
G58519		1900	97.69	100.66	96.56	95.80	-	-	1258.07	132.69
G58522		2200	117.96	122.75	115.56	115.89	-	-	1507.61	149.39

Tabla 5. Ensayos ÁRBOL2. Valores de los parámetros de estudio en el circuito.

ENSAYOS ÁRBOL 2 (II)

FICHERO	Hag	RPMm	Qsbd	Psb	Qm	Pm	RPMtdf	Mtdf	RPMmh	Pap
G9416	40	1600	75.21	116.67	78.37	108.53	710.14	358	1104.28	148.74
G9419		1900	90.98	146.31	90.61	136.85	826.8	448.65	1250.17	164.25
G9422		2200	100.77	167.07	93.23	156.58	988.46	517.12	1276.2	182.19
G9716	70	1600	77.19	113.67	79.56	106.03	724.05	346.12	1106.41	144.47
G9719		1900	95.66	127.36	97.17	118.18	849.99	392.05	1324.99	153.55
G9722		2200	116.08	152.25	112.22	140.81	995.02	470.07	1513.46	170.17
G91016	100	1600	82.70	86.47	83.80	79.40	747.59	269.68	1151.13	130.37
G91019		1900	96.31	118.04	97.22	109.58	855.49	361.05	1317.25	145.49
G91022		2200	117.53	142.00	115.46	131.15	1000.5	434.8	1546.99	163.41
G6416	40	1600	76.80	118.21	78.44	110.10	717.65	345.8	1060.73	146.55
G6419		1900	91.93	140.40	89.55	130.99	848.39	414.22	1199.17	160.06
G6422		2200	109.03	166.41	95.21	155.49	998.81	497.05	1260.76	183.04
G6716	70	1600	80.44	102.32	81.42	94.10	760.21	303.37	1089.53	136.13
G6719		1900	93.71	123.29	94.25	115.02	855.01	365.54	1254.22	149.53
G6722		2200	111.84	149.20	104.84	139.22	983.89	444.13	1384.43	167.38
G61016	100	1600	8004.2	86.04	80.56	80.26	744.87	256.73	1077.32	129.85
G61019		1900	98.77	108.07	97.36	100.48	879.19	322.24	1294.86	140.72
G61022		2200	114.19	131.91	110.80	122.92	992.81	394.19	1464.17	157.66
G61316	130	1600	84.68	74.90	84.45	68.72	756.97	226.47	1131.22	126.58
G61319		1900	100.25	96.46	98.79	88.95	876.52	291.89	1313.78	134.32
G61322		2200	117.80	120.00	115.62	110.76	1004.9	360.52	1530.97	148
G7416	40	1600	85.51	131.87	83.50	125.60	741.41	380.4	1098.8	155.27
G7419		1900	90.48	137.16	87.32	130.41	843.83	401.27	1139.94	158.24
G7422		2200	113.64	149.14	105.34	140.28	994.56	443.24	1371.3	168.64
G7716	70	1600	81.56	138.59	76.31	132.47	743.51	400.16	988.737	158.07
G7719		1900	93.90	125.21	93.36	118.30	859.13	368.51	1208.53	151.59
G7722		2200	115.41	138.35	111.44	129.54	1001	411.2	1457.49	160.22
G8416	40	1600	77.04	118.18	76.79	112.53	723.08	341.97	998.156	146.43
G8419		1900	91.25	141.37	85.19	134.30	854.24	411.97	1104.02	161.59
G8422		2200	110.03	160.26	95.45	151.34	993.97	473.11	1232.34	178.68
G8716	70	1600	78.32	99.45	78.20	93.96	748.87	290.86	1019.18	136.43
G8719		1900	95.49	111.05	94.31	104.22	858.09	328.53	1227.48	142.29
G8722		2200	110.89	130.93	108.11	122.50	1005.3	388.06	1408.44	155.53
G81016	100	1600	81.06	85.62	80.62	79.75	751.87	251.25	1052.98	127.01
G81019		1900	97.077	98.05	95.55	91.26	863.62	291.16	1246.92	134.24
G81022		2200	116.83	119.78	113.17	111.45	1001.9	357.56	1478.19	148.98

Tabla 5. Ensayos ÁRBOL2. Valores de los parámetros de estudio en el circuito (continuación).

ENSAYOS ÁRBOL 2 (III)

FICHERO	Hag	RPMm	Qsbd	Psb	Qm	Pm	RPMtdf	Mtdf	RPMmh	Pap
T2416	40	1600	70.19	118.73	73.62	111.60	710.17	355.99	1042.82	147.59
T2419		1900	88.00	146.63	88.76	137.62	841.54	441.16	1227.77	162.94
T2422		2200	110.08	167.11	102.52	156.45	981.37	509.08	1393.56	180.16
T2716	70	1600	78.51	105.26	81.08	98.75	715.74	316.87	1122.67	135.48
T2719		1900	95.37	137.75	97.04	129.45	840.6	412.89	1318.69	157.64
T2722		2200	117.34	154.33	113.54	143.42	991.72	467.79	1519.46	169.98
T21016	100	1600	80.46	88.39	82.46	81.75	721.69	267.54	1129.93	135.82
T21019		1900	98.89	119.22	100.10	110.92	850.71	358.21	1354.54	144.87
T21022		2200	116.93	135.45	117.40	125.43	983.05	410.35	1580.05	157.58
T5416	40	1600	76.60	138.39	76.82	132.20	715.84	398.24	1032.33	158.76
T5419		1900	95.10	154.69	86.91	147.08	844.94	453.18	1156.13	172.72
T5422		2200	114.99	166.10	102.22	156.93	993.04	493.45	1340.34	182.64
T5716	70	1600	79.79	107.86	80.92	102.31	717.22	312.47	1084.02	135.82
T5719		1900	99.35	127.72	99.36	120.53	847.02	373.66	1322.76	151.86
T5722		2200	119.26	145.60	115.03	136.60	989.23	430.08	1522.77	165.27
T51016	100	1600	81.71	90.81	82.54	85.37	719.22	261.14	1104.22	119.17
T51019		1900	99.81	115.17	100.23	108.64	847.08	333.94	1331.05	142.34
T51022		2200	120.97	142.08	117.42	139.52	993.88	414.14	1550.76	163.43
T4416	40	1600	77.67	104.24	78.55	99.71	716.63	298.29	1042.71	137.56
T4419		1900	100.26	116.68	100.08	110.34	859.52	338.53	1328.26	145.03
T4422		2200	119.65	141.32	115.60	133.03	995.34	414.09	1521.08	163.9
T4716	70	1600	79.73	89.07	80.22	84.12	725.17	256.28	1063.33	133
T4719		1900	100.60	102.26	99.27	96.02	856.02	297.87	1314.72	136.26
T4722		2200	121.30	128.85	118.22	120.73	999.08	377.83	1558.69	154.81
T41016	100	1600	80.37	87.10	80.65	82.00	724.1	249.79	1066.75	133.57
T41019		1900	99.98	103.40	99.46	97.42	855.32	299.62	1312.64	132.79
T41022		2200	119.96	130.16	116.94	122.14	996.24	380.06	1537.34	155.23
T6416	40	1600	77.75	120.50	78.34	116.46	709.13	338.4	1025.48	148.2
T6419		1900	-	-	-	-	-	-	-	-
T6422		2200	118.52	142.90	113.13	135.38	990.49	415.67	1473.98	164.6
T6422a		2200	120.19	139.94	116.40	132.51	994.42	405.81	1522.97	160.81
T6716a	70	1600	81.14	90.25	81.36	86.65	722.27	257.89	1067.58	133.67
T671		1900	101.83	104.33	100.31	98.32	853.59	301.31	1315.76	137.47
T6722		2200	121.07	126.80	117.78	119.62	997.14	368.77	1542.12	153.37
T61016	100	1600	81.17	83.11	81.04	79.58	718.37	236.55	1065.25	134.84
T61019		1900	101.52	95.00	100.55	89.64	849.79	275.24	1321.28	128.52
T61022		2200	122.18	117.33	117.04	110.11	990.34	341.94	1535.67	146.88

Tabla 5. Ensayos ÁRBOL2. Valores de los parámetros de estudio en el circuito (continuación).

ENSAYOS ÁRBOL 2 (IV)

FICHERO	Hag	RPMm	Qsbd	Psb	Qm	Pm	RPMtdf	Mtdf	RPMmh	Pap
T6716b	70	1600	76.49	100.54	76.81	96.38	709.13	285.74	1010.16	139.52
T6719b		1900	96.68	109.65	95.54	104.17	850.04	318.98	1258.18	141.11
T6722b		2200	119.64	137.08	115.74	129.30	992.21	400.96	1516.97	160.74
T61016b	100	1600	81.40	82.32	81.54	78.49	719.47	237.88	1074.55	132.42
T61019b		1900	101.76	97.59	100.37	92.12	859.85	285.69	1320.72	133.37
T61022b		2200	121.38	121.64	117.52	114.22	996.22	357.9	1541.63	150.84
T10416	40	1600	77.71	110.14	78.28	106.22	714.19	317.33	1018.4	140.16
T10419		1900	95.50	127.35	93.40	121.97	844.36	372.47	1213.66	152.94
T10422		2200	117.257	148.00	109.15	140.79	991.98	435.7	1415.04	167.9
T10716	70	1600	79.11	94.14	79.37	90.31	710.76	272.27	1034.55	132.12
T10719		1900	98.46	107.33	96.83	102.12	853.98	317.01	1263.59	140.21
T10722		2200	119.29	132.20	115.23	125.10	991.5	390.39	1503.08	157.38
T101016	100	1600	80.97	80.34	80.71	76.26	725.76	236.26	1055.53	128.99
T101019		1900	101.02	95.70	99.41	90.03	858.11	284.33	1297.53	130.58
T101022		2200	121.23	112.87	117.35	105.43	997.9	338.04	1535.22	142.88
T13416	40	1600	71.23	128.92	74.76	121.50	712.61	387.27	1046.59	153.24
T13419		1900	92.04	148.24	92.11	138.99	843.23	447.57	1268.95	165.3
T13422		2200	112.70	162.91	107.18	151.62	988.08	499.56	1455.24	177.38
T13816	80	1600	76.09	102.24	78.45	95.63	712.48	313.22	1084.15	133.62
T13819		1900	96.44	116.27	98.05	108.13	848.22	358.96	1340.62	143.71
T13822		2200	117.33	141.04	117.05	130.93	995.17	435.3	1585.95	162.98
T14416	40	1600	73.41	114.54	75.39	108.80	709.34	340.1	1020.3	139.81
T14419		1900	94.25	134.59	93.89	126.99	843.8	402.54	1261.35	158.17
T14422		2200	114.76	159.72	105.12	150.42	987.3	481.17	1399.12	176.52
T141016	100	1600	75.74	79.82	76.30	74.90	720.08	242.1	1026.94	130.85
T141019		1900	100.63	105.73	99.61	99.07	851.61	317.83	1325.21	137.07
T141022		2200	119.58	139.27	116.51	130.54	995.38	415.81	1540.24	160.07
T15416	40	1600	86.54	101.54	87.13	95.88	725.96	289.88	1153.73	131.15
T15419		1900	106.43	126.56	105.40	119.24	840.49	363.34	1388.84	150.03
T15422		2200	127.62	151.64	118.58	142.07	991.53	441.77	1551.07	168.97
T15716	70	1600	90.75	91.06	90.63	85.51	720.1	264.62	1196.52	128.85
T15719		1900	108.20	110.93	106.02	104.04	853.76	325.18	1393.53	140.82
T15722		2200	129.90	143.20	123.69	133.91	992.47	419.27	1617.03	163.26
T151016	100	1600	89.46	76.98	89.43	71.96	711.93	224.86	1179.31	122.24
T151019		1900	111.79	99.41	109.78	92.50	853.34	291.65	1444.03	132.7
T151022		2200	132.60	130.49	128.18	121.17	996.38	383.67	1680.61	154.7

Tabla 5. Ensayos ÁRBOL2. Valores de los parámetros de estudio en el circuito (continuación).

ENSAYOS ÁRBOL 2 (V)

FICHERO	Hag	RPMm	Qsbd	Psb	Qm	Pm	RPMtdf	Mtdf	RPMmh	Pap
T16416	40	1600	83.61	115.34	84.00	109.78	715.61	326.54	1086.16	142.98
T16419		1900	102.90	141.13	96.68	133.72	844.3	402.3	1246.39	159.27
T16422		2200	123.33	154.51	110.98	145.32	985.58	448.27	1427.85	171.1
T16716	70	1600	81.07	89.44	80.95	84.47	716.89	256.69	1048.75	127.71
T16719		1900	96.78	111.87	94.75	105.39	848.3	322.9	1227.62	140.17
T16722		2200	118.47	137.22	114.24	128.85	993.11	400.25	1476.47	157.88
T161016	100	1600	82.48	75.72	82.05	70.84	724.58	219.3	1066.67	126.16
T161019		1900	100.61	95.52	98.82	88.99	858.6	278.74	1284.59	130.32
T161022		2200	118.71	128.11	115.45	119.79	996.52	374.24	1495.78	151.99
T161016a	100	1600	79.80	71.67	79.14	67.20	720.86	208.03	1025.24	130.22
T161019b		1900	99.40	89.68	97.60	83.67	856.85	263.17	1264.9	126.89
T161022c		2200	116.85	124.18	112.85	116.06	991.89	362.54	1457.76	149.82

Tabla 5. Ensayos ÁRBOL2. Valores de los parámetros de estudio en el circuito.

FICHERO	Hag	RPMm	Potencias (kW)		Rdto (%)
			Ntdf	Nm	tdf-m
G1416	40	1600	29.94	15.79	52.74
G1419		1900	42.22	21.01	49.76
G1422		2200	52.48	23.42	44.63
G17516a	70	1600	27.15	14.84	54.66
G17519		1900	39.69	21.27	53.59
G17522		2200	52.23	25.81	49.42
G4416	40	1600	26.87	14.35	53.41
G4419		1900	41.12	20.92	50.88
G4422		2200	52.54	23.76	45.22
G4716	70	1600	26.85	14.31	53.30
G4719		1900	39.58	20.71	52.32
G4722		2200	52.36	25.87	49.41
G2416	40	1600	28.51	15.69	55.03
G2419		1900	35.9	20.56	57.27
G2422		2200	45.17	25.62	56.72
G2716	70	1600	23.52	13.1	55.70
G2719		1900	28.93	16.78	58.00
G2722		2200	40.8	23.55	57.72
G21016	100	1600	17.91	8.891	49.64
G21019		1900	26.89	15.23	56.64
G21022		2200	37.82	21.57	57.03
G10416a	40	1600	-	11.83	-
G10419a		1900	-	17.39	-
G10422a		2200	-	23.87	-
G10716a	70	1600	19.72	10.63	53.90
G10719		1900	27.04	14.69	54.33
G10722		2200	38.42	21.5	55.96
G5416	40	1600	-	7.962	-
G5419		1900	-	14.82	-
G5422		2200	-	23.69	-
G5616	60	1600	-	11.22	-
G5619		1900	-	16.93	-
G5622		2200	-	24.45	-
G58516	85	1600	-	9.946	-
G58519		1900	-	15.12	-
G58522		2200	-	21.9	-

Tabla 6. Ensayos ÁRBOL2. Balance de potencias.

FICHERO	Hag	RPMm	Potencias (kW)		Rdto (%)
			Ntdf	Nm	tdf-m
G9416	40	1600	26.63	13.9	52.20
G9419		1900	38.85	20.25	52.12
G9422		2200	53.53	23.87	44.59
G9716	70	1600	26.25	13.79	52.53
G9719		1900	34.97	18.77	53.67
G9722		2200	49.03	25.84	52.70
G91016	100	1600	21.14	10.88	51.47
G91019		1900	32.35	17.41	53.82
G91022		2200	45.61	24.76	54.29
G6416	40	1600	26.03	14.12	54.25
G6419		1900	36.84	19.17	52.04
G6422		2200	52	24.2	46.54
G6716	70	1600	24.18	12.65	52.32
G6719		1900	32.75	17.72	54.11
G6722		2200	45.77	23.85	52.11
G61016	100	1600	20.03	10.57	52.77
G61019		1900	29.71	16	53.85
G61022		2200	41.01	22.27	54.30
G61316	130	1600	17.97	9.487	52.79
G61319		1900	26.79	14.36	53.60
G61322		2200	37.97	20.93	55.12
G7416	40	1600	29.58	17.14	57.94
G7419		1900	35.5	18.61	52.42
G7422		2200	46.23	24.15	52.24
G7716	70	1600	31.21	16.53	52.96
G7719		1900	33.27	18.05	54.25
G7722		2200	43.18	23.6	54.65
G8416	40	1600	25.93	14.1	54.38
G8419		1900	36.89	18.68	50.64
G8422		2200	49.26	23.59	47.89
G8716	70	1600	22.85	12.01	52.56
G8719		1900	29.61	16.06	54.24
G8722		2200	40.87	21.65	52.97
G81016	100	1600	19.82	10.51	53.03
G81019		1900	26.38	14.26	54.06
G81022		2200	37.57	20.62	54.88

Tabla 6. Ensayos ÁRBOL2. Balance de potencias (continuación).

FICHERO	Hag	RPMm	Potencias (kW)		Rdto (%)
			Ntdf	Nm	tdf-m
T2416	40	1600	26.52	13.42	50.60
T2419		1900	38.94	19.96	51.26
T2422		2200	52.35	26.22	50.09
T2716	70	1600	23.77	13.09	55.07
T2719		1900	36.4	20.53	56.40
T2722		2200	48.64	26.62	54.73
T21016	100	1600	20.22	11.02	54.50
T21019		1900	31.94	18.15	56.83
T21022		2200	42.32	24.08	56.90
T5416	40	1600	29.87	16.58	55.51
T5419		1900	40.13	20.88	52.03
T5422		2200	51.36	26.22	51.05
T5716	70	1600	23.5	13.53	57.57
T5719		1900	33.18	19.57	58.98
T5722		2200	44.6	25.69	57.60
T51016	100	1600	19.67	11.52	58.57
T51019		1900	29.66	17.8	60.01
T51022		2200	43.12	25.63	59.44
T4416	40	1600	22.41	12.8	57.12
T4419		1900	30.5	18.05	59.18
T4422		2200	43.21	25.14	58.18
T4716	70	1600	19.47	11.03	56.65
T4719		1900	26.75	15.59	58.28
T4722		2200	39.58	23.34	58.97
T41016	100	1600	18.95	10.81	57.04
T41019		1900	26.88	15.84	58.93
T41022		2200	39.69	23.35	58.83
T6416	40	1600	25.16	14.89	59.18
T6419		1900	-	-	-
T6422		2200	43.18	25.04	57.99
T6422a		2200	42.32	25.21	59.57
T6716a	70	1600	19.52	11.52	59.02
T671		1900	27	16.13	59.74
T6722		2200	38.58	23.04	59.72
T61016	100	1600	17.84	10.54	59.08
T61019		1900	24.55	14.74	60.04
T61022		2200	35.52	21.07	59.32

Tabla 6. Ensayos ÁRBOL2. Balance de potencias (continuación).

FICHERO	Hag	RPMm	Potencias (kW)		Rdto (%)
			Ntdf	Nm	tdf-m
T6716b	70	1600	21.25	12.1	56.94
T6719b		1900	28.47	16.27	57.15
T6722b		2200	41.71	24.47	58.67
T61016b	100	1600	17.95	10.46	58.27
T61019b		1900	25.78	15.12	58.65
T61022b		2200	37.4	21.95	58.69
T10416	40	1600	23.75	13.58	57.18
T10419		1900	33.02	18.61	56.36
T10422		2200	45.3	25.11	55.43
T10716	70	1600	20.28	11.72	57.79
T10719		1900	28.4	16.17	56.94
T10722		2200	40.57	23.57	58.10
T101016	100	1600	17.97	10.06	55.98
T101019		1900	25.59	14.63	57.17
T101022		2200	35.38	20.23	57.18
T13416	40	1600	28.93	14.83	51.26
T13419		1900	39.57	20.92	52.87
T13422		2200	51.73	26.56	51.34
T13816	80	1600	23.39	12.27	52.46
T13819		1900	31.94	17.33	54.26
T13822		2200	45.4	25.06	55.20
T14416	40	1600	25.32	13.41	52.96
T14419		1900	35.6	19.49	54.75
T14422		2200	49.78	25.84	51.91
T141016	100	1600	18.26	9.346	51.18
T141019		1900	28.37	16.13	56.86
T141022		2200	43.37	24.87	57.34
T15416	40	1600	21.74	13.65	62.79
T15419		1900	32.05	20.55	64.12
T15422		2200	45.93	27.54	59.96
T15716	70	1600	19.97	12.67	63.45
T15719		1900	29.11	18.04	61.97
T15722		2200	43.62	27.08	62.08
T151016	100	1600	16.77	10.52	62.73
T151019		1900	26.1	16.6	63.60
T151022		2200	40.08	25.39	63.35

Tabla 6. Ensayos ÁRBOL2. Balance de potencias (continuación).

FICHERO	Hag	RPMm	Potencias (kW)		Rdto (%)
			Ntdf	Nm	tdf-m
T16416	40	1600	24.5	15.07	61.51
T16419		1900	35.6	21.13	59.35
T16422		2200	46.32	26.36	56.91
T16716	70	1600	19.28	11.18	57.99
T16719		1900	28.73	16.32	56.80
T16722		2200	41.67	24.06	57.74
T161016	100	1600	16.65	9.502	57.07
T161019		1900	25.11	14.38	57.27
T161022		2200	39.07	22.61	57.87
T161016a	100	1600	15.71	8.695	55.35
T161019b		1900	23.64	13.35	56.47
T161022c		2200	37.67	21.41	56.84

Tabla 6. Ensayos ÁRBOL2. Balance de potencias..

ENSAYOS POSTEG

FICHERO	Hag	RPMm	Qsbd	Psb	Qm	Pm	RPMtdf	Mtdf	RPMmh	Pap
AD1	100	1600	97.58	122.92	100.42	104.12	711.53	358.28	1382.21	130.00
AD2			97.96	123.07	100.68	104.43	714.67	357.97	1380.36	129.70
BD1	100	1800	111.90	158.00	105.87	135.05	798.69	459.37	1437.21	151.24
BD2			112.24	158.06	105.52	135.29	798.76	459.26	1428.11	151.59
CD1	100	2000	117.58	164.97	106.01	141.35	889.01	484.13	1422.27	157.28
CD2			117.04	164.81	105.18	141.33	892.11	482.17	1407.67	157.41
DD1	100	2200	115.68	165.39	103.61	142.23	984.15	488.47	1385.99	158.64
DD2			114.47	165.40	101.83	142.47	984.07	486.15	1346.48	159.15
AC1	80	1600	99.10	148.83	91.44	128.90	713.50	423.96	1215.54	146.33
AC2			99.67	151.22	90.69	131.16	712.79	428.19	1202.88	147.94
BC1	80	1800	114.26	130.28	112.03	111.25	796.28	375.03	1495.53	134.80
BC2			115.46	129.68	112.92	110.98	797.66	372.34	1502.93	134.68
CC1	80	2000	129.27	139.40	123.90	118.57	888.91	405.93	1647.42	142.67
CC2			129.03	137.40	123.89	116.88	890.53	398.03	1643.26	141.65
DC1	80	2200	140.96	156.79	129.64	132.96	986.53	459.10	1713.39	153.65
DC2			142.37	152.40	131.85	129.04	988.01	444.34	1740.38	151.39
AB1	60	1600	92.49	117.60	92.32	101.65	708.66	333.19	1219.85	125.89
A21			101.18	114.10	100.31	97.92	711.23	323.25	1329.75	123.62
BB1	60	1800	114.08	127.90	110.42	109.33	789.18	363.99	1460.71	134.70
BB2			115.75	129.10	111.52	110.33	800.19	366.26	1472.01	135.45
DB1	60	2000	128.43	146.34	118.29	125.22	898.32	419.18	1546.18	147.99
DB2			125.49	142.71	116.47	122.30	899.73	407.68	1518.82	145.93
CB1	60	2200	137.14	162.76	121.94	138.95	982.57	471.33	1603.12	158.09
CB2			137.77	161.88	122.08	138.31	982.42	467.28	1595.49	157.90

Tabla 7. Ensayos POSTEG. Valores de los parámetros de estudio en el circuito.

ENSAYOS POSTEG

FICHERO	Hag	RPMm	Potencias (kW)		Rdto. (%)
			Ntdf	Nm	tdf-m
AD1	100	1600	26.74	17.08	63.87
AD2			26.84	17.17	63.97
BD1	100	1800	38.42	23.35	60.78
BD2			38.43	23.32	60.68
CD1	100	2000	45.09	24.50	54.34
CD2			45.05	24.30	53.94
DD1	100	2200	50.37	24.09	47.83
DD2			50.09	23.72	47.35
AC1	80	1600	31.68	19.23	60.70
AC2			31.96	19.41	60.73
BC1	80	1800	31.41	20.37	64.85
BC2			31.28	20.48	65.47
CC1	80	2000	37.88	24.02	63.41
CC2			37.19	23.68	63.67
DC1	80	2200	47.54	28.16	59.23
DC2			46.05	27.82	60.41
AB1	60	1600	24.77	15.32	61.85
A21			24.11	16.05	66.57
BB1	60	1800	30.15	19.74	65.47
BB2			30.75	20.12	65.43
DB1	60	2000	39.48	24.22	61.35
DB2			38.44	23.29	60.59
CB1	60	2200	48.53	27.7	57.08
CB2			48.09	27.61	57.41

Tabla 8. Ensayos POSTEG. Balance de potencias.

ENSAYOS HALCON 8

FICHERO	RPMm	Qsb	Qsbd	Psb	Qm	Pm	RPMtdf	Mtdf	RPMmh	Pap
P87116	1600	98.6157	102.548	169.014	103.273	157.624	713.12	509.572	1453.7	163.19
P87119	1900	120.899	112.926	180.832	112.692	168.67	851.7	552.295	1514.41	165.77
P87122	2200	143.789	118.401	180.759	117.124	168.765	990.43	560.498	1593	167.35
P87216	1600	102.2	105.44	148.96	105.19	139.25	715.98	443.94	1436.71	162.44
P87219	1900	121.88	117.63	180.28	116.53	169.42	847.07	541.76	1573.67	167.66
P87222	2200	146.03	117.8	180.48	116.41	170.18	995.71	553.08	1567.11	167.53
P87316	1600	101.98	104.25	142.64	104.12	134.94	709.76	422.58	1418.49	161.02
P87319	1900	122.28	116.89	180.01	115.75	171.12	842.77	534.86	1555.63	167.88
P87322	2200	147.56	117.6	180.29	116.25	172.12	996.69	546.42	1553.08	167.04
P87416	1600	103.3	105.24	142.01	104.81	135.06	715.1	418.57	1422.52	160.94
P87419	1900	123.5	117.05	179.86	115.78	171.76	848.12	532.46	1548.84	167.67
P87422	2200	148.33	117.93	180.16	116.23	172.32	997.37	544.39	1552.23	167.55
P87516	1600	103.59	105.46	142.99	105.15	135.6	716.51	422.2	1426.49	161.1
P87519	1900	124.15	116.97	180.01	115.75	170.77	851.88	532.89	1551.62	168.51
P87522	2200	146.6	117.69	180.16	116.1	171.56	988.6	542.6	1547.92	167.73
P872161	1600	103.32	105.02	139.2	104.6	132.09	714.35	410.19	1413.59	161.04
P872191	1900	123.52	117.13	179.91	115.98	171.39	845.55	529.74	1548.77	168.35
P872221	2200	148.34	117.55	180.14	116.18	171.67	995.1	541.43	1544.69	168.11

Tabla 9. Ensayos HALCON 8. Valores de los parámetros de estudio en el circuito.

ENSAYOS HALCON 8

FICHERO	RPMm	Potencias (kW)			Rendimientos (%)		
		Ntdf	Nb	Nm	tdf-b	b-m	tdf-m
P87116	1600	38,06	27,2	26,54	71.47	97.57	69.73
P87119	1900	49,24	35,69	31,02	72.48	86.92	63.00
P87122	2200	58,08	42,45	32,26	73.09	76.00	55.54
P87216	1600	33,39	24,84	23,89	74.39	96.18	71.55
P87219	1900	43,03	35,87	32,23	83.36	89.85	74.90
P87222	2200	57,63	43,04	32,34	74.68	75.14	56.12
P87316	1600	31,42	23,73	22,92	75.53	96.59	72.95
P87319	1900	47,18	35,94	32,33	76.18	89.96	68.52
P87322	2200	56,99	43,45	32,67	76.24	75.19	57.33
P87416	1600	31,35	23,93	23,09	76.33	96.49	73.65
P87419	1900	47,25	36,27	32,46	76.76	89.50	68.70
P87422	2200	56,8	43,64	32,69	76.83	74.91	57.55
P87516	1600	31,71	24,17	23,26	76.22	96.24	73.35
P87519	1900	47,5	36,49	32,27	76.82	88.44	67.94
P87522	2200	56,11	43,13	32,51	76.87	75.38	57.94
P872161	1600	30,71	23,46	22,54	76.39	96.08	73.40
P872191	1900	46,87	36,280	32,45	77.41	89.44	69.23
P872221	2200	56,4	43,64	32,56	77.38	74.61	57.73

Tabla 10. Ensayos HALCON 8. Balance de potencias.

ENSAYOS HALCON 7

FICHERO	Hag	RPMm	Qsb	Qsbd	Psb	Qm	Pm	RPMtdf	Mtdf	RPMmh	Pap
P7416	40	1600	101.10	100.60	175.52	99.96	167.53	704.54	509.33	1340.56	173.63
P7418		1800	114.81	102.77	179.71	101.48	171.33	790.63	524.62	1354.62	174.63
P7420		2000	131.36	103.43	180.07	101.99	171.83	893.32	532.47	1351.71	174.29
P7422		2200	149.00	104.45	180.18	102.96	172.55	994.6	536.58	1354.2	176.69
P7716	80	1600	105.22	105.89	134.74	105.66	127.25	723.75	392.08	1406.62	166.34
P7718		1800	116.93	116.48	161.00	115.08	152.77	795.51	466.06	1521.01	174.92
P7720		2000	132.60	120.62	180.05	118.73	170.67	893.58	525.73	1560.91	177.9
P7722		2200	148.60	120.78	180.27	118.49	171.00	993.88	532.48	1554.75	177.61
P71016	120	1600	103.75	104.20	139.02	104.67	131.95	714.91	402.96	1387.06	166.6
P71018		1800	119.34	118.70	127.71	118.39	120.15	808.76	377.90	1567.36	164.75
P71020		2000	133.61	132.60	144.59	130.95	135.59	896.79	427.58	1724.44	171.35
P71022		2200	148.89	141.90	179.15	138.59	168.93	994.76	529.24	1815.72	178.09

Tabla 11. Ensayos HALCON 7. Valores de los parámetros de estudio en el circuito.

ENSAYOS HALCON 7

FICHERO	Hag	RPMm	Potencias (kW)			Rendimientos (%)		
			Ntdf	Nb	Nm	tdf-b	b-m	tdf-m
P7416	40	1600	37.53	28.96	27.31	77.16	94.30	72.77
P7418		1800	43.39	33.68	28.38	77.62	84.26	65.41
P7420		2000	49.78	38.63	28.6	77.60	74.04	57.45
P7422		2200	55.85	43.84	29	78.50	66.15	51.92
P7716	80	1600	29.69	23.13	21.93	77.91	94.81	73.86
P7718		1800	38.82	30.73	28.7	79.16	93.39	73.93
P7720		2000	49.16	38.99	33.08	79.31	84.84	67.29
P7722		2200	55.39	43.75	33.08	78.99	75.61	59.72
P71016	120	1600	30.12	23.52	22.49	78.09	95.62	74.67
P71018		1800	32	24.86	23.2	77.69	93.32	72.50
P71020		2000	40.18	31.53	28.98	78.47	91.91	72.13
P71022		2200	55.1	43.56	38.23	79.06	87.76	69.38

Tabla 12. Ensayos HALCON 7. Balance de potencias.

ENSAYOS HALCON 2

FICHERO	Hag	RPMm	Qsb	Psb	Qm	Pm	RPMmh	Pap
P3822	80	2200	146.47	161.88	121.64	153.26	1610.03	192.93
P38221		2200	146.17	161.45	123.7	152.66	1631.97	192.99
P3821		2100	138.65	151.06	123.76	143.89	1612.91	185.32
P3820		2000	132.81	145.76	120.93	138.59	1585.28	181.36
P3819		1900	123.89	131.57	115.79	125.72	1507.24	170.93
P3818		1800	116.79	141.43	107.3	135.55	1392.35	176.13
P3817		1700	107.99	137.75	99.643	132.94	1279.65	172.22
P3816		1600	101.7	129.44	95.693	125.21	1227.8	165.46
P3422	40	2200	143.73	161.84	104.22	155.37	1326.05	196.3
P3420		2000	128.63	158.48	104.9	152.49	1332.11	193.42
P3418		1800	114.04	140.61	101.38	135.6	1287.36	178.64
P3416		1600	100.43	121.29	95.08	117.34	1201.13	162.53

Tabla 13. Ensayos HALCON 2. Valores de los parámetros de estudio en el circuito.

ENSAYOS HALCON 2

FICHERO	Hag	RPMm	Potencias (kW)		Rdto. (%)
			Nb	Nm	b-m
P3822	80	2200	38.72	30.43	78.59
P38221		2200	38.54	30.83	79.99
P3821		2100	34.2	29.07	85.00
P3820		2000	31.61	27.36	86.55
P3819		1900	26.63	23.79	89.34
P3818		1800	26.97	23.73	87.99
P3817		1700	24.28	21.6	88.96
P3816		1600	21.36	19.53	
P3422		40	2200	37.98	26.43
P3420	2000		33.28	26.1	69.59
P3418	1800		26.17	22.42	78.43
P3416	1600		19.88	18.22	85.67

Tabla 14. Ensayos HALCON 2. Balance de potencias.

ENSAYOS HALCON 3

FICHERO	Hag	RPMm	Qsb	Qsbd	Psb	Qm	Pm	RPMmh	Pap
P4822	80	2200	147.03	124.25	179.10	118.61	171.45	1524.3	171.6
P4821		2100	137.62	125.76	178.77	119.11	170.97	1527.85	171.82
P480206		2000	130.13	124.93	177.48	119.13	169.60	1518.07	171.53
P4819		1900	122.68	121.00	153.83	115.64	146.52	1477.52	168.87
P4818		1800	117.16	114.69	132.34	111.26	125.90	1421.46	164.74
P4817		1700	110.48	108.25	119.13	105.29	113.37	1343.73	159.13
P4816		1600	102.51	99.87	119.21	98.06	113.87	1243.12	157.52
P4421		40	2200	145.74	106.21	179.50	102.40	172.53	1296.75
P4420	2000		130.54	103.68	178.46	100.90	171.82	1268.9	165.02
P4419	1900		121.26	102.94	178.22	100.85	171.62	1267.13	164.64
P4418	1800		113.84	103.56	177.51	101.90	170.83	1269.22	164.19
P4417	1700		107.13	102.16	167.73	100.44	161.87	1247.21	163.66
P4416	1600		99.94	97.09	145.48	95.48	140.27	1183.68	161.72

Tabla 15. Ensayos HALCON 3. Valores de los parámetros de estudio en el circuito.

ENSAYOS HALCON 3

FICHERO	Hag	RPMm	Potencias (kW)		Rdto. (%)
			Nb	Nm	b-m
P4822	80	2200	43	33.2	77.21
P4821		2100	40.17	33.24	82.75
P48206		2000	37.71	32.98	87.46
P4819		1900	30.8	27.66	89.81
P4818		1800	25.3	22.86	90.36
P4817		1700	21.47	19.47	90.68
P4816		1600	19.92	18.18	91.27
P4421		40	2200	42.72	28.84
P4420	2000		38.04	28.3	74.40
P4419	1900		35.29	28.25	80.05
P4418	1800		32.99	28.41	86.12
P4417	1700		29.32	26.49	90.35
P4416	1600		23.71	21.84	92.11

Tabla 16. Ensayos HALCON 3. Balance de potencias.

FICHERO	Hag	RPMm	ACELERACIONES (m/s ² valor eficaz)				FRECUENCIAS (Hz)				Aef,a	Aef,p	Em
			Xp	Yp	Xa	Ya	Xp	Yp	Xa	Ya			
A3618	60	1800	99.69	78.74	50.44	58.05	20.63	19.41	19.41	20.63	76.90	127.03	0.61
A3622		2200	106.72	86.54	51.69	62.11	21.24	19.90	19.90	21.24	80.81	137.40	0.59
A3818	80	1800	100.89	81.18	60.93	71.49	19.78	19.78	19.78	19.78	93.97	129.50	0.73
A3822		2200	107.36	85.78	63.75	74.71	21.73	20.26	20.26	20.26	98.21	137.42	0.71
A1618	60	1800	104.25	86.05	76.64	79.07	20.87	20.87	22.10	20.87	110.12	135.17	0.81
A1622		2200	125.25	107.94	92.47	98.55	23.19	23.32	24.64	23.32	135.13	165.34	0.82
A4618	60	1800	107.03	89.43	50.77	73.74	21.36	20.14	21.36	20.14	89.19	139.48	0.64
A4622		2200	120.43	107.30	58.67	87.43	22.95	21.73	23.07	21.73	105.29	161.30	0.65
A4818	80	1800	110.62	106.17	92.38	92.16	23.32	21.97	21.97	21.97	130.49	153.33	0.85
A4822		2200	136.67	131.25	120.14	117.80	24.66	24.66	24.66	24.66	168.25	189.49	0.89
A9618	60	1800	120.16	101.65	50.15	80.57	21.24	21.24	21.24	21.24	94.90	157.39	0.60
A9622		2200	146.76	129.71	58.72	109.02	24.17	24.05	25.51	24.05	123.83	195.87	0.63
A9818	80	1800	106.40	94.47	80.50	92.92	21.85	21.85	23.19	21.85	122.94	142.29	0.86
A9822		2200	132.61	115.03	94.82	120.08	24.54	24.66	26.12	24.66	153.01	175.55	0.87
A10618	60	1800	123.67	114.91	85.79	104.23	24.17	22.71	22.71	24.17	135.00	168.82	0.80
A10622		2200	153.94	136.63	113.80	129.17	25.51	25.51	25.51	27.10	172.15	205.83	0.84
A10818	80	1800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A10822		2200	125.51	117.70	110.05	107.99	22.83	22.83	22.83	22.83	154.18	172.06	0.90
A5618	60	1800	118.79	113.94	83.78	101.84	22.22	22.22	23.56	22.22	131.87	164.60	0.80
A5622		2200	128.29	131.55	109.83	119.95	23.80	23.80	25.27	23.80	162.64	183.75	0.89
A11618	60	1800	103.60	89.67	54.78	73.25	21.48	20.26	20.02	20.14	91.46	136.98	0.67
A11622		2200	115.86	103.80	61.53	79.73	21.12	21.12	21.12	22.46	100.71	155.56	0.65
A11818b	80	1800	101.30	97.29	78.96	89.46	21.24	21.24	22.46	21.24	119.32	140.45	0.85
A11822		2200	121.12	110.66	92.49	100.84	24.17	22.71	24.17	22.71	136.83	164.06	0.83
A8618a	60	1800	109.35	94.25	57.29	76.09	20.75	20.75	21.97	20.75	95.24	144.36	0.66
A8622		2200	122.33	109.37	69.24	89.62	22.22	22.22	23.44	22.22	113.25	164.09	0.69
A8818	80	1800	115.02	107.49	80.04	90.64	23.19	21.73	23.19	21.73	120.93	157.43	0.77
A8822		2200	137.79	129.67	112.23	119.69	24.66	24.66	26.12	24.66	164.08	189.21	0.87
A6618	60	1800	133.89	122.47	63.45	85.38	22.71	22.71	22.71	23.93	106.37	181.45	0.59
A6622		2200	143.86	133.68	80.76	99.80	24.17	24.17	24.17	25.64	128.38	196.38	0.65
A6818a	80	1800	118.81	110.26	99.13	101.77	22.22	22.22	23.68	22.22	142.07	162.09	0.88
A6822		2200	148.19	145.66	119.39	132.01	24.90	24.90	26.61	24.90	177.99	207.79	0.86
A7618	60	1800	110.22	92.07	54.02	82.04	21.97	20.75	20.75	20.75	98.23	143.61	0.68
A7622		2200	143.07	119.38	72.55	106.54	25.39	23.68	23.93	23.68	128.90	186.33	0.69
A7818	80	1800	120.31	109.50	73.04	102.22	23.68	22.22	22.22	23.68	125.64	162.68	0.77
A7822		2200	156.07	140.93	91.91	133.26	27.10	25.39	25.39	25.39	161.88	210.28	0.77

Tabla 17. Ensayos ARBOL 1. Aceleraciones, frecuencias y eficacia de transmisión de la vibración.

ENSAYOS ÁRBOL2 (I)

FICHERO	Hag	RPMm	ACELERACIONES (m/s ² valor eficaz)				FRECUENCIAS (Hz)				Aef,a	Aef,p	Em
			Xp	Yp	Xa	Ya	Xp	Yp	Xa	Ya			
G1416	40	1600	55.979	38.104	19.679	25.285	16.357	15.381	16.357	15.381	32.041	67.717	0.473
G1419		1900	61.112	55.588	21.17	32.301	18.066	16.968	17.944	16.968	38.620	82.612	0.467
G1422		2200	67.29	59.348	23.875	33.92	18.921	17.700	18.921	17.700	41.480	89.723	0.462
G17516a	70	1600	52.87	42.325	18.737	38.901	16.602	15.625	16.602	15.625	43.178	67.725	0.638
G17519		1900	70.433	57.889	24.232	50.883	19.165	18.066	19.165	18.066	56.358	91.170	0.618
G17522		2200	82.713	65.899	27.616	60.098	19.409	19.409	19.409	19.409	66.139	105.755	0.625
G4416	40	1600	60.004	36.211	20.16	21.784	15.259	15.259	15.259	15.259	29.681	70.084	0.424
G4419		1900	69.613	52.589	23.919	34.566	17.944	16.968	17.944	16.968	42.035	87.244	0.482
G4422		2200	73.07	60.293	24.635	41.087	18.677	17.578	18.677	17.578	47.906	94.734	0.506
G4716	70	1600	57.33	49.28	19.403	36.302	15.137	15.137	16.113	16.113	41.162	75.599	0.544
G4719		1900	70.724	65.866	23.802	51.434	18.555	17.456	18.555	17.456	56.674	96.645	0.586
G4722		2200	85.152	79.828	29.04	63.945	20.386	19.165	20.386	19.165	70.230	116.719	0.602
G2416	40	1600	61.046	47.775	16.259	38.933	16.113	15.137	16.113	15.137	42.192	77.518	0.544
G2419		1900	78.543	83.493	29.629	71.2	19.165	18.921	20.142	18.921	77.119	114.630	0.673
G2422		2200	106.95	107.92	45.61	93.422	22.339	22.339	23.682	22.339	103.961	151.938	0.684
G2716	70	1600	54.041	48.765	25.62	44.96	16.235	15.259	16.235	16.235	51.747	72.790	0.711
G2719		1900	81.731	83.402	41.562	77.102	19.531	19.531	20.752	19.531	87.591	116.773	0.750
G2722		2200	105.07	110.5	75.512	105.08	22.827	22.827	24.292	22.827	129.398	152.479	0.849
G21016	100	1600	46.288	37.834	34.532	33.472	15.015	14.038	15.015	14.038	48.092	59.783	0.804
G21019		1900	69.252	73.073	48.788	65.036	19.287	19.287	20.508	19.287	81.302	100.675	0.808
G21022		2200	102.88	110.61	102.73	112.13	22.827	22.827	24.170	22.827	152.074	151.059	1.007
G10416a	40	1600	48.905	40.791	16.658	35.267	14.160	13.306	14.160	13.306	39.003	63.684	0.612
G10419a		1900	73.068	64.272	24.308	53.127	18.433	17.334	18.433	17.334	58.424	97.313	0.600
G10422a		2200	94.875	79.971	31.183	68.24	21.362	20.142	21.362	20.142	75.027	124.083	0.605
G10716a	70	1600	51.354	50.439	17.932	53.064	15.991	15.015	15.991	15.015	56.012	71.981	0.778
G10719		1900	73.036	72.5	25.2	71.737	18.555	18.555	18.555	18.555	76.034	102.910	0.739
G10722		2200	99.472	99.009	33.717	101.32	21.851	21.851	21.851	21.851	106.783	140.348	0.761
G5416	40	1600	38.472	24.725	13.513	17.853	13.062	12.329	13.062	13.062	22.390	45.732	0.490
G5419		1900	59.884	40.769	20.457	38.813	16.357	15.381	16.357	15.381	43.874	72.444	0.606
G5422		2200	84.423	62.911	29.294	59.4	19.531	18.433	19.531	19.531	66.231	105.286	0.629

Tabla 18. Ensayos ÁRBOL2. Aceleraciones, frecuencias y eficacia de transmisión de la vibración.

ENSAYOS ÁRBOL2 (II)

FICHERO	Hag	RPMm	ACELERACIONES (m/s ² valor eficaz)				FECUENCIAS (Hz)				Aef,a	Aef,p	Em
			Xp	Yp	Xa	Ya	Xp	Yp	Xa	Ya			
G5616	60	1600	55.345	49.702	18.269	41.141	15.625	14.771	15.625	14.771	45.015	74.387	0.605
G5619		1900	79.878	71.243	26.966	60.206	19.531	18.311	19.531	19.531	65.969	107.033	0.616
G5622		2200	102.7	94.882	34.774	83.995	21.240	21.240	22.583	22.583	90.909	139.821	0.650
G58516	85	1600	48.377	41.302	16.717	43.772	15.625	14.648	15.625	14.648	46.856	63.610	0.737
G58519		1900	69.567	64.718	23.182	66.047	18.188	18.188	18.188	18.188	69.997	95.016	0.737
G58522		2200	101.87	93.258	34.75	95.279	21.851	21.851	21.851	21.851	101.418	138.111	0.734
G9416	40	1600	62.122	50.238	20.578	25.559	16.968	15.991	16.968	15.991	32.813	79.894	0.411
G9419		1900	74.441	59.967	24.978	32.078	19.165	18.066	19.165	18.066	40.656	95.590	0.425
G9422		2200	77.108	66.505	26.342	33.484	19.531	18.433	19.531	18.433	42.604	101.826	0.418
G9716	70	1600	56.207	49.979	19.13	36.32	15.991	15.991	15.991	15.991	41.050	75.214	0.546
G9719		1900	82.866	73.103	27.65	51.187	19.165	19.165	19.165	19.165	58.178	110.503	0.526
G9722		2200	94.934	90.89	32.769	81.588	21.851	21.851	21.851	21.851	87.923	131.429	0.669
G91016	100	1600	55.15	61.705	17.232	47.822	16.724	16.724	16.724	16.724	50.832	82.759	0.614
G91019		1900	75.098	77.819	24.672	62.026	19.043	19.043	19.043	19.043	66.753	108.146	0.617
G91022		2200	102.54	99.374	36.054	90.257	22.339	22.339	22.339	22.339	97.192	142.792	0.681
G6416	40	1600	70.068	47.798	23.676	16.782	15.381	15.381	15.381	15.381	29.020	84.818	0.342
G6419		1900	81.079	58.724	27.644	27.201	18.433	17.334	18.433	17.334	38.783	100.111	0.387
G6422		2200	87.593	68.179	29.362	38.669	19.287	18.188	19.287	18.188	48.553	111.000	0.437
G6716	70	1600	63.07	48.601	21.295	26.913	15.869	15.747	15.869	16.846	34.319	79.623	0.431
G6719		1900	79.23	60.732	27.245	34.856	19.287	18.188	19.287	18.188	44.241	99.829	0.443
G6722		2200	90.704	76.415	31.559	45.629	21.240	20.020	21.240	20.020	55.480	118.602	0.468
G61016	100	1600	54.113	41.87	18.666	34.046	15.625	15.625	15.625	16.602	38.827	68.420	0.567
G61019		1900	77.626	59.225	26.341	48.527	18.799	18.799	18.799	18.799	55.215	97.639	0.566
G61022		2200	99.172	72.633	33.718	61.722	21.118	21.118	21.118	21.118	70.331	122.925	0.572
G61316	130	1600	56.688	52.068	61.198	43.451	16.479	16.479	17.456	17.456	75.055	76.971	0.975
G61319		1900	73.308	68.596	93.236	57.959	19.043	19.043	20.264	19.043	109.783	100.397	1.093
G61322		2200	108.18	99.998	97.864	82.551	23.560	22.217	23.560	23.560	128.031	147.318	0.869
G7416	40	1600	74.117	57.429	15.267	35.61	16.968	15.991	16.968	16.968	38.745	93.763	0.413
G7419		1900	73.449	64.731	15.643	41.414	16.479	16.479	17.578	16.479	44.270	97.902	0.452
G7422		2200	93.549	90.048	26.707	57.524	21.118	19.897	21.118	19.897	63.421	129.846	0.488

Tabla 18. Ensayos ARBOL2. Aceleraciones, frecuencias y eficacia de transmisión de la vibración (continuación).

ENSAYOS ÁRBOL2 (III)

FICHERO	Hag	RPMm	ACELERACIONES (m/s ² valor eficaz)				FRECUENCIAS (Hz)				Aef,a	Aef,p	Em
			Xp	Yp	Xa	Ya	Xp	Yp	Xa	Ya			
G7716	70	1600	60.746	47.485	31.51	35.5	15.259	14.404	15.259	14.404	47.467	77.103	0.616
G7719		1900	76.108	76.487	30.284	55.113	18.799	17.700	18.799	17.700	62.885	107.901	0.583
G7722		2200	104.95	101.06	50.413	74.759	22.461	21.118	22.461	21.118	90.169	145.697	0.619
G8416	40	1600	57.63	38.066	11.698	28.682	15.381	14.526	15.381	14.526	30.976	69.067	0.448
G8419		1900	65.985	50.144	15.244	39.6	16.968	15.991	16.968	15.991	42.433	82.876	0.512
G8422		2200	79.506	64.532	22.281	53.702	18.921	17.822	18.921	17.822	58.141	102.399	0.568
G8716	70	1600	54.826	42.993	28.553	33.435	15.747	14.771	15.747	14.771	43.968	69.673	0.631
G8719		1900	71.79	60.908	31.215	49.635	18.677	17.578	18.677	17.578	58.635	94.147	0.623
G8722		2200	90.384	80.551	35.996	68.205	20.386	20.386	20.386	20.386	77.121	121.069	0.637
G81016	100	1600	53.139	45.776	36.793	40.855	16.235	15.259	15.259	15.259	54.981	70.137	0.784
G81019		1900	70.386	64.367	43.56	59.022	18.066	18.066	18.066	19.287	73.356	95.380	0.769
G81022		2200	99.385	89.536	55.714	85.246	21.362	21.362	21.362	22.705	101.838	133.769	0.761
T2416	40	1600	51.206	48.441	17.928	31.983	16.113	15.137	16.113	15.137	36.665	70.488	0.520
T2419		1900	72.181	67.403	24.077	43.819	18.921	17.700	18.921	17.700	49.998	98.759	0.506
T2422		2200	87.569	87.017	29.92	59.737	21.362	20.142	21.362	20.142	66.811	123.452	0.541
T2716	70	1600	52.761	54.449	17.422	40.48	16.235	16.235	16.235	16.235	44.070	75.818	0.581
T2719		1900	74.115	77.74	24.918	56.563	20.264	19.043	20.264	19.043	61.808	107.408	0.575
T2722		2200	101.28	97.887	33.822	80.024	23.438	22.217	23.438	22.095	86.878	140.853	0.617
T21016	100	1600	48.474	59.635	16.5	45.877	16.357	16.357	17.456	16.357	48.754	76.851	0.634
T21019		1900	69.842	87.101	23.964	67.46	20.874	19.653	20.874	19.653	71.590	111.644	0.641
T21022		2200	103.12	118.89	34.679	107.97	23.071	23.071	24.414	23.071	113.403	157.380	0.721
T6416	40	1600	58.817	53.829	19.396	48.591	15.869	14.893	15.869	14.893	52.319	79.731	0.656
T6419		1900											
T6422a		2200	105.2	101.73	35.986	83.95	23.438	22.095	22.095	22.095	91.338	146.342	0.624
T6716a	70	1600	57.871	57.203		58.081	15.503	15.503	-	15.503	-	81.371	-
T6719		1900	80.758	79.774		82.822	19.043	19.043	-	19.043	-	113.515	-
T6722		2200	107.64	100.75		113.11	22.339	22.339	-	22.339	-	147.435	-
T61016	100	1600	54.007	52.86		58.898	15.503	15.503	-	15.503	-	75.571	-
T61019		1900	77.053	79.703		85.023	19.165	19.165	-	19.165	-	110.859	-
T61022		2200	102.44	102.08		111.45	22.217	22.217	-	22.217	-	144.618	-

Tabla 18. Ensayos ARBOL2. Aceleraciones, frecuencias y eficacia de transmisión de la vibración (continuación).

ENSAYOS ÁRBOL2 (IV)

FICHERO	Hag	RPMm	ACELERACIONES (m/s ² valor eficaz)				FRECUENCIAS (Hz)				Aef,a	Aef,p	Em
			Xp	Yp	Xa	Ya	Xp	Yp	Xa	Ya			
T6716b	70	1600	52.808	50.299	17.47	59.118	15.625	14.648	15.625	14.648	61.645	72.929	0.845
T6719b		1900	75.225	68.184	25.508	78.912	19.409	18.311	19.409	18.311	82.932	101.528	0.817
T6722b		2200	106.11	97.371	35.295	111.08	23.315	21.973	23.315	21.973	116.553	144.015	0.809
T61016b	100	1600	56.928	59.402	19.192	60.723	15.625	15.625	16.602	15.625	63.684	82.276	0.774
T61019b		1900	80.493	84.328	26.08	87.776	19.165	19.165	19.165	19.165	91.569	116.578	0.785
T61022b		2200	103.73	106.35	34.317	119.9	22.339	22.339	22.339	22.339	124.714	148.561	0.839
T5416	40	1600	56.185	50.687	20.024	37.583	15.869	15.015	15.869	15.015	42.585	75.670	0.563
T5419		1900	68.017	64.514	23.078	50.166	17.822	16.724	17.822	16.724	55.220	93.746	0.589
T5422		2200	85.327	104.27	29.191	70.088	20.752	19.653	20.752	19.653	75.924	134.733	0.564
T5716	70	1600	58.992	59.049	19.906	47.901	15.747	15.747	15.747	16.724	51.872	83.468	0.621
T5719		1900	79.351	85.798	27.383	73.559	19.165	19.165	20.386	20.386	78.490	116.867	0.672
T5722		2200	103.56	109.44	33.963	96.227	23.438	22.095	23.438	23.438	102.045	150.671	0.677
T51016	100	1600	57.101	56.371	18.802	47.314	15.991	15.991	17.090	15.991	50.913	80.238	0.635
T51019		1900	79.937	82.503	27.161	65.55	19.287	19.287	19.287	19.287	70.954	114.877	0.618
T51022		2200	106.13	107.37	36.165	90.433	22.461	22.461	22.461	22.461	97.396	150.970	0.645
T4416	40	1600	58.001	48.205	20.72	41.582	15.137	15.137	16.113	15.137	46.458	75.418	0.616
T4419		1900	83.784	74.122	28.563	59.253	20.508	19.287	20.508	19.287	65.778	111.865	0.588
T4422		2200	106.63	97.328	36.12	77.697	23.438	22.095	23.438	22.095	85.682	144.370	0.593
T4716	70	1600	58.924	59.908	43.727	46.454	15.503	15.503	16.479	15.503	63.797	84.030	0.759
T4719		1900	83.784	74.122	28.563	59.253	20.508	19.287	20.508	19.287	65.778	111.865	0.588
T4722		2200	106.41	103.31	73.171	89.928	22.583	22.583	22.583	22.583	115.936	148.311	0.782
T41016	100	1600	54.113	51.828	19.579	49.014	15.503	15.503	15.503	15.503	52.780	74.929	0.704
T41019		1900	78.888	73.9	27.112	70.795	19.043	19.043	19.043	19.043	75.809	108.095	0.701
T41022		2200	110.22	101.79	37.087	94.408	23.682	22.339	23.682	22.339	101.431	150.032	0.676
T13416	40	1600	54.861	48.23	18.617	37.668	16.235	15.259	16.235	15.259	42.018	73.047	0.575
T13419		1900	76.983	68.437	25.277	55.854	19.531	18.433	19.531	18.433	61.307	103.005	0.595
T13422		2200	90.567	93.858	30.636	76.826	22.461	21.118	22.461	21.118	82.709	130.429	0.634
T13816	80	1600	50.847	52.005	17.688	47.488	15.747	15.747	15.747	15.747	50.675	72.732	0.697
T13819		1900	78.025	80.339	26.355	73.492	19.409	19.409	19.409	19.409	78.075	111.992	0.697
T13822		2200	100.99	112.41	33.99	104.83	24.414	22.949	24.414	22.949	110.203	151.113	0.729

Tabla 18. Ensayos ARBOL2. Aceleraciones, frecuencias y eficacia de transmisión de la vibración (continuación).

ENSAYOS ÁRBOL2 (V)

FICHERO	Hag	RPMm	ACELERACIONES (m/s ² valor eficaz)				FRECUENCIAS (Hz)				Aef,a	Aef,p	Em
			Xp	Yp	Xa	Ya	Xp	Yp	Xa	Ya			
T15416	40	1600	65.421	57.992	22.341	48.292	17.822	16.846	17.822	16.846	53.209	87.424	0.609
T15419		1900	91.602	80.196	30.065	65.743	20.142	20.142	20.142	20.142	72.291	121.747	0.594
T15422		2200	107.44	98.261	36.607	82.248	22.461	22.461	22.461	22.461	90.027	145.597	0.618
T15716	70	1600	66.7	59.168	22.569	53.831	18.555	17.334	17.456	17.456	58.371	89.161	0.655
T15719		1900	86.207	79.591	29.395	69.589	20.264	20.264	20.264	20.264	75.543	117.330	0.644
T15722		2200	114.23	105.85	37.754	94.191	23.438	23.438	23.438	23.438	101.476	155.733	0.652
T151016	100	1600	63.025	61.671	21.537	56.947	17.212	17.212	17.212	17.212	60.884	88.179	0.690
T151019		1900	91.64	89.047	30.071	85.524	20.996	20.996	20.996	20.996	90.657	127.778	0.709
T151022		2200	124.42	118.04	40.912	114.79	24.414	24.414	24.414	24.414	121.863	171.504	0.711
T16416	40	1600	63.815	51.215	22.099	35.728	16.846	15.747	16.846	16.846	42.010	81.825	0.513
T16419		1900	81.795	65.982	28.031	50.764	18.066	18.066	19.165	18.066	57.989	105.091	0.552
T16422		2200	103.05	90.395	35.268	72.229	21.973	20.752	21.973	20.752	80.379	137.079	0.586
T16716	70	1600	55.708	44.192	18.96	42.439	15.259	15.259	15.259	16.235	46.482	71.108	0.654
T16719		1900	71.782	63.097	24.898	57.8	17.822	17.822	17.822	18.921	62.934	95.571	0.659
T16722		2200	100.61	93.682	34.726	82.454	21.484	21.484	21.484	22.827	89.468	137.473	0.651
T161016	100	1600	51.664	49.686	17.649	49.122	15.503	15.503	15.503	16.479	52.196	71.679	0.728
T161019		1900	74.747	72.092	24.653	71.415	18.677	18.677	18.677	19.897	75.550	103.848	0.728
T161022		2200	97.663	97.144	33.495	94.873	21.729	21.729	21.729	23.071	100.612	137.750	0.730
T161016a		1600	48.212	44.837	16.193	49.369	14.893	14.893	14.893	15.869	51.957	65.839	0.789
T161019b		1900	69.164	66.339	23.749	71.188	18.433	18.433	18.433	19.531	75.045	95.836	0.783
T161022c		2200	92.767	87.664	31.517	91.647	21.118	21.118	21.118	22.461	96.915	127.635	0.759

Tabla 18. Ensayos ÁRBOL2. Aceleraciones, frecuencias y eficacia de transmisión de la vibración.

ENSAYOS POSTEG

FICHERO	Hag	RPMm	ACELERACIONES (m/s ² valor eficaz)				FRECUENCIAS (Hz)				Aef,a	Aef,p	Em
			Xp	Yp	Xa	Ya	Xp	Yp	Xa	Ya			
AD1	100	1600	73.242	80.236	169.13	70.893	20.142	20.142	20.142	21.484	183.386	108.640	1.688
AD2			72.859	78.258	171.4	71.251	20.442	20.442	20.442	21.362	185.619	106.926	1.736
BD1	100	1800	86.8	86.547	204.61	78.019	20.996	20.996	20.996	22.217	218.980	122.577	1.786
BD2			92.444	84.408	207.07	76.278	20.874	22.095	20.874	22.095	220.673	125.181	1.763
CD2	100	2000	93.761	85.14	210.99	75.88	20.752	20.752	20.752	20.752	224.220	126.648	1.770
CD3			94.271	82.8	212.6	73.6	20.508	21.851	20.508	21.851	224.979	125.470	1.793
DD1	100	2200	97.929	78.078	209.1	71.802	20.264	20.264	20.264	20.264	221.084	125.247	1.765
DD2			94.413	76.546	197.67	70.707	20.874	20.874	20.874	20.874	209.936	121.545	1.727
AC1	80	1600	94.263	70.667	128.2	56.32	18.921	17.822	17.822	17.822	140.026	117.810	1.189
AC2			97.336	73.468	129.59	52.826	18.677	17.578	18.677	17.7	139.945	121.955	1.148
BC1	80	1800	155.28	112.39	93.077	93.701	21.729	21.729	21.729	23.193	132.074	191.686	0.689
BC2			147.33	111.66	86.413	94.136	21.973	21.973	21.973	21.973	127.785	184.862	0.691
CC1	80	2000	169.09	119.25	79.21	121.24	23.926	23.926	23.926	23.926	144.822	206.911	0.700
CC2			177.32	119.67	80.115	119.13	23.926	23.926	23.926	23.926	143.566	213.924	0.671
DC1	80	2200	174.06	121.1	73.383	147.55	25.391	25.391	25.391	25.391	164.790	212.043	0.777
DC2			176.24	128.54	74.043	143.75	26.855	25.391	26.855	26.855	161.697	218.135	0.741
AB1	60	1600	109.16	63.453	60.836	49.296	17.822	17.822	17.822	17.822	78.307	126.261	0.620
A21			113.35	68.816	53.245	62.525	19.409	19.409	19.409	19.409	82.131	132.606	0.619
BB1	60	1800	134.39	83.146	48.106	82.816	21.362	21.362	22.583	21.362	95.780	158.034	0.606
BB2			133.46	79.859	47.917	81.46	21.484	21.484	22.827	21.484	94.510	155.529	0.608
CB1	60	2000	147.14	95.516	44.403	110.46	24.78	23.315	24.78	23.315	95.342	170.627	0.559
CB2			153.42	95.075	46.892	103.21	24.658	23.193	24.658	23.193	89.752	165.050	0.544
DB1	60	2200	146.31	87.79	46.217	83.386	23.926	22.461	23.926	23.926	119.049	175.426	0.679
DB2			139.74	87.826	45.759	77.207	22.095	22.095	23.438	22.095	113.362	180.493	0.628

Tabla 19. Ensayos POSTEG. Aceleraciones, frecuencias y eficacia de transmisión de la vibración.

ENSAYOS HALCON 8

FICHERO	RPMm	ACELERACIONES (m/s ² valor eficaz)				FRECUENCIAS (Hz)				Aef,t	Aef,p	Em t-p
		Xp	Yp	Xt	Yt	Xp	Yp	Xt	Yt			
P87116	1600	95.1	79.36	135.06	125.06	20.752	20.752	20.752	20.752	184.07	123.86	1.49
P87119	1900	104.73	92.13	156.79	150.19	22.583	21.484	22.583	22.461	217.12	139.49	1.56
P87122	2200	117.34	101	172.78	168.71	22.827	22.827	24.17	22.827	241.49	154.82	1.56
P87216	1600	108.47	89.05	152.26	128.41	20.63	21.973	21.973	20.63	199.18	140.34	1.42
P87219	1900	122.28	102.43	161.96	154.23	23.926	22.583	23.926	22.583	223.65	159.51	1.40
P87222	2200	121.65	95.881	166.1	158.25	22.339	22.339	23.682	22.339	229.42	154.89	1.48
P87316	1600	115.87	85.384	155.03	125.81	20.142	20.142	21.848	20.142	199.66	143.93	1.39
P87319	1900	123.42	109.59	163.16	165.52	23.438	22.095	23.438	22.095	232.42	165.05	1.41
P87322	2200	124.75	109.52	157.76	162.15	21.973	21.973	21.973	21.973	226.23	166.00	1.36
P87416	1600	108.77	72.218	148.1	126.48	20.264	20.264	20.264	21.484	194.76	130.56	1.49
P87419	1900	123.86	90.287	169.92	158.72	23.56	22.095	23.264	22.217	232.52	153.27	1.52
P87422	2200	126.51	94.85	172.21	164.04	22.095	22.095	22.095	22.095	237.83	158.12	1.50
P87516	1600	110.31	91.763	150.57	135.33	20.264	20.264	20.264	20.264	202.45	143.49	1.41
P87519	1900	130.31	111.56	173.23	169.6	22.095	22.095	22.095	22.095	242.43	171.54	1.41
P87522	2200	131.67	114.45	179.24	167.12	23.438	23.438	23.438	22.095	245.06	174.46	1.40
P872161	1600	113.51	84.432	161.83	129.48	20.386	20.386	20.386	20.386	207.25	141.47	1.47
P872191	1900	127.72	95.534	168.41	162.87	22.095	22.095	22.095	22.095	234.28	159.50	1.47
P872221	2200	128.86	106.72	174.73	164.66	23.438	22.095	23.438	22.095	240.09	167.31	1.43

Tabla 20. Ensayos HALCON 8. Aceleraciones, frecuencias y eficacia de la transmisión de la vibración.

ENSAYOS HALCON 7

FICHERO	Hag	RPMm	ACELERACIONES (m/s ² valor eficaz)										
			Xp	Yp	Xa	Ya	Xt	Yt	Aef,a	Aef,p	Em	Aef,t	Em t-p
P7416	40	1600	94.478	69.186	24.97	51.994	123.86	131.88	57.679	117.102	0.493	180.924	1.545
P7418		1800	100.82	70.093	27.951	54.883	126.42	128.21	61.591	122.791	0.502	180.055	1.466
P7420		2000	95.504	67.111	26.937	52.483	121.99	130.64	58.992	116.726	0.505	178.741	1.531
P7422		2200	107.98	78.703	26.457	54.858	134.5	140.42	60.905	133.618	0.456	194.443	1.455
P7716	80	1600	103.61	68.322	45.77	59.552	131.32	125.78	75.109	124.109	0.605	181.839	1.465
P7718		1800	117.02	77.993	39.215	72.223	156.52	160.22	82.183	140.629	0.584	223.984	1.593
P7720		2000	120.98	86.476	38.664	74.563	163.41	166.15	83.991	148.709	0.565	233.042	1.567
P7722		2200	118.03	83.564	39.6	79.91	164.31	170.94	89.184	144.617	0.617	237.104	1.640
P71016	120	1600	101.82	78.456	105.9	74.696	134.36	111.84	129.593	128.540	1.008	174.816	1.360
P71018		1800	123.36	93.364	83.626	99.386	161.06	150.32	129.888	154.708	0.840	220.310	1.424
P71020		2000	141.21	102.09	67.796	135.09	182.48	187.01	151.148	174.249	0.867	261.289	1.500
P71022		2200	146.03	110.1	64.125	169.28	180.17	206.43	181.019	182.885	0.990	273.997	1.498

FICHERO	Hag	RPMm	FRECUENCIAS (Hz)					
			Xp	Yp	Xa	Ya	Xt	Yt
P7416	40	1600	20.264	19.165	20.264	19.165	20.264	19.165
P7418		1800	20.508	19.287	19.287	20.508	20.508	19.287
P7420		2000	20.508	19.287	19.287	19.287	20.508	19.287
P7422		2200	20.508	19.409	20.508	20.508	20.508	19.287
P7716	80	1600	20.142	20.142	20.142	20.142	20.142	20.142
P7718		1800	23.071	21.729	23.071	21.729	23.071	21.729
P7720		2000	23.682	22.217	23.682	22.217	23.682	22.217
P7722		2200	23.56	22.217	23.56	22.217	23.56	22.217
P71016	120	1600	19.897	19.897	19.897	19.897	21.118	21.118
P71018		1800	22.461	22.461	22.461	22.461	22.461	22.461
P71020		2000	24.658	24.658	26.245	24.658	24.658	24.658
P71022		2200	25.879	25.879	27.466	25.879	25.879	25.879

Tabla 21. Ensayos HALCON 7. Aceleraciones, frecuencias y eficacia de la transmisión de la vibración.

ENSAYOS HALCON 2

FICHERO	Hag	RPMm	ACELERACIONES (m/s ² valor eficaz)						Aef,a	Aef,p	Em	Aef,t	Em t-p
			Xp	Yp	Xa	Ya	Xt	Yt					
P3822	80	2200	141.97	22.892	79.299	114.44	182.6	177.69	139.23	143.80	0.97	254.79	1.77
P38221		2200	142.64	101.65	77.915	121.32	171.17	182.19	144.18	175.15	0.82	249.98	1.43
P3821		2100	141.96	98.08	77.833	120.24	160.1	177.15	143.23	172.55	0.83	238.78	1.38
P3820		2000	142.2	98.88	83.218	110.13	159.82	174.9	138.04	173.20	0.80	236.92	1.37
P3819		1900	140.04	89.824	89.225	98.629	165.02	168.67	133.00	166.37	0.80	235.97	1.42
P3818		1800	120.54	78.401	109.06	78.754	145.09	146.79	134.52	143.79	0.94	206.39	1.44
P3817		1700	106.31	74.658	115.39	65.066	124.41	125.47	132.47	129.91	1.02	176.69	1.36
P3816		1600	89.945	69.178	105.39	60.686	104.31	116.16	121.61	113.47	1.07	156.12	1.38
P3422	40	2200	116.59	73.801	29.248	55.669	137.81	149.15	62.88	137.98	0.46	203.07	1.47
P3420		2000	117.98	72.832	29.493	55.692	146.57	158.92	63.02	138.65	0.45	216.19	1.56
P3418		1800	107.8	65.83	28.6	46.227	126.85	137.23	54.36	126.31	0.43	186.88	1.48
P3416		1600	98.124	58.495	31.919	43.655	115.31	119.9	54.08	114.24	0.47	166.35	1.46

FICHERO	Hag	RPMm	FRECUENCIAS (Hz)					
			Xp	Yp	Xa	Ya	Xt	Yt
P3822	80	2200	25.024	23.56	25.024	23.56	23.56	25.024
P38221		2200	23.804	23.804	25.269	23.804	25.269	23.804
P3821		2100	23.56	23.56	25.024	23.56	23.56	23.56
P3820		2000	23.193	23.193	23.193	23.193	23.193	23.193
P3819		1900	22.095	22.095	22.095	22.095	22.095	23.438
P3818		1800	20.264	20.264	20.264	20.264	21.484	21.606
P3817		1700	19.897	18.799	18.879	18.799	19.897	19.897
P3816		1600	17.944	17.944	19.043	17.944	17.944	19.043
P3422	40	2200	20.508	19.287	20.508	19.287	20.508	19.287
P3420		2000	20.63	19.469	20.63	19.409	20.63	19.409
P3418		1800	20.02	18.799	20.02	18.799	20.02	18.799
P3416		1600	17.578	17.578	18.677	17.578	17.578	17.578

Tabla 22. Ensayos HALCON 2. Aceleraciones, frecuencias y eficacia de la transmisión de la vibración.

			ACELERACIONES (m/s ² valor eficaz)										
FICHERO	Hag	RPMm	Xp	Yp	Xa	Ya	Xt	Yt	Aef,a	Aef,p	Em	Aef,t	Em t-p
P4822	80	2200	187.7	151.09	57.751	107.37	158.46	183.27	121.92	240.96	0.51	242.28	1.01
P4821		2100	174.06	146.3	57.986	105.83	160.82	187.2	120.67	227.38	0.53	246.79	1.09
P48206		2000	184.88	143.41	56.516	106.75	165.57	180.15	120.79	233.98	0.52	244.68	1.05
P4819		1900	172.17	138	55.146	92.76	162.15	176.69	107.91	220.65	0.49	239.82	1.09
P4818		1800	163.72	123.67	58.855	81.361	156	163.68	100.42	205.18	0.49	226.11	1.10
P4817		1700	155.64	119.1	71.65	68.154	152.03	149.03	98.89	195.98	0.50	212.89	1.09
P4816		1600	141.4	108.5	89.082	54.537	128.52	121.85	104.45	178.23	0.59	177.10	0.99
P4421		40	2200	146.47	123.22	39.545	131.94	136.84	142.29	137.74	191.41	0.72	197.41
P4420	2000		146.31	119.69	57.412	147.94	132.27	134.57	158.69	189.03	0.84	188.69	1.00
P4419	1900		141.15	116.87	53.492	144.88	134.86	137.6	154.44	183.25	0.84	192.67	1.05
P4418	1800		143.21	120.56	55.513	119.31	138.09	142.47	131.59	187.20	0.70	198.41	1.06
P4417	1700		139.51	118.8	44.3	130.64	133.22	134.48	137.95	183.24	0.75	189.29	1.03
P4416	1600		129.92	103.54	31.039	113.12	119.35	120.68	117.30	166.13	0.71	169.73	1.02

			FRECUENCIAS (Hz)							
FICHERO	Hag	RPMm	Xp	Yp	Xa	Ya	Xt	Yt		
P4822	80	2200	23.56	22.217	22.217	22.217	23.56	22.217		
P4821		2100	23.682	22.339	22.339	22.339	23.682	22.339		
P48206		2000	23.56	22.217	22.217	22.217	23.56	22.217		
P4819		1900	22.827	21.606	21.606	21.606	22.827	21.606		
P4818		1800	20.752	20.752	20.752	20.752	22.095	20.752		
P4817		1700	19.653	19.653	19.653	19.653	19.653	20.874		
P4816		1600	18.188	18.188	18.188	18.188	18.188	19.287		
P4421		40	2200	20.02	18.921	20.02	18.921	20.02	18.921	
P4420	2000		19.653	18.555	19.653	18.433	19.653	18.433		
P4419	1900		19.653	18.433	18.433	18.433	19.653	18.433		
P4418	1800		19.653	18.555	18.555	19.653	19.653	18.555		
P4417	1700		19.287	18.188	19.287	18.188	19.287	18.188		
P4416	1600		18.311	17.212	18.371	17.212	18.311	17.212		

Tabla 23. Ensayos HALCON 3. Aceleraciones, frecuencias y eficacia de la transmisión de la vibración.

ANEXO III

TABLAS DE RESULTADOS DE LOS “ENSAYOS EN CONDICIONES REALES DE TRABAJO EN CAMPO”

En este Anexo se presentan los valores de los parámetros estudiados en los “Ensayos en condiciones reales de trabajo en campo”. La identificación de cada ensayo se hace con un nombre clave y la finca en la cual se realizó:

NOMBRE ENSAYO	FINCA
M20011 M20012 M20013	“Castro”
M19011 M19012	“El Colegio”
M18012 M18013	“Benamejí”
M07011	“Cerro de las Puertas”
05014	“El Corneta”

La información se ha organizado en seis apartados, que corresponden a:

- 1) Cálculo de máximos. Tabla con los valores máximos registrados durante el tiempo de apriete T_a .
- 2) Cálculo de medias. Tabla con las medias de los valores registrados durante el tiempo de vibración T_v .
- 3) Tiempos. Tabla con los cálculos de los tiempos de agarre (T_a , T_{ai} , T_{af}), de vibración (T_v , T_{vi} , T_{vf}) y de desplazamiento entre pies (T_{ep}), así como sus diferencias ($T_a - T_v$, $T_{vi} - T_{ai}$, $T_{af} - T_{vf}$).

La “Descripción “ del ensayo se realiza a partir del plano de movimientos del vibrador, que se obtiene en campo durante la operación de vibrado. En la columna izquierda se indica el desplazamiento entre pies y en la derecha el árbol al que pertenecen los pies implicados en el desplazamiento, nombrándose, en ambos casos, mediante un número ordinal que hace referencia a la secuencia de trabajo seguida. Cuando los pies pertenecen a árboles diferentes tenemos el tiempo de desplazamiento entre pies que se denomina tiempo de desplazamiento entre árboles (Tep a-a); cuando los pies son del mismo árbol, el tiempo es de desplazamiento entre pies (Tep p-p). La descripción se completa con notas explicativas de las pérdidas de tiempo producidas en el desarrollo del ensayo.

4) Consumos. Para los tiempos definidos en el apartado anterior se procede al cálculo de los consumos C_a , C_v y C_{ep} .

5) Cálculo de Potencias y rendimientos del circuito hidráulico. Se obtienen las potencias en la tdf (N_{tdf}), en la bomba (N_b) y en el motor (N_m), y los rendimientos tdf-bomba ($tdf-b$), bomba-motor ($b-m$) y el global tdf-motor ($tdf-m$).

Todos estos parámetros se determinan para cada una de las vibraciones (VIB) del ensayo. Como resumen, se presenta la media y la desviación estándar (DESV.). Las unidades empleadas son:

Caudales (Q_{sb} , Q_m): l/min

Presiones (P_{sb} , P_m , P_{ap}): bar

Velocidades de giro (RPM_m , RPM_{mh} , RPM_{tdf}): rpm

Par (M_{tdf}): N· m

Aceleraciones (A_1 , A_2): m/s^2 valor eficaz

Tiempos: s

Consumos: ml

Potencias (N_{tdf} , N_b , N_m): kW

Rendimientos ($tdf-b$, $b-m$, $tdf-m$): tanto por ciento

6) Cálculo de datos significativos. Se realizan los siguientes cálculos:

6.1. Tiempos

6.1.1. Tiempo entre pies (Tep)

Paso pie-pie (Tep p-p)

Paso árbol-árbol (Tep a-a)

Media en operación normal

Media global

Entre paréntesis se indica el número de desplazamientos considerados en el cálculo. El tiempo Tep p-p se calcula suprimiendo las vibraciones dobles sobre el mismo pie. La “media en operación normal” se determina suprimiendo tiempos muertos debidos a interrupciones. La “media global” contempla todos los tiempos Tep a-a del ensayo.

6.1.2. Tiempo por pie (Tpie=Tep + Ta).

Medio

Real

El tiempo por pie “medio” considera los tiempos Tep y Ta medios del ensayo, mientras que para el tiempo “real” se utiliza Tep p-p.

6.1.3. Tiempo total ensayo.

Real

Ideal

El “real” se mide en el ensayo. El “ideal” viene determinado por:

n° pies vibrados \cdot Ta + Tep p-p \cdot n° desplazamientos p-p + Tep a-a \cdot n° desplazamientos a-a.

6.2. Consumo

6.2.1. Consumo total ensayo: se mide en el ensayo (consumo acumulado)

6.2.2. Consumo horario: consumo total ensayo / tiempo real ensayo.

6.3. Rendimientos.

6.3.1. Vibraciones/tiempo

6.3.2. Pies vibrados/tiempo

6.3.3. Árboles vibrados/tiempo

6.3.4. Superficie/tiempo (capacidad de campo)

ENSAYO M20011.

1) Cálculo de máximos.

Nº VIB	Qsb	Pap	RPMm	Qm	Psb	Pm	RPMmh	A1	A2	Mtdf	RPMtdf
1	140.1	200.6	2044	122	180.1	175.7	1580	244.9		525.8	931.63
2	131.3	197.4	1933	130.4	179.5	175.4	1690	214		517.3	881.04
3	134	198.4	1970	123.8	181.1	182.2	1600	175.5		518.3	897.90
4	135.7	201.2	1993	134.7	179.8	176.3	1740	324.5		521.6	908.39
5	138.9	194.6	1981	133.2	180.4	179.8	1700	290.9		517.9	902.92
6	136	202.3	1994	117.8	179.5	176.5	1500	188.4		520.9	908.84
7	126.5	196.8	1861	127.7	179.4	176.6	1630	225.7		511.3	848.22
8	129.3	189.3	1902	130.5	179.5	176.7	1660	237.6		523.3	866.91
9	129.9	196.2	1905	130.2	179.5	176.1	1660	232.9		524	868.28
10	133.7	201.2	1974	133.8	179.2	176	1700	249.3		524.5	899.73
11	136.2	205.9	2011	128.7	179.9	175.9	1630	210.5	176.9	514	916.59
12	129.9	199.4	1923	130.3	179.7	176.4	1660	191.6		511.3	876.48
13	127.8	198.6	1900	126.3	179.6	176.6	1600	223.2		517.4	866.00
14	129.9	196.9	1916	128.9	179.5	176.6	1630	233.1	199.5	498.9	873.29
15	122.3	187.6	1813	118.7	179.2	190.7	1460	197.8		519.8	826.34
16	128.3	203.9	1916	128	179.3	176.7	1780	278.4	506.6	541.1	873.29
17	131	196.3	1951	125	179.8	176.1	1570	297.4		507.9	889.24
18	129.8	194.3	1928	127.7	179.9	176.6	1610	246.4		515	878.76
19	121.4	194.8	1831	120.1	179.3	176.6	1500	275.3		516	834.55
20	126.2	187.5	1860	124.6	179.3	177.8	1560	261.5		513.7	847.77
21	120.8	189	1807	122.2	179.3	176	1530	159.9		504.9	823.61
22	131.5	196.9	1971	187.8	179.7	179.3	1850	507.9		513.8	898.36
23	123.3	190.3	1841	124.2	179.3	175.8	1550	176.9		499	839.11
24	122.5	190.6	1830	122.8	179.2	177.2	1540	158.3		502.8	834.09
25	118.9	188.5	1802	122.3	178.9	176.7	1540	195.5		515.5	821.33
26	124.4	195	1874	123.2	179.4	176.6	1550	215.5		504.5	854.15
27	113.8	186.9	1722	114.8	178.8	177.1	1430	148.2		495.7	784.87
28	127.2	199.9	1899	119.9	179.3	178	1500	331.9		504.5	865.54
29	127.3	202.5	1909	126.3	179.2	177.2	1590	200.6		494.5	870.10
MEDIA	128.55	195.96	1905.55	127.79	179.54	177.42	1604.83	237.71	294.33	513.63	868.53
DESV.	6.12	5.36	73.61	12.55	0.45	2.91	95.27	70.49	184.18	10.31	33.55

2) Cálculo de medias.

Nº VIB	Qsb	Pap	RPMm	Qm	Psb	Pm	RPMmh	A1	A2	Mtdf	RPMtdf
1	132.58	183.44	1946.38	117.25	179.47	172.16	1522.86	136.16		512.12	887.14
2	130.74	183.61	1921.86	127.06	178.31	170.20	1644.29	167.03		509.44	875.96
3	133.56	185.15	1965.38	119.88	179.33	172.45	1543.75	152.58		517.95	895.80
4	135.06	184.30	1983.00	132.36	178.41	170.67	1705.71	206.43		514.20	903.83
5	134.24	183.43	1975.95	131.05	176.20	168.13	1680.00	200.62		508.49	900.62
6	135.06	183.56	1984.06	111.07	179.19	173.41	1411.67	134.24		515.92	904.31
7	124.40	181.38	1843.76	123.08	161.49	154.98	1569.66	161.35		465.72	840.36
8	127.92	180.35	1894.31	126.84	159.85	153.12	1617.69	167.94		461.96	863.40
9	129.04	178.98	1881.92	127.08	149.85	143.03	1622.31	155.72		436.02	857.76
10	132.48	187.93	1960.30	129.61	171.60	164.65	1647.00	188.08		494.55	893.48
11	129.62	187.24	1922.71	123.63	173.43	167.09	1567.14	160.11	82.95	499.09	876.35
12	129.01	182.53	1913.67	127.18	164.38	157.68	1615.83	147.03		475.28	872.23
13	125.67	182.63	1859.28	120.38	176.27	169.64	1518.33	168.51		500.66	847.44
14	129.47	186.50	1908.57	125.23	176.10	169.80	1585.71	166.57	145.37	493.61	869.90
15	121.58	167.88	1722.00	115.70	178.74	176.40	1326.00	146.92		510.57	784.87
16	127.05	184.19	1864.53	122.63	175.80	167.45	1536.67	152.91	92.81	503.96	849.83
17	128.22	184.12	1926.85	120.79	178.21	172.41	1515.77	228.74		506.43	878.23
18	127.67	181.20	1904.69	124.51	173.13	167.16	1563.75	194.25		491.21	868.13
19	116.25	181.11	1763.06	115.06	163.22	157.87	1435.29	145.84		460.82	803.58
20	122.90	168.83	1822.00	120.50	142.93	138.00	1513.33	152.83		424.40	830.45
21	119.84	179.19	1798.13	115.91	173.77	168.35	1444.67	137.87		488.39	819.57
22	128.43	181.21	1926.87	126.07	176.33	171.20	1540.00	180.12		501.99	878.24
23	122.71	179.83	1835.56	120.00	172.56	166.84	1504.44	136.32		485.04	836.63
24	120.96	182.49	1815.86	117.74	171.34	165.94	1472.86	115.94		486.56	827.65
25	117.82	181.94	1792.00	115.86	167.02	161.92	1448.00	131.92		472.00	816.77
26	123.73	182.88	1869.50	116.97	176.48	171.52	1462.50	181.32		500.03	852.10
27	112.83	180.85	1703.75	111.65	170.83	166.70	1390.00	112.15		472.98	776.55
28	124.65	183.06	1872.92	110.92	178.48	174.21	1376.15	178.22		501.84	853.66
29	125.49	184.25	1889.25	114.46	177.89	173.19	1418.75	143.39		490.51	861.10
MEDIA	126.52	181.86	1878.21	121.05	171.75	165.73	1524.14	160.38	107.04	489.71	856.07
DESV.	5.67	4.33	74.46	6.01	9.00	9.05	95.17	26.86	33.56	23.20	33.94

3) Tiempos.

Nº VIB	Tai	Taf	Tvi	Tvf	Ta/VIB	Tv/VIB	Ta-Tv	Tvi -Tai	Taf -Tvf	Tep	Descripción	
1	141	170	144	168	29	24	5	3	2	29	1-2	1
2	199	215	204	213	16	9	7	5	2	64	2-3	1-2
3	279	293	283	292	14	9	5	4	1	43	3-4	2
4	336	350	340	349	14	9	5	4	1	42	4-5	2-3
5	392	423	396	422	31	26	5	4	1	85	5-6	3
6	508	538	512	533	30	21	9	4	5	68	6-7	3-4
7	606	644	610	641	38	31	7	4	3	5	7-7	4
8	649	670	652	669	21	17	4	3	1	27	7-8	4
9	697	717	701	716	20	15	5	4	1	33	8-9	4-5
10	750	766	753	765	16	12	4	3	1	33	9-10	5
11	799	820	803	818	21	15	6	4	2	69	10-11	5-6
12	889	907	892	906	18	14	4	3	1	24	11-12	6
13	931	956	934	953	25	19	6	3	3	206	12-13 (1)	6-7
14	1162	1175	1164	1174	13	10	3	2	1	28	13-14	7
15	1203	1215	1206	1214	12	8	4	3	1	54	14-15	7-8
16	1269	1289	1272	1288	20	16	4	3	1	34	15-16	8
17	1323	1356	1326	1355	33	29	4	3	1	95	16-17	8-9
18	1451	1475	1454	1473	24	19	5	3	2	38	17-18	9
19	1513	1539	1516	1538	26	22	4	3	1	206	18-19 (1)	9-10
20	1745	1753	1748	1752	8	4	4	3	1	25	19-19	10
21	1778	1799	1781	1798	21	17	4	3	1	29	19-20	10
22	1828	1851	1832	1850	23	18	5	4	1	392	20-21 (1)	10-11
23	2243	2259	2247	2257	16	10	6	4	2	169	21-23 (2)	11-12
24	2428	2442	2431	2440	14	9	5	3	2	123	23-24 (3)	12-13
25	2565	2576	2569	2575	11	6	5	4	1	23	24-25	13
26	2599	2617	2602	2616	18	14	4	3	1	93	25-26 (3)	13-14
27	2710	2720	2713	2718	10	5	5	3	2	23	26-27	14
28	2743	2762	2745	2761	19	16	3	2	1	146	27-28 (1)	14-15
29	2908	2922	2910	2921	14	11	3	2	1			
MEDIA					19.83	15.00	4.83	3.31	1.52	78.79		
DESV.					7.37	6.97	1.31	0.71	0.91	82.76		

Notas:

- (1) Movimiento de mallas.
- (2) No pudo vibrarse el pie 22 por ser demasiado grande. Paso al pie 23.
- (3) Paso a un pie de un árbol no contiguo (mayor distancia).

4) Consumos.

Nº VIB	Cai	Caf	Cvi	Cvf	Ca/VIB	Cv/VIB	Ca-Cv	Cvi-Cai	Caf-Cvf	Cep
1	105	222	110	219	117	109	8	5	3	23
2	245	295	253	293	50	40	10	8	2	67
3	362	415	370	412	53	42	11	8	3	34
4	449	498	455	496	49	41	8	6	2	35
5	533	659	541	659	126	118	8	8	0	73
6	732	837	739	835	105	96	9	7	2	85
7	922	1053	930	1051	131	121	10	8	2	4
8	1057	1130	1062	1130	73	68	5	5	0	22
9	1152	1217	1158	1216	65	58	7	6	1	26
10	1243	1302	1248	1301	59	53	6	5	1	27
11	1329	1403	1336	1401	74	65	9	7	2	81
12	1484	1547	1489	1547	63	58	5	5	0	20
13	1567	1659	1572	1656	92	84	8	5	3	172
14	1831	1877	1834	1876	46	42	4	3	1	22
15	1899	1950	1903	1950	51	47	4	4	0	58
16	2008	2123	2013	2115	115	102	13	5	8	32
17	2155	2287	2161	2286	132	125	7	6	1	81
18	2368	2454	2372	2453	86	81	5	4	1	34
19	2488	2574	2492	2574	86	82	4	4	0	171
20	2745	2766	2748	2763	21	15	6	3	3	18
21	2784	2867	2789	2863	83	74	9	5	4	28
22	2895	2987	2900	2987	92	87	5	5	0	263
23	3250	3299	3257	3297	49	40	9	7	2	167
24	3466	3509	3470	3506	43	36	7	4	3	136
25	3645	3674	3650	3673	29	23	6	5	1	20
26	3694	3760	3701	3759	66	58	8	7	1	110
27	3870	3894	3874	3891	24	17	7	4	3	22
28	3916	3988	3919	3986	72	67	5	3	2	150
29	4138	4188	4140	4186	50	46	4	2	2	
MEDIA					72.48	65.34	7.14	5.31	1.83	70.75
DESV.					31.46	30.80	2.31	1.67	1.65	64.47

5) Cálculo de Potencias y rendimientos del circuito hidráulico.

Nº VIB	Ntdf	Nb	Nm	tdf-b	b-m	tdf-m
1	47.58	38.90	33.00	81.77	84.84	69.37
2	46.73	38.12	35.36	81.57	92.76	75.66
3	48.59	39.16	33.80	80.60	86.31	69.56
4	48.67	39.40	36.93	80.95	93.75	75.89
5	47.96	38.67	36.03	80.64	93.15	75.12
6	48.86	39.57	31.49	80.99	79.58	64.45
7	40.98	32.84	31.19	80.14	94.96	76.10
8	41.77	33.43	31.75	80.05	94.97	76.02
9	39.16	31.62	29.72	79.47	95.48	75.88
10	46.27	37.17	34.89	80.33	93.87	75.40
11	45.80	36.75	33.77	80.25	91.89	73.74
12	43.41	34.67	32.79	79.87	94.56	75.52
13	44.43	36.22	33.39	81.52	92.19	75.15
14	44.97	37.28	34.77	82.90	93.26	77.32
15	41.96	35.53	33.37	42.26	93.92	39.69
16	44.85	36.52	33.57	81.42	91.94	74.86
17	46.58	37.36	34.05	80.21	91.14	73.10
18	44.66	36.14	34.03	80.93	94.16	76.20
19	38.78	31.02	29.70	80.00	95.73	76.59
20	36.91	28.72	27.19	77.82	94.66	73.67
21	41.92	34.05	31.90	81.23	93.70	76.11
22	46.17	37.03	35.29	80.20	95.31	76.44
23	42.50	34.62	32.73	81.47	94.55	77.03
24	42.17	33.89	31.95	80.35	94.27	75.75
25	40.37	32.17	30.67	79.70	95.33	75.98
26	44.62	35.70	32.80	80.02	91.87	73.52
27	38.46	31.51	30.43	81.93	96.57	79.12
28	44.86	36.37	31.59	81.08	86.86	70.43
29	44.23	36.50	32.41	82.51	88.80	73.28
MEDIA	43.94	35.55	32.78	79.39	92.43	73.34
DESV.	3.27	2.78	2.11	7.21	3.79	7.10

6) Cálculo de datos significativos:

6.1. Tiempos.

6.1.1. Tiempo entre pies (Tep).

Paso pie-pie (12): 34.67 s

Paso árbol-árbol (14):

Media en operación normal (10): 81 s

Media con tiempos muertos (4): 237.5 s

Media global: 125.71 s

6.1.2. Tiempo por pie (Tep + Ta).

Medio: 98.61 s/pie

Real: 54.5 s/pie

6.1.3. Tiempo total ensayo.

Real: 2781 s

Ideal: 2085.39 s

6.2. Consumo.

6.2.1. Consumo total ensayo: 4.083 l

6.2.2. Consumo horario: 5.28 l/h

6.3. Rendimientos.

6.3.1. Vibraciones/tiempo: 37.54 vibraciones/h (95.89 s/vibración)

6.3.2. Pies vibrados/tiempo: 34.95 pies/h (103 s/pie)

6.3.3. Árboles vibrados/tiempo: 19.42 árboles/h (185.4 s/árbol)

6.3.4. Superficie/tiempo (capacidad de campo): 0.194 ha/h

Notas:

- El cálculo de "Media con tiempos muertos" se realiza con los Tep designados con la nota (1) en Descripción.

ENSAYO M20012

1) Cálculo de máximos.

Nº VIB	Qsb	Pap	RPMm	Qm	Psb	Pm	RPMmh	A1	A2	Mtdf	RPMtdf
1	124.7	200	1857	123.8	179	177.4	1560	211.2		502.3	846.40
2	123.7	193	1866	123.5	178.7	177.6	1550	217.1		504.7	850.50
3	122.4	192.5	1850	123	178.9	176.4	1540	175.6		502.7	843.21
4	117.9	195.8	1789	121.5	179.1	177	1510	210.8		494.8	815.41
5	124.6	183.1	1886	125.1	179.1	174.8	1570	185.6		495.6	859.62
6	128.8	198	1948	118	179.5	176.6	1460	216.9		501.3	887.88
7	116.5	187.7	1772	117.6	179	179.9	1470	174.5		498.7	807.66
8	126.1	192.9	1898	125	179	178.1	1560	218.5		502.8	865.09
9	134.3	204.7	2027	133.2	179.1	178.1	1660	258.8		501.3	923.88
10	130.6	190.3	1972	122.5	179.4	177.9	1520	238.5		504	898.81
11	126.4	194.5	1918	127.7	178.5	177.5	1590	196		511.1	874.20
12	132.9	188.4	1996	131.6	179.1	176.6	1640	218.3		501.7	909.75
13	131.4	195	1996	122.2	179.4	177.5	1510	244.6		500.7	909.75
14	119.2	192.2	1830	120.3	178.9	175.5	1490	210.8		499.7	834.09
15	124.9	192.2	1899	122	180.6	181.9	1500	258.2		497.2	865.54
16	125.7	191.9	1919	126.5	178.7	175.3	1580	243		497	874.66
17	128.1	198.7	1961	124.3	179	176	1540	194.7		497.2	893.80
18	123.5	188.9	1888	117.4	178.9	179.4	1410	316.8	179.1	494.7	860.53
19	117.2	188.7	1814	119.6	178.7	176.9	1560	208.6	138.4	493.9	826.80
20	118.4	192.6	1838	120.2	177.6	174.8	1430	165.8	113.5	494	837.74
21	121	192.5	1874	123.9	179.9	180.9	1510	269.3	136.2	495.4	854.15
22	125.2	197	1908	124.4	179.1	176.4	1530	202	124.7	498.4	869.64
MEDIA	124.70	193.21	1895.73	123.33	179.05	177.39	1531.36	219.80	138.38	499.51	864.05
DESV.	5.05	4.71	68.13	4.02	0.55	1.84	60.42	35.42	24.84	4.26	31.05

2) Cálculo de medias.

Nº VIB	Qsb	Pap	RPMm	Qm	Psb	Pm	RPMmh	A1	A2	Mtdf	RPMtdf
1	121.24	187.75	1821.70	117.19	172.29	167.08	1464.00	165.78		488.24	830.31
2	120.24	180.36	1836.71	119.08	155.57	150.43	1485.71	155.09		440.25	837.15
3	118.14	176.71	1808.68	117.41	140.86	136.06	1463.20	127.64		395.81	824.38
4	116.34	180.71	1777.43	115.77	156.87	151.85	1432.14	164.24		438.61	810.13
5	124.15	172.43	1631.50	122.13	171.53	166.40	1520.00	160.25		486.30	743.62
6	128.22	186.58	1943.00	113.22	178.90	175.33	1396.67	131.10		500.54	885.60
7	116.26	171.05	1749.09	114.27	126.45	122.95	1431.82	124.56		359.28	797.22
8	124.56	182.61	1886.67	119.75	170.28	166.12	1489.44	168.86		481.15	859.92
9	131.93	184.87	2003.75	127.94	164.80	160.07	1596.56	185.92		468.48	913.29
10	128.33	180.08	1952.67	117.33	178.17	174.10	1450.00	192.85		502.47	890.00
11	123.75	182.10	1879.73	122.19	160.06	155.33	1518.18	144.82		455.72	856.76
12	124.22	179.19	1893.81	122.89	147.81	143.00	1524.29	158.98		415.90	863.18
13	127.33	183.81	1950.73	116.33	177.31	173.30	1431.82	167.34		495.65	889.12
14	118.41	180.20	1823.43	114.05	172.58	168.24	1400.71	159.24		482.40	831.10
15	120.66	179.59	1864.25	115.25	173.23	168.89	1412.00	174.75		481.97	849.70
16	123.21	173.28	1873.45	120.37	130.18	125.20	1490.00	133.68		364.68	853.90
17	125.75	178.83	1937.67	111.97	169.63	165.38	1368.33	144.03		466.67	883.17
18	114.60	168.89	1791.68	112.59	134.79	131.22	1360.00	183.49	109.44	375.91	816.63
19	116.35	177.34	1774.55	114.55	136.73	132.85	1423.57	167.21	104.84	387.45	808.82
20	118.61	169.17	1820.07	116.32	127.06	123.21	1410.00	118.62	81.31	356.12	829.57
21	115.30	180.34	1817.23	114.33	154.31	150.47	1395.00	139.91	43.82	430.40	828.27
22	122.31	179.47	1883.55	118.29	166.21	161.22	1464.29	154.91	93.43	465.23	858.50
MEDIA	121.81	178.88	1850.97	117.42	157.53	153.12	1451.26	155.60	86.57	442.69	843.65
DESV.	4.79	5.21	82.90	3.92	17.70	17.61	57.45	20.49	26.26	49.45	37.78

3) Tiempos.

Nº VIB	Tai	Taf	Tvi	Tvf	Ta/VIB	Tv/VIB	Ta-Tv	Tvi -Tai	Taf -Tvf	Tep	Descripción	
1	4	24	8	22	20	14	6	4	2	26	1-2	1
2	50	88	53	87	38	34	4	3	1	33	2-3	1-2
3	121	155	125	153	34	28	6	4	2	87	3-4	2-3
4	242	267	246	265	25	19	6	4	2	18	4-5	3
5	285	294	288	293	9	5	4	3	1	26	5-6	3-4
6	320	336	323	335	16	12	4	3	1	196	6-7 (1)	4-5
7	532	553	536	550	21	14	7	4	3	59	7-8	5-6
8	612	640	615	638	28	23	5	3	2	39	8-9	6
9	679	721	683	719	42	36	6	4	2	60	9-10	6-7
10	781	793	784	792	12	8	4	3	1	21	10-11	7
11	814	833	817	831	19	14	5	3	2	92	11-12 (2)	7-8
12	925	954	928	952	29	24	5	3	2	25	12-13	8
13	979	999	982	997	20	15	5	3	2	40	13-14	8-9
14	1039	1062	1044	1061	23	17	6	5	1	30	14-15	9
15	1092	1120	1095	1118	28	23	5	3	2	56	15-16	9-10
16	1176	1214	1179	1212	38	33	5	3	2	18	16-17	10
17	1232	1244	1235	1242	12	7	5	3	2	18	17-17	10
18	1262	1290	1265	1288	28	23	5	3	2	117	17-18 (3)	10-11
19	1407	1427	1409	1425	20	16	4	2	2	166	18-19 (4)	11-12
20	1593	1618	1597	1616	25	19	6	4	2	19	19-20	12
21	1637	1685	1639	1683	48	44	4	2	2	131	20-21 (5)	12-13
22	1816	1842	1820	1834	26	14	12	4	8			
MEDIA					25.50	20.09	5.41	3.32	2.09	60.81		
DESV.					9.96	10.00	1.71	0.72	1.41	52.10		

Notas:

- (1) Movimiento de mallas. Paso de una hilera a otra.
- (2) Paso de una hilera a otra.
- (3) Recorrido excesivo para llegar al pie 18.
- (4) Parada técnica (comprobación cable sensor RPMmh).
- (5) Parada técnica (sujetar almohadillas de la pinza).

4) Consumos.

Nº VIB	Cai	Caf	Cvi	Cvf	Ca/VIB	Cv/VIB	Ca-Cv	Cvi-Cai	Caf-Cvf	Cep
1	8	73	15	71	65	56	9	7	2	26
2	99	233	104	232	134	128	6	5	1	29
3	262	368	268	365	106	97	9	6	3	83
4	451	525	455	522	74	67	7	4	3	19
5	544	583	554	579	39	25	14	10	4	21
6	604	662	610	662	58	52	6	6	0	175
7	837	890	844	887	53	43	10	7	3	61
8	951	1050	956	1049	99	93	6	5	1	33
9	1083	1247	1091	1246	164	155	9	8	1	55
10	1302	1343	1306	1341	41	35	6	4	2	17
11	1360	1422	1365	1420	62	55	7	5	2	97
12	1519	1621	1525	1620	102	95	7	6	1	19
13	1640	1714	1644	1713	74	69	5	4	1	39
14	1753	1829	1761	1827	76	66	10	8	2	24
15	1853	1955	1859	1952	102	93	9	6	3	56
16	2011	2132	2017	2130	121	113	8	6	2	14
17	2146	2182	2150	2180	36	30	6	4	2	15
18	2197	2279	2204	2278	82	74	8	7	1	113
19	2392	2442	2394	2440	50	46	4	2	2	120
20	2562	2631	2569	2630	69	61	8	7	1	16
21	2647	2809	2650	2807	162	157	5	3	2	95
22	2904	2969	2908	2964	65	56	9	4	5	
MEDIA					83.36	75.73	7.64	5.64	2.00	53.67
DESV.					36.76	37.11	2.22	1.87	1.15	44.36

5) Cálculo de Potencias y rendimientos del circuito hidráulico.

Nº VIB	Ntdf	Nb	Nm	tdf-b	b-m	tdf-m
1	42.45	34.15	32.01	80.45	93.74	75.41
2	38.60	30.58	29.29	79.24	95.76	75.89
3	34.17	27.21	26.12	79.63	95.99	76.44
4	37.21	29.84	28.74	80.19	96.32	77.25
5	37.87	34.82	33.23	91.94	95.43	87.74
6	46.42	37.51	32.46	80.79	86.54	69.92
7	29.99	24.04	22.97	78.76	97.23	76.58
8	43.33	34.68	32.53	80.03	93.80	75.07
9	44.81	35.55	33.48	79.34	94.19	74.73
10	46.83	37.38	33.40	79.83	89.34	71.32
11	40.89	32.39	31.03	79.21	95.81	75.90
12	37.59	30.02	28.73	79.86	95.70	76.42
13	46.15	36.91	32.96	79.98	89.30	71.42
14	41.98	33.41	31.37	79.58	93.90	74.72
15	42.89	34.17	31.82	79.69	93.12	74.20
16	32.61	26.22	24.64	79.11	95.51	75.56
17	43.16	34.88	30.28	80.81	86.81	70.15
18	32.15	25.26	24.16	78.57	95.65	75.15
19	32.82	26.01	24.88	77.89	97.33	75.81
20	30.94	24.64	23.43	78.31	96.72	75.74
21	37.33	29.09	28.13	77.93	96.68	75.34
22	41.82	33.24	31.18	79.47	93.81	74.55
MEDIA	39.18	31.45	29.40	80.03	94.03	75.24
DESV.	5.30	4.37	3.54	2.78	3.19	3.47

6) Cálculo de datos significativos:

6.1. Tiempos.

6.1.1. Tiempo entre pies (Tep).

Paso pie-pie (8): 24.5 s

Paso árbol-árbol (12):

Media en operación normal (10): 70.1 s

Media global: 88.58 s

6.1.2. Tiempo por pie (Tep + Ta).

Medio: 86.31 s/pie

Real: 50 s/pie

6.1.3. Tiempo total ensayo.

Real: 1838 s

Ideal: 1572.7 s

6.2. Consumo.

6.2.1. Consumo total ensayo: 2.961 l

6.2.2. Consumo horario: 5.8 l/h

6.3. Rendimientos.

6.3.1. Vibraciones/tiempo: 43.1 vibraciones/h (83.54 s/vibración)

6.3.2. Pies vibrados/tiempo: 41.13 pies/h (87.52 s/pie)

6.3.3. Árboles vibrados/tiempo: 25.46 árboles/h (141.38 s/árbol)

6.3.4. Superficie/tiempo (capacidad de campo): 0.254 ha/h

Notas:

- Ensayo realizado con dos vibradores trabajando simultáneamente.
- El cálculo de "Media en operación normal" se realiza exceptuando los Tep 18-19, 20-21, y considerando 131 s para el Tep 6-7.

ENSAYO M20013

1) Cálculo de máximos:

Nº VIB	Qsb	Pap	RPMm	Qm	Psb	Pm	RPMmh	A1	A2	Mtdf	RPMtdf
1	131.9	181.8	1974	120.8	180.1	173.4		160.1	712.3	541	899.73
2	123.7	184.7	1856	115.7	179.9	174.6		214.5	679.7	531.4	845.94
3	122.6	179.7	1840	117.6	180	176.1		157.6	227.8	526.6	838.65
4	129.3	188.9	1934	113.4	180.3	174.6		181.9	712.3	540.9	881.49
5	127	191.4	1894	116.4	179.9	174.7		137.7	712.3	527.1	863.26
6	127.2	190.9	1895	127	179.8	173.8		170	712.3	510	863.72
7	128.6	188.7	1913	126.2	180	173.7		223	252.2	492.3	871.92
8	126.2	188.1	1865	127.7	179.6	174.8		216.3	216.9	500.3	850.05
9	126.5	191.5	1885	118.9	180	176		197.5	238.2	501.5	859.16
10	122	189.5	1791	171	179.7	174.8		504.21	758	508.4	816.32
11	123.9	191.6	1842	115.9	179.7	175.3		143.7	670.1	509.3	839.56
12	132.9	186.6	1950	114.7	180	175.5		142.3	138.5	527.4	888.79
13	128.9	205.8	1891	128.6	179.7	175.1		258.9	305.6	517.2	861.90
14	136.1	203.2	2001	115.5	180.4	175.5		246.6	259	594.1	912.03
15	131.7	195.7	2352	179.5	179.8	186.1		516.11		446.2	1072.01
16	123.7	193.6	1722	116.9	179.6	175		265.9	174.7	527.8	784.87
17	129.7	201.9	1905	129	179.9	176.3		218.1		515.9	868.28
18	117.7	197.7	1738	120.6	179.4	174.7		210.4		509.5	792.16
19	135.6	207	1984	119.8	180.8	177		198.9	147.5	511.8	904.28
20	123.3	208.5	1831	120.7	179.6	175		186.1	141.9	503.2	834.55
21	123.9	193.9	1834	125.2	179.6	174.6		230.3	156.1	525.4	835.92
22	131	192.6	1946	125.5	179.7	175.8		227.9		514.9	886.96
23	129.8	204.4	1920	119.1	180	175.4		582.6	168.9	513.5	875.11
24	125	199	1864	124.6	179.6	176.7		239.7		506.8	849.59
25	123.2	193.1	1843	110.6	179.9	177.9		562	162.8	512.9	840.02
26	126.2	193.2	1902	126.2	179.4	176.2				520.9	866.91
27	132.2	204.3	1958	126.9	179.6	176		237		523.1	892.43
28	127.1	202	1908	125.8	179.4	176.4		268.7		510.6	869.64
29	134.3	203	1997	122.7	179.8	176.7		199.3		509.3	910.21
30	132.1	180.5	1955	126.8	179.3	177.8		229.7		506.1	891.07
31	135	195.9	2014	129.7	179.5	178.5				512	917.96
32	131.8	204.6	1976	125.6	179.6	179.4			162.9	504.7	900.64
33	135.7	195.1	2020	132.3	179.8	175.8			194.1	525.9	920.69
34	130.9	199.8	1963	130.8	179.4	175		409.8	143.6	509.3	894.71
35	138.8	203.5	2075	125.9	179.5	175.5		203.6		509.4	945.76
36	131.3	195.7	1949	127.8	179.9	178.2		287.6	176.8	512.8	888.33
37	118.8	199.8	6661	117.9	179.4	185.9		204.9		524.1	3036.01
38	126	193.6	1899	124.2	179.6	177.7		202	169.6	510.4	865.54
39	124.1	195.5	1862	123.7	179.3	178.1		194.4	134.9	506.1	848.68
40	132	199.4	1979	118.3	179.5	176.1		243.8	578.1	509.1	902.01
41	140.7	197	2101	127.5	180.3	177		269.5		514.6	957.61
42	118.5	183.1	1826	119.8	178	176.4		218.3		498.3	832.27
43	126.8	185.9	1900	127.5	179.6	177.9		203	191.5	507.3	866.00
44	134.1	188.1	2024	131.8	179.7	178.1		196.4	192.9	510.7	922.52
45	118.5	190.9	3607	111.3	178.9	177.4		214.2	575.8	519.3	1644.03
46	125.7	194.6	1909	124.6	179.2	177.3		238.1	224.1	507.7	870.10
47	127.3	207.6	1930	120.4	179.5	176.2		208.9	119.7	506.7	879.67
48	121.4	187.1	1863	122.8	178.8	176.4		198.1		505	849.13
49	119.6	195	1816	122	178	176		218.3		494.5	827.71
50	121.2	184.2	1849	121.1	178.7	175.3		198.5		516.4	842.75
51	133.5	193.9	2017	121.8	180.1	178.1		230.6		511.2	919.33
52	122	185.2	1860	113.3	178.7	175.7		168.6		501	847.77
MEDIA	127.83	194.39	2044.04	124.41	179.61	176.49		242.41	325.35	513.50	931.65
DESV.	5.54	7.45	700.30	11.60	0.51	2.34		101.40	230.42	17.96	319.19

2) Cálculo de medias:

Nº VIB	Qsb	Pap	RPMm	Qm	Psb	Pm	RPMmh	A1	A2	Mtdf	RPMtdf
1	129.43	170.40	1945.58	114.93	179.59	170.07		129.63	364.62	535.92	886.77
2	120.77	169.01	1819.19	109.32	179.14	170.00		150.20	300.47	528.45	829.17
3	120.46	163.23	1815.29	108.99	178.80	169.97		113.99	142.57	525.44	827.39
4	126.59	176.14	1895.84	108.06	179.60	171.24		135.43	412.16	526.13	864.10
5	126.43	171.66	1889.33	108.23	179.24	170.00		100.61	445.63	525.56	861.14
6	125.75	172.53	1877.32	120.19	178.68	169.28		114.13	277.89	504.88	855.66
7	125.69	169.91	1874.94	118.94	177.64	169.01		136.40	146.56	487.99	854.58
8	125.38	173.32	1804.95	123.94	167.69	159.18		137.17	148.87	439.38	822.68
9	120.48	167.95	1722.35	115.22	174.94	167.16		144.91	186.22	461.28	785.03
10	112.88	174.61	1701.41	108.02	174.70	167.23		89.36	94.56	493.91	775.48
11	121.16	173.50	1809.00	110.70	178.66	170.37		96.74	160.47	497.40	824.52
12	131.05	175.30	1925.50	110.68	179.48	172.23		116.20	109.03	514.10	877.62
13	125.62	182.86	1857.55	121.68	169.07	161.20		185.11	170.94	476.10	846.65
14	134.06	184.52	1977.88	109.87	179.52	172.18		178.78	169.48	592.05	901.49
15	128.38	175.45	1917.05	98.80	178.81	174.30		130.06		442.34	873.77
16	113.88	179.20	1698.80	114.37	137.46	130.90		162.63	138.90	407.78	774.29
17	128.17	184.93	1887.06	124.72	173.09	165.28		172.06		498.29	860.10
18	116.11	179.00	1728.39	115.53	154.28	147.70		174.58		442.27	787.78
19	132.79	186.24	1962.34	111.42	179.03	172.21		148.40	120.67	509.03	894.41
20	121.36	185.81	1818.45	114.36	176.72	169.83		140.73	112.52	495.47	828.83
21	119.84	170.42	1764.70	117.53	128.66	121.96		127.58	111.40	373.08	804.33
22	127.55	181.58	1903.69	121.43	176.64	169.76		162.45		506.10	867.68
23	122.15	185.24	1843.21	112.18	174.77	168.84		120.40	119.93	497.57	840.11
24	123.76	181.78	1849.18	118.64	176.35	170.56		153.48		498.06	842.84
25	118.77	181.02	1796.46	107.01	175.82	171.18		321.43	80.98	509.85	818.80
26	123.77	180.01	1878.00	121.02	164.17	157.64				472.86	855.97
27	129.84	184.63	1945.81	120.63	177.84	171.64		167.52		508.71	886.88
28	125.85	185.36	1896.87	117.67	177.15	171.27		152.75		504.31	864.57
29	128.08	183.64	1918.45	116.45	178.61	174.16		165.31		499.25	874.41
30	130.05	164.25	1934.50	120.95	154.95	149.75		195.30		473.25	881.72
31	130.95	186.29	1966.27	124.47	176.87	171.14				503.67	896.20
32	130.41	191.54	1960.41	119.41	178.05	173.24			122.80	503.25	893.53
33	134.00	153.25	1998.50	126.85	139.80	135.50			148.20	433.05	910.89
34	128.11	183.57	1935.72	123.06	167.20	161.30		53.69	112.54	476.21	882.28
35	128.58	183.90	1943.91	120.15	172.38	167.24		134.12		489.95	886.01
36	128.61	180.05	1920.82	123.00	174.55	169.12		149.04	121.06	499.44	875.49
37	115.25	181.67	2173.67	110.03	171.78	170.88		131.44		490.05	990.73
38	123.04	182.20	1871.82	117.85	174.50	170.80		151.90	124.01	497.19	853.15
39	119.60	180.51	1817.10	117.38	164.76	160.17		143.77	113.75	468.49	828.21
40	123.76	182.05	1877.94	112.02	178.71	174.06		187.41	111.95	506.96	855.94
41	131.66	179.69	1992.03	120.62	177.55	172.16		189.09		507.81	907.94
42	117.43	166.51	1813.30	116.49	122.36	118.49		136.59		352.47	826.48
43	127.77	175.56	1889.44	125.20	139.54	134.24		170.43	128.70	406.00	861.19
44	128.57	180.91	1960.14	125.45	166.99	155.25		153.59	127.67	477.98	893.41
45	106.01	183.07	1808.67	104.92	153.53	150.36		167.36	125.22	442.88	824.37
46	122.69	180.93	1880.17	116.62	171.08	166.95		145.92	111.58	488.03	856.96
47	119.82	183.21	1844.70	112.43	163.30	159.60		166.94	61.49	462.18	840.79
48	120.45	179.58	1850.00	116.70	168.38	163.58		164.30		492.43	843.21
49	117.99	184.61	1797.69	116.08	152.66	147.31		144.19		433.58	819.37
50	121.97	172.34	1831.10	119.58	127.33	122.44		151.57		372.31	834.59
51	130.75	182.25	1990.73	114.47	178.60	175.04		165.86		509.82	907.35
52	129.00	178.90	1860.00	113.30	178.70	173.90		168.60		499.80	847.77
MEDIA	124.47	178.19	1877.75	116.11	168.46	162.29		149.98	163.21	481.93	855.86
DESV.	5.85	7.24	85.35	5.99	15.08	14.69		37.45	93.24	43.83	38.90

3) Tiempos:

Nº VIB	Tai	Taf	Tvi	Tvf	Ta/VIB	Tv/VIB	Ta-Tv	Tvi -Tai	Taf -Tvf	Tep	Descripción	
1	76	149	112	148	73	36	37	36	1	46	1-2	1
2	195	223	198	221	28	23	5	3	2	68	2-3	1-2
3	291	303	293	302	12	9	3	2	1	51	3-4	2-3
4	354	381	357	380	27	23	4	3	1	43	4-5	3-4
5	424	442	427	441	18	14	4	3	1	89	5-6 (1)	4-5
6	531	559	534	558	28	24	4	3	1	41	6-7	5-6
7	600	625	604	624	25	20	5	4	1	42	7-8	6
8	667	695	670	694	28	24	4	3	1	55	8-9	6
9	750	775	753	775	25	22	3	3	0	57	9-10	6-7
10	832	868	835	865	36	30	6	3	3	17	10-10	7
11	885	917	887	915	32	28	4	2	2	79	10-11	7-8
12	996	1006	999	1004	10	5	5	3	2	26	11-12	8
13	1032	1081	1035	1078	49	43	6	3	3	35	12-13	8-7
14	1116	1199	1178	1197	83	19	64	62	2	91	13-14	7-8
15	1290	1332	1308	1331	42	23	19	18	1	199	14-15 (2)	8
16	1531	1559	1535	1557	28	22	6	4	2	185	15-16 (1)	8-9
17	1744	1770	1748	1769	26	21	5	4	1	137	16-17 (3)	9
18	1907	1937	1911	1936	30	25	5	4	1	61	17-18	9-10
19	1998	2053	2001	2050	55	49	6	3	3	27	18-19	10
20	2080	2127	2083	2126	47	43	4	3	1	171	19-20 (4)	10-11
21	2298	2343	2302	2341	45	39	6	4	2	37	20-20	11
22	2380	2418	2384	2416	38	32	6	4	2	161	20-22 (5)	11-12
23	2579	2631	2582	2628	52	46	6	3	3	78	22-23	12
24	2709	2739	2712	2737	30	25	5	3	2	140	23-25 (5)	12-13
25	2879	2921	2882	2920	42	38	4	3	1	35	25-26	13
26	2956	2976	2959	2974	20	15	5	3	2	123	26-28 (6)	13-14
27	3099	3183	3134	3181	84	47	37	35	2	84	28-31	14-15
28	3267	3289	3270	3287	22	17	5	3	2	37	31-32	15
29	3326	3342	3328	3341	16	13	3	2	1	43	32-32	15
30	3385	3392	3387	3390	7	3	4	2	2	42	32-33	15-16
31	3434	3455	3436	3454	21	18	3	2	1	37	33-34	16
32	3492	3516	3495	3514	24	19	5	3	2	49	34-35	16-17
33	3565	3573	3568	3571	8	3	5	3	2	25	35-35	17
34	3598	3654	3607	3652	56	45	11	9	2	29	35-36	17
35	3683	3712	3685	3710	29	25	4	2	2	183	36-37 (1)	17-18
36	3895	3919	3898	3912	24	14	10	3	7	311	37-38 (7)	18-19
37	4230	4248	4234	4247	18	13	5	4	1	57	38-39	19-20
38	4305	4340	4308	4338	35	30	5	3	2	145	39-40 (1)	20-21
39	4485	4548	4514	4546	63	32	31	29	2	52	40-41	21
40	4600	4638	4603	4637	38	34	4	3	1	108	41-42 (6)	21-22
41	4746	4788	4749	4787	42	38	4	3	1	23	42-43	22
42	4811	4866	4842	4864	55	22	33	31	2	202	43-44 (8)	22-23
43	5068	5083	5070	5081	15	11	4	2	2	70	44-45	23-24
44	5153	5195	5156	5181	42	25	17	3	14	42	45-46	24
45	5237	5257	5240	5255	20	15	5	3	2	47	46-47	24-25
46	5304	5334	5307	5333	30	26	4	3	1	69	47-48	25-26
47	5403	5418	5406	5417	15	11	4	3	1	135	48-49 (9)	26-27
48	5553	5562	5555	5560	9	5	4	2	2	53	49-50	27-28
49	5615	5646	5625	5644	31	19	12	10	2	28	50-51	28-28
50	5674	5689	5677	5688	15	11	4	3	1	107	51-52 (1)	28-29
51	5796	5831	5801	5829	35	28	7	5	2	35	52-53	29
52	5866	5872	5870	5872	6	2	4	4	0			
MEDIA					32.48	23.54	8.94	7.00	1.94	80.53		
DESV.					18.17	12.14	11.44	11.33	1.98	60.99		

Notas:

- (1) Paso de una hilera a otra.
- (2) Parada (descanso tractorista).
- (3) Paso a un pie ya vibrado. Dirección al pie siguiente.
- (4) Paso a un pie de un árbol no contiguo (mayor distancia).
- (5) No pudo vibrarse el pie siguiente por ser demasiado grande.
- (6) Recorrido excesivo para llegar al pie 14.
- (7) Movimiento de mallas.
- (8) Parada técnica (sujetar almohadillas de la pinza).

4) Consumos:

Nº VIB	Cai	Caf	Cvi	Cvf	Ca/VIB	Cv/VIB	Ca-Cv	Cvi-Cai	Caf-Cvf	Cep
1	64	264	90	263	200	173	27	26	1	37
2	301	408	306	404	107	98	9	5	4	56
3	464	505	466	504	41	38	3	2	1	51
4	556	669	562	666	113	104	9	6	3	45
5	714	784	720	782	70	62	8	6	2	79
6	863	979	869	975	116	106	10	6	4	34
7	1013	1111	1022	1110	98	88	10	9	1	26
8	1137	1246	1142	1245	109	103	6	5	1	51
9	1297	1398	1303	1398	101	95	6	6	0	37
10	1435	1582	1441	1579	147	138	9	6	3	14
11	1596	1717	1599	1714	121	115	6	3	3	59
12	1776	1807	1781	1803	31	22	9	5	4	18
13	1825	2008	1830	2007	183	177	6	5	1	30
14	2038	2164	2072	2160	126	88	38	34	4	129
15	2293	2433	2304	2428	140	124	16	11	5	111
16	2544	2623	2549	2620	79	71	8	5	3	155
17	2778	2878	2787	2876	100	89	11	9	2	108
18	2986	3082	2994	3081	96	87	9	8	1	60
19	3142	3373	3148	3370	231	222	9	6	3	12
20	3385	3565	3391	3563	180	172	8	6	2	114
21	3679	3813	3686	3811	134	125	9	7	2	24
22	3837	3980	3842	3979	143	137	6	5	1	141
23	4121	4317	4126	4313	196	187	9	5	4	70
24	4387	4495	4391	4492	108	101	7	4	3	109
25	4604	4759	4608	4759	155	151	4	4	0	24
26	4783	4851	4788	4849	68	61	7	5	2	118
27	4969	5199	4990	5197	230	207	23	21	2	72
28	5271	5349	5275	5347	78	72	6	4	2	30
29	5379	5457	5382	5456	78	74	4	3	1	37
30	5494	5511	5496	5509	17	13	4	2	2	48
31	5559	5640	5561	5640	81	79	2	2	0	26
32	5666	5766	5672	5765	100	93	7	6	1	60
33	5826	5846	5832	5845	20	13	7	6	1	15
34	5861	6060	5871	6058	199	187	12	10	2	17
35	6077	6188	6081	6187	111	106	5	4	1	111
36	6299	6366	6302	6362	67	60	7	3	4	239
37	6605	6668	6611	6667	63	56	7	6	1	54
38	6722	6853	6726	6850	131	124	7	4	3	159
39	7012	7155	7030	7153	143	123	20	18	2	35
40	7190	7355	7196	7354	165	158	7	6	1	105
41	7460	7638	7465	7637	178	172	6	5	1	15
42	7653	7741	7669	7739	88	70	18	16	2	48
43	7789	7835	7791	7832	46	41	5	2	3	53
44	7888	8016	7892	8009	128	117	11	4	7	24
45	8040	8103	8046	8101	63	55	8	6	2	41
46	8144	8256	8149	8256	112	107	5	5	0	75
47	8331	8380	8335	8379	49	44	5	4	1	127
48	8507	8531	8510	8530	24	20	4	3	1	45
49	8576	8651	8582	8649	75	67	8	6	2	17
50	8668	8710	8672	8709	42	37	5	4	1	89
51	8799	8935	8807	8934	136	127	9	8	1	22
52	8957	8972	8964	8972	15	8	7	7	0	
MEDIA					108.31	99.31	9.00	7.00	2.00	64.24
DESV.					54.51	52.39	6.26	5.96	1.43	47.60

5) Cálculo de Potencias y rendimientos del circuito hidráulico:

Nº VIB	Ntdf	Nb	Nm	tdf-b	b-m	tdf-m
1	49.77	38.01	31.96	76.37	84.08	64.21
2	45.89	35.37	30.39	77.09	85.91	66.22
3	45.53	35.21	30.29	77.35	86.01	66.53
4	47.61	37.17	30.26	78.08	81.39	63.55
5	47.39	37.05	30.08	78.18	81.20	63.48
6	45.24	36.74	33.26	81.21	90.55	73.53
7	43.67	36.51	32.87	83.59	90.03	75.26
8	37.85	34.37	32.26	90.81	93.83	85.21
9	37.92	34.46	31.49	90.87	91.38	83.04
10	40.11	32.24	29.53	80.39	91.60	73.64
11	42.95	35.39	30.84	82.41	87.13	71.80
12	47.25	38.46	31.16	81.39	81.04	65.96
13	42.21	34.72	32.07	82.26	92.36	75.97
14	55.89	39.35	30.93	70.40	78.60	55.34
15	40.47	37.53	28.15	92.73	75.01	69.56
16	33.06	25.59	24.48	77.40	95.64	74.03
17	44.88	36.27	33.70	80.82	92.91	75.09
18	36.49	29.29	27.90	80.28	95.25	76.46
19	47.68	38.87	31.37	81.52	80.71	65.80
20	43.00	35.06	31.75	81.54	90.56	73.84
21	31.42	25.21	23.44	80.23	92.97	74.58
22	45.99	36.84	33.71	80.11	91.50	73.30
23	43.77	34.90	30.97	79.74	88.72	70.74
24	43.96	35.69	33.09	81.18	92.71	75.26
25	43.72	34.14	29.95	78.10	87.72	68.51
26	42.39	33.22	31.19	78.38	93.89	73.59
27	47.25	37.75	33.85	79.91	89.67	71.65
28	45.66	36.45	32.95	79.83	90.40	72.17
29	45.71	37.40	33.16	81.82	88.65	72.53
30	43.70	32.95	29.61	75.40	89.88	67.77
31	47.27	37.87	34.83	80.11	91.97	73.68
32	47.09	37.96	33.82	80.62	89.09	71.83
33	41.31	30.63	28.10	74.15	91.75	68.03
34	44.00	35.02	32.45	79.60	92.66	73.76
35	45.46	36.24	32.85	79.72	90.66	72.27
36	45.79	36.70	34.01	80.16	92.66	74.28
37	50.84	32.37	30.74	63.66	94.97	60.46
38	44.42	35.10	32.91	79.02	93.75	74.09
39	40.63	32.22	30.74	79.29	95.41	75.65
40	45.44	36.16	31.88	79.58	88.16	70.16
41	48.28	38.22	33.95	79.16	88.84	70.32
42	30.51	23.49	22.57	77.01	96.06	73.98
43	36.61	29.15	27.48	79.62	94.27	75.05
44	44.72	35.10	31.85	78.50	90.72	71.21
45	38.23	26.61	25.79	69.60	96.93	67.46
46	43.80	34.32	31.83	78.36	92.76	72.68
47	40.69	31.99	29.34	78.61	91.71	72.09
48	43.48	33.16	31.21	76.26	94.12	71.78
49	37.20	29.45	27.96	79.16	94.93	75.15
50	32.54	25.39	23.94	78.04	94.28	73.57
51	48.44	38.18	32.76	78.81	85.80	67.63
52	44.37	37.69	32.21	84.94	85.47	72.60
MEDIA	43.26	34.33	30.77	79.49	89.97	71.47
DESV.	4.97	3.87	2.83	4.55	4.83	5.01

6) Cálculo de datos significativos:

6.1. Tiempos.

6.1.1. Tiempo entre pies (Tep).

Paso pie-pie (17): 44.73 s

Paso árbol-árbol (30):

Media en operación normal (27): 90.26 s

Media global: 101.9 s

6.1.2. Tiempo por pie (Tep + Ta).

Medio: 113.01 s/pie

Real: 77.21 s/pie

6.1.3. Tiempo total ensayo.

Real: 5796 s

Ideal: 5027.29 s

6.2. Consumo.

6.2.1. Consumo total ensayo: 8.908 l

6.2.2. Consumo horario: 5.53 l/h

6.3. Rendimientos.

6.3.1. Vibraciones/tiempo: 32.3 vibraciones/h (111.46 s/vibración)

6.3.2. Pies vibrados/tiempo: 29.81 pies/h (120.75 s/pie)

6.3.3. Árboles vibrados/tiempo: 18.01 árboles/h (199.862 s/árbol)

6.3.4. Superficie/tiempo (capacidad de campo): 0.18 ha/h

Notas:

- Ensayo realizado con dos vibradores trabajando simultáneamente.
- El cálculo de "Paso pie-pie" se realiza exceptuando los Tep 14-15 y 16-17.
- El cálculo de "Media en operación normal" se realiza exceptuando los Tep 37-38. 43-44 y 51-52.

ENSAYO M19011

1) Cálculo de máximos.

Nº VIB	Qsb	Pap	RPMm	Qm	Psb	Pm	RPMmh	A1	A2	Mtdf	RPMtdf
1	145.8	191.2	2159	125.6	180.5	173.6	1750	522.02	523.8	524.4	984.05
2	133.6	190.2	1999	117.3	179.7	173.4	1550	141.4	126.1	515.2	911.12
3	125.3	183.2	1878	112.6	179.9	179.5	1480	120.2	98.2	503.5	855.97
4	124.8	190.8	1873	128.5	179.9	178.9	1700	150.5	134.5	519.9	853.69
5	123.6	187.4	1846	128.3	179.5	178.7	1690	132.9	135.9	526.1	841.39
6	122.4	185.8	1839	112	179.9	174.8	1460	134.1	135.4	528.5	838.20
7	125.4	187.4	1882	124.7	179.8	174.5	1630	182.7	157.9	527.4	857.79
8	127.1	190.5	1864	127	179.9	173.8	1660	185.5	159.4	524.2	849.59
9	132.9	192.8	1916	132.8	179.8	173.3	1760	146.5	169.7	515.3	873.29
10	124.3	183.2	1834	127	179.4	174.4	1670	179.4	172.2	503.9	835.92
11	123.8	187.2	1796	122.5	179.8	174	1600	143.2	136.6	507.6	818.60
12	127.4	196.9	1878	128.3	179.5	175	1670	217.1	312.1	508.4	855.97
13	121.1	186.6	1779	120.5	179.6	176.2	1560	158.9	162.9	506.2	810.85
14	123.4	189.2	1842	113.4	179.8	175.5	1460	119.4	96.2	510.5	839.56
15	124	183.7	1798	124.2	179.5	173.8	1610	150.4	132.9	498.6	819.51
16	118.5	189	1721	119.5	179.3	175.2	1550	143.8	108.7	503.3	784.41
17	119.6	196.8	1774	119.6	179.5	173.8	1550	152.7	126.4	505	808.57
18	131.8	184	2296	133.5	179.5	173.5	1770	178.2	406	506.3	1046.49
19	126.5	197.7	1822	126.1	179.2	172.5	1630	158.5	170.2	512.2	830.45
20	128.7	197.7	2633	133.6	179.4	175.5	1800	487	824	511.8	1200.09
21	127.8	196.3	1886	128	179.5	175.9	1660	182.7	145.2	503.3	859.62
22	131.3	187.5	1932	132	179.4	179.5	1700	157.9	156.2	500.6	880.58
23	130	197.1	1850	127.3	179.4	175	1640	192.4	183	511.8	843.21
24	128.4	191.7	1876	127	179.4	176.6	1630	208.2	199.1	503.5	855.06
25	124.6	196	1824	125.3	179.4	176	1610	159.3	143	513.8	831.36
26	123.3	194.4	1835	115.8	179.5	175.1	1470	151.6	116	504.7	836.37
27	123.4	195	1797	120.9	179.8	175	1550	219.9	180.3	516.8	819.05
28	126.1	196	1865	125.1	179.2	175.8	1770	199.1	760	500.6	850.05
29	123	192.8	1814	116.3	179.4	176	1480	197.2	190.2	504.9	826.80
30	124.8	187.5	1864	126.8	179.4	176.6	1620	200.9	176.8	499.7	849.59
31	118.5	180.7	1777	121.1	179	176	1560	169.9	359.7	488.2	809.94
32	113.6	184.6	1653	113.6	179.2	176	1440	135.5	105.8	492.3	753.42
33	120.5	189.5	1719	117.4	178.7	175.8	1500	163.3	135.4	471.8	783.50
34	124.8	192.7	1787	121.3	179.1	176.3	1550	150.7	711.4	506.1	814.49
35	122.5	198.3	1828	123.6	179.3	176.8	1570	174.7	165	501.5	833.18
36	127.8	193.9	1929	126.2	179.5	180.2	1600	189.2	806	498.8	2072.93
37	121.6	188.5	1788	122.2	179.1	175.5	1550	181.1	145.8	495.7	814.95
38	129.4	198.4	1908	129.5	179.5	176.3	1640	218.5	187.1	496.1	869.64
39	129.6	178.8	1939	125.1	179.6	177.3	1610	424.61	865	493.4	2251.14
40	124.2	187.5	1839	115	179.4	177	1440	180	138.1	499.1	838.20
MEDIA	125.63	190.46	1878.48	123.41	179.51	175.72	1603.50	191.53	253.96	506.53	920.21
DESV.	5.26	5.25	163.35	5.88	0.31	1.81	96.38	87.35	223.57	11.38	298.60

2) Cálculo de medias.

Nº VIB	Qsb	Pap	RPMm	Qm	Psb	Pm	RPMmh	A1	A2	Mtdf	RPMtdf
1	144.41	162.12	2109.08	117.70	164.97	160.37	1533.08	148.90	196.65	488.82	961.29
2	131.11	172.43	1962.67	112.57	179.58	171.17	1490.00	106.59	103.68	512.58	894.56
3	121.25	172.16	1826.47	106.91	179.25	170.74	1406.67	79.44	73.40	501.81	832.48
4	124.29	173.87	1867.65	127.64	168.81	162.71	1681.18	119.89	123.05	490.74	851.25
5	122.87	167.27	1839.25	126.31	150.95	144.13	1661.67	105.93	104.83	444.02	838.31
6	121.43	169.28	1826.75	109.70	179.21	169.28	1435.00	103.89	100.30	517.01	832.61
7	124.66	170.10	1871.38	122.63	178.89	168.29	1601.25	125.33	134.91	515.13	852.95
8	125.97	173.46	1850.65	123.22	164.49	154.73	1612.00	116.95	126.53	474.75	843.51
9	131.15	171.48	1906.43	128.94	131.80	123.11	1727.86	109.30	131.44	387.62	868.93
10	124.17	157.63	1804.42	121.81	109.78	101.65	1636.15	123.53	144.92	323.69	822.44
11	121.54	175.24	1782.36	119.62	141.16	133.31	1584.29	111.58	109.44	407.39	812.38
12	124.55	148.43	1842.75	120.95	137.75	129.88	1577.50	165.70	186.55	420.75	839.90
13	120.30	180.15	1770.75	118.58	176.85	168.15	1532.50	139.83	127.33	499.53	807.09
14	122.33	184.30	1829.67	109.53	179.67	171.77	1410.00	105.97	83.90	510.07	833.94
15	122.11	178.86	1792.14	120.96	164.80	156.40	1584.29	111.17	113.04	459.10	816.84
16	116.08	179.18	1703.80	114.36	159.52	152.30	1502.00	106.48	90.32	444.36	776.57
17	118.65	183.83	1764.70	115.74	178.21	170.59	1495.00	105.93	104.54	498.51	804.33
18	126.11	157.03	1936.00	123.96	123.69	119.09	1478.57	130.29	289.94	452.54	882.41
19	124.91	181.70	1803.42	122.39	159.14	151.66	1577.11	122.45	129.94	444.21	821.98
20	126.74	174.72	1694.25	123.55	146.39	143.55	1540.00	138.17	244.51	411.83	772.22
21	126.03	183.06	1865.81	125.58	160.92	154.45	1618.75	119.15	120.79	458.54	850.42
22	129.35	181.73	1908.38	128.54	161.95	154.18	1465.00	125.03	115.03	462.85	869.82
23	126.44	177.56	1842.00	124.43	150.29	142.79	1597.14	142.73	153.17	432.40	839.56
24	126.75	179.10	1852.50	124.69	156.30	148.88	1596.25	144.84	151.50	443.59	844.35
25	123.86	179.50	1812.13	122.26	147.84	141.43	1563.75	115.60	114.59	417.33	825.95
26	119.61	182.23	1795.42	111.97	176.73	170.39	1422.63	100.61	92.29	500.70	818.33
27	121.93	177.92	1784.11	120.13	144.36	137.66	1538.89	138.43	133.58	410.02	813.18
28	124.16	183.08	1841.17	123.42	157.12	149.93	1581.11	125.17	176.63	440.93	839.18
29	117.89	181.19	1761.52	110.31	176.38	171.53	1391.61	131.37	114.51	494.94	802.88
30	122.82	178.02	1840.40	119.24	165.46	158.14	1516.00	130.84	148.04	460.02	838.83
31	105.08	151.45	1575.18	103.98	96.74	92.32	1341.82	101.34	141.27	274.74	717.95
32	112.06	178.24	1646.00	110.66	147.86	142.62	1406.00	102.62	84.36	425.06	750.23
33	117.06	171.82	1705.00	116.30	135.36	129.92	1480.00	124.78	114.42	368.48	777.12
34	118.36	168.16	1730.43	116.64	128.01	122.83	1492.86	99.84	95.66	351.66	788.71
35	121.27	183.90	1820.60	120.43	156.28	150.55	1529.00	128.21	117.09	439.24	829.81
36	127.32	179.59	1891.71	124.70	174.78	168.57	1582.86	133.62	116.19	486.44	862.22
37	120.58	180.09	1776.75	118.08	162.14	156.59	1493.75	115.25	116.11	451.75	809.82
38	127.81	181.34	1895.29	123.99	170.88	165.91	1570.59	172.63	156.25	469.32	863.85
39	127.36	149.94	1907.39	99.44	132.64	134.74	1454.00	223.86	316.64	391.82	1136.55
40	121.49	181.42	1804.30	112.56	178.95	175.56	1412.00	119.65	115.64	497.49	822.38
MEDIA	123.30	174.06	1821.02	118.61	156.40	149.80	1528.00	124.32	135.32	447.04	836.68
DESV.	5.99	9.69	90.43	6.92	20.38	19.77	86.74	24.42	51.05	54.18	63.43

3) Tiempos.

Nº VIB	Tai	Taf	Tvi	Tvf	Ta/VIB	Tv/VIB	Ta-Tv	Tvi -Tai	Taf -Tvf	Tep	Descripción	
1	95	115	100	114	20	14	6	5	1	28	1-2	1-2
2	143	165	147	164	22	17	5	4	1	24	2-3	2
3	189	211	192	210	22	18	4	3	1	62	3-4	2
4	273	298	276	297	25	21	4	3	1	38	4-5	2
5	336	355	340	354	19	14	5	4	1	81	5-6	2-1
6	436	452	440	450	16	10	6	4	2	52	6-7	1-3
7	504	519	507	518	15	11	4	3	1	53	7-9	3
8	572	611	575	599	39	24	15	3	12	238	9-10 (1)	3-4
9	849	869	853	868	20	15	5	4	1	42	10-11	4
10	911	944	913	942	33	29	4	2	2	35	11-12	4-5
11	979	1001	982	998	22	16	6	3	3	35	12-13	5
12	1036	1046	1040	1045	10	5	5	4	1	15	13-13	5
13	1061	1072	1064	1070	11	6	5	3	2	91	13-14 (2)	5-6
14	1163	1173	1166	1171	10	5	5	3	2	66	14-15	6
15	1239	1251	1242	1250	12	8	4	3	1	66	15-16	6-5
16	1317	1327	1320	1326	10	6	4	3	1	70	16-17	5-4
17	1397	1413	1400	1412	16	12	4	3	1	45	17-17b	4
18	1458	1472	1461	1470	14	9	5	3	2	100	17b-18 (3)	4-7
19	1572	1619	1576	1617	47	41	6	4	2	28	18-19	7
20	1647	1671	1652	1669	24	17	7	5	2	40	19-20	7-8
21	1711	1736	1716	1734	25	18	7	5	2	26	20-21	8
22	1762	1777	1765	1775	15	10	5	3	2	72	21-22	8-9
23	1849	1864	1853	1862	15	9	6	4	2	24	22-23	9
24	1888	1902	1891	1900	14	9	5	3	2	59	23-24	9-8
25	1961	1976	1965	1975	15	10	5	4	1	46	24-25	8
26	2022	2049	2025	2047	27	22	5	3	2	61	25-26	8-10
27	2110	2125	2113	2123	15	10	5	3	2	54	26-27	10
28	2179	2206	2182	2204	27	22	5	3	2	82	27-27 (4)	10
29	2288	2329	2292	2327	41	35	6	4	2	69	27-29	10-11
30	2398	2407	2399	2406	9	7	2	1	1	40	29-30	11
31	2447	2465	2452	2464	18	12	6	5	1	127	30-31 (5)	11-12
32	2592	2602	2594	2601	10	7	3	2	1	39	31-32	12
33	2641	2654	2644	2651	13	7	6	3	3	69	32-33	12-11
34	2723	2738	2727	2736	15	9	6	4	2	52	33-34	11-12
35	2790	2808	2793	2805	18	12	6	3	3	51	34-35	12-10
36	2859	2880	2863	2879	21	16	5	4	1	27	35-36	10
37	2907	2921	2910	2919	14	9	5	3	2	40	36-37	10-13
38	2961	2985	2964	2983	24	19	5	3	2	89	37-38	13-14
39	3074	3083	3076	3081	9	5	4	2	2	114	38-39 (6)	14
40	3197	3215	3201	3213	18	12	6	4	2			
MEDIA					19.25	13.95	5.30	3.38	1.93	60.26		
DESV.					8.78	8.04	1.87	0.87	1.75	38.80		

Notas:

- (1) Parada técnica (apretar tuerca en pinza).
- (2) Recorrido excesivo para llegar al pie 14.
- (3) Paso de una hilera a otra.
- (4) Segunda vibración accediendo al pie por otra dirección.
- (5) Movimiento de mallas.
- (6) Varias vibraciones sobre el pie 38 porque se escapaba la pinza.

4) Consumos.

Nº VIB	Cai	Caf	Cvi	Cvf	Ca/VIB	Cv/VIB	Ca-Cv	Cvi-Cai	Caf-Cvf	Cep
1	88	240	109	239	152	130	22	21	1	37
2	277	369	286	366	92	80	12	9	3	22
3	391	474	396	472	83	76	7	5	2	84
4	558	651	562	650	93	88	5	4	1	30
5	681	746	688	744	65	56	9	7	2	71
6	817	867	824	866	50	42	8	7	1	44
7	911	966	916	965	55	49	6	5	1	61
8	1027	1137	1034	1130	110	96	14	7	7	177
9	1314	1383	1322	1380	69	58	11	8	3	38
10	1421	1523	1425	1520	102	95	7	4	3	34
11	1557	1619	1561	1617	62	56	6	4	2	32
12	1651	1677	1657	1677	26	20	6	6	0	12
13	1689	1720	1694	1718	31	24	7	5	2	98
14	1818	1843	1823	1842	25	19	6	5	1	79
15	1922	1959	1928	1959	37	31	6	6	0	77
16	2036	2064	2041	2062	28	21	7	5	2	73
17	2137	2198	2142	2197	61	55	6	5	1	54
18	2252	2315	2259	2308	63	49	14	7	7	114
19	2429	2607	2441	2603	178	162	16	12	4	24
20	2631	2763	2650	2760	132	110	22	19	3	53
21	2816	2919	2826	2916	103	90	13	10	3	30
22	2949	2995	2954	2994	46	40	6	5	1	83
23	3078	3121	3086	3120	43	34	9	8	1	20
24	3141	3185	3147	3182	44	35	9	6	3	48
25	3233	3277	3239	3277	44	38	6	6	0	35
26	3312	3407	3318	3406	95	88	7	6	1	55
27	3462	3507	3468	3504	45	36	9	6	3	53
28	3560	3668	3565	3665	108	100	8	5	3	88
29	3756	3899	3763	3898	143	135	8	7	1	54
30	3953	3980	3955	3979	27	24	3	2	1	48
31	4028	4075	4038	4074	47	36	11	10	1	102
32	4177	4203	4179	4202	26	23	3	2	1	30
33	4233	4262	4238	4261	29	23	6	5	1	80
34	4342	4378	4349	4377	36	28	8	7	1	53
35	4431	4483	4435	4480	52	45	7	4	3	53
36	4536	4619	4544	4615	83	71	12	8	4	26
37	4645	4691	4655	4688	46	33	13	10	3	38
38	4729	4815	4734	4813	86	79	7	5	2	95
39	4910	4940	4912	4936	30	24	6	2	4	112
40	5052	5109	5059	5107	57	48	9	7	2	
MEDIA					67.60	58.68	8.93	6.80	2.13	59.41
DESV.					38.23	35.60	4.25	3.77	1.59	33.20

5) Cálculo de Potencias y rendimientos del circuito hidráulico.

Nº VIB	Ntdf	Nb	Nm	tdf-b	b-m	tdf-m
1	49.21	38.95	30.86	79.16	83.56	62.72
2	48.02	38.50	31.50	80.17	85.44	65.61
3	43.75	35.54	29.85	81.23	86.99	68.22
4	43.75	34.30	33.95	78.42	99.2	77.62
5	38.98	30.32	29.76	77.8	98.56	76.36
6	45.08	35.58	30.36	78.93	88.42	67.35
7	46.01	36.46	33.74	79.24	94.09	73.33
8	41.94	33.88	31.17	80.78	93.55	74.33
9	35.27	28.26	25.95	80.13	93.46	73.58
10	27.88	22.29	20.25	79.94	92.68	72.62
11	34.66	28.05	26.07	80.94	94.29	75.23
12	37.01	28.05	25.68	75.8	93.6	69.4
13	42.22	34.78	32.60	82.39	94.82	77.21
14	44.54	35.94	30.76	80.68	88.38	69.06
15	39.27	32.90	30.93	83.79	94.98	78.76
16	36.14	30.28	28.48	83.78	95.02	78.8
17	41.99	34.57	32.28	82.33	94.55	76.88
18	41.82	25.50	24.14	60.99	96.73	57.72
19	38.24	32.50	30.35	85	94.37	79.37
20	33.30	30.34	29.00	91.09	95.98	87.07
21	40.84	33.16	31.71	81.2	96.46	77.65
22	42.16	34.25	32.40	81.24	95.61	76.85
23	38.02	31.07	29.05	81.73	94.68	76.41
24	39.22	32.39	30.35	82.58	94.8	77.38
25	36.10	29.94	28.27	82.94	95.38	78.32
26	42.91	34.56	31.20	80.55	92.16	72.7
27	34.92	28.78	27.04	82.42	95.02	77.44
28	38.75	31.89	30.25	82.31	95.77	78.08
29	41.61	34.00	30.94	81.7	92.64	74.34
30	40.41	33.23	30.83	82.22	94.07	76.3
31	20.66	16.62	15.69	80.46	95.52	75.98
32	33.39	27.09	25.80	81.12	96.15	77.27
33	29.99	25.91	24.70	86.39	95.99	82.38
34	29.04	24.77	23.42	85.29	95.36	80.65
35	38.17	30.99	29.64	81.18	96.48	77.66
36	43.92	36.38	34.37	82.84	95.41	78.25
37	38.31	31.96	30.23	83.43	95.47	78.91
38	42.46	35.71	33.63	84.11	95.11	79.22
39	46.63	27.62	21.91	59.23	87.75	46.98
40	42.84	35.55	32.31	82.97	92.45	75.41
MEDIA	39.23	31.57	29.04	80.71	93.77	74.49
DESV.	5.78	4.55	3.97	94.57	96.63	93.02

6) Cálculo de datos significativos:

6.1. Tiempos.

6.1.1. Tiempo entre pies (Tep).

Paso pie-pie (17): 43.01 s

Paso árbol-árbol (20):

Media en operación normal (18): 62.5 s

Media global: 74.5 s

6.1.2. Tiempo por pie (Tep + Ta).

Medio: 79.51 s/pie

Real: 62.35 s/pie

6.1.3. Tiempo total ensayo.

Real: 3120 s

Ideal: 2714.15 s

6.2. Consumo.

6.2.1. Consumo total ensayo: 5.021 l

6.2.2. Consumo horario: 5.8 l/h

6.3. Rendimientos.

6.3.1. Vibraciones/tiempo: 46.15 vibraciones/h (78 s/vibración)

6.3.2. Pies vibrados/tiempo: 43.85 pies/h (82.11 s/pie)

6.3.3. Árboles vibrados/tiempo: 16.15 árboles/h (222.86 s/árbol)

6.3.4. Superficie/tiempo (capacidad de campo): 0.102 ha/h

Notas:

- El cálculo de "Paso pie-pie" se realiza exceptuando el Tep 38-39.
- El cálculo de "Media en operación normal" se realiza exceptuando los Tep 9-10 y 30-31.

ENSAYO M19012

1) Cálculo de máximos:

Nº VIB	Qsb	Pap	RPMm	Qm	Psb	Pm	RPMmh	A1	A2	Mtdf	RPMtdf
1	124	195	1862	123	179.3	175.9	1550	189.1	133.9	503.6	848.68
2	129.8	188.1	1950	129.7	179.8	179.6	1650	183.8	125.9	504.9	888.79
3	126.7	197.1	1833	123.8	179.5	177.8	1560	171.6	145.4	511.7	835.46
4	114	181.9	1725	115.6	179.3	178.3	1460	136.2	97.8	496.6	786.24
5	129.3	189.4	1930	127.1	179.6	176.8	1600	181.8	107.9	505.1	879.67
6	123.7	189.1	1849	121.8	179.5	176.6	1530	175.3	122.1	495.9	842.75
7	119.7	180.9	1762	119.4	179.4	177.1	1500	128.1	175.6	486.1	803.10
8	128.1	182.7	1919	128.7	179.6	177.6	1630	215.9	186.2	502.3	874.66
9	130.1	184.7	1938	128.1	179.7	179.3	1610	165.4	221.7	501.7	883.32
10	121.9	188.4	1827	121.3	179.4	177.1	1520	143.9	156.2	516.8	832.73
11	135	192	2009	131.8	179.8	177.7	1660	256.5	193.5	515.6	915.68
12	121.1	186	1785	119.7	179.2	177.6	1510	184.4	126.4	492.3	813.58
13	121.2	178.9	1777	119.8	179.1	176.6	1510	169.8	117.7	489.5	809.94
14	123.6	190.3	1843	121.4	179.2	177.1	1530	166.6	98.7	502.2	840.02
15	116.9	186.1	1749	117.2	179.3	177	1470	177.1	185	495	797.17
16	125.5	182.9	1853	114.4	179.3	177	1440	158.3	165.2	492	844.58
17	128.8	188.2	1917	127.9	179.2	177.1	1610	228	189.4	500.3	873.75
18	128	186.9	1878	125.9	179.3	177.6	1610	155.3	569.9	490.4	855.97
19	119.6	189.5	1764	117.7	179.1	176.6	1470	257.2	197.1	500.3	804.01
20	121	193.5	1824	123.4	178.7	181.4	1540	237.9	193.6	495.4	831.36
21	111.7	185.9	1685	114.9	178	175.4	1430	192.3	178.5	488.7	768.00
22	123.8	189.3	1864	115.5	179.2	180	1440	175	116.2	513.1	849.59
23	133.8	196.6	1849	141	179.9	176.7	1590	1802	504.8	520.7	842.75
24	121	182.4	1807	120.6	178.7	176.6	1520	172.5	149.6	494.3	823.61
25	125	191.6	1873	125.1	179.6	177.1	1560	241.7	178.7	493.8	853.69
26	122.3	196.6	1847	118.5	179.2	180	1480	167.2	145.9	500	841.84
27	127	186.2	1906	130.3	179.4	179.7	1650	199.5	377.5	498.8	868.73
28	127.6	198.1	1937	124	179.1	176.7	1550	175.4	103.7	501.2	882.86
29	125.8	192.7	1890	127.8	178.7	186.8	1660	239.9	517.2	518.9	861.44
30	124.3	187.7	1860	123.1	179.2	178.7	1540	173.3	166.2	495.7	847.77
31	121.8	186.5	1802	121.9	179.4	181.4	1520	222.9	197.6	493.8	821.33
32	123.9	191.7	1901	125.9	179.2	180.7	1570	171.8	104.9	507.1	866.45
MEDIA	124.25	188.65	1850.47	123.32	179.28	178.18	1545.94	237.99	195.31	500.74	843.42
DESV.	5.05	4.96	71.57	5.74	0.37	2.22	67.05	287.36	121.70	9.12	32.62

2) Cálculo de medias:

Nº VIB	Qsb	Pap	RPMm	Qm	Psb	Pm	RPMmh	A1	A2	Mtdf	RPMtdf
1	121.50	182.20	1836.50	119.51	168.85	163.66	1505.00	118.20	83.36	477.83	837.06
2	129.20	182.44	1942.00	128.88	151.60	148.21	1635.00	129.63	95.03	435.14	885.14
3	121.17	177.15	1822.27	119.24	160.40	156.16	1499.09	127.78	84.65	453.54	830.57
4	110.55	161.83	1669.50	111.48	121.60	117.25	1412.50	103.85	88.43	348.90	760.94
5	128.40	180.28	1922.20	124.02	173.82	168.20	1562.00	122.54	88.78	495.60	876.12
6	122.94	174.33	1841.38	114.66	177.99	172.30	1436.25	139.93	63.83	493.14	839.28
7	119.07	175.60	1752.33	117.33	150.70	145.23	1476.67	115.97	125.44	430.30	798.69
8	126.53	174.96	1907.25	124.08	153.98	148.40	1568.75	159.30	146.32	437.60	869.30
9	127.92	178.63	1908.78	122.79	174.18	169.00	1546.67	142.50	129.58	488.94	870.00
10	121.22	176.52	1818.67	113.08	178.27	172.77	1411.67	108.17	115.22	497.00	828.93
11	132.76	182.15	1985.48	125.97	178.20	172.92	1582.61	162.00	162.21	503.60	904.96
12	120.29	177.39	1779.71	118.19	146.71	142.20	1488.57	130.27	114.16	409.17	811.17
13	119.77	175.40	1771.33	117.82	141.45	137.08	1483.33	115.52	106.23	389.82	807.35
14	122.53	178.32	1824.67	120.00	146.08	141.65	1510.00	114.48	91.37	408.38	831.66
15	113.53	176.43	1707.25	110.33	168.98	163.90	1380.00	110.65	92.40	449.33	778.14
16	125.50	149.70	1853.00	114.40	159.20	152.50	1440.00	158.30	126.70	487.80	844.58
17	126.34	180.49	1901.57	125.70	155.13	148.44	1585.71	173.77	145.40	440.67	866.71
18	126.90	165.40	1865.00	124.88	120.38	115.45	1586.00	115.07	142.14	337.96	850.05
19	117.98	177.08	1748.50	115.26	156.15	152.24	1438.75	155.25	147.06	436.11	796.95
20	119.20	177.41	1804.08	117.77	160.72	156.19	1470.00	133.21	128.71	447.40	822.28
21	110.31	170.27	1674.93	109.57	137.03	135.61	1366.67	146.97	123.84	377.74	763.42
22	122.47	181.00	1854.57	114.39	178.57	173.89	1428.57	114.10	103.03	498.61	845.29
23	122.38	176.64	1822.14	120.10	155.26	153.15	1563.57	259.82	105.12	449.14	830.51
24	120.35	163.87	1801.18	119.06	126.04	122.38	1499.09	136.46	101.99	356.76	820.96
25	121.85	179.28	1835.85	119.63	169.01	164.86	1493.85	150.78	85.58	470.08	836.76
26	111.15	186.46	1839.13	109.10	177.91	176.94	1377.50	126.88	122.79	493.90	838.25
27	122.69	162.77	1846.73	112.92	118.41	114.12	1550.00	147.65	165.42	330.37	841.72
28	125.41	183.53	1906.67	117.78	175.31	170.38	1467.78	116.50	86.36	492.12	869.04
29	123.95	176.62	1758.19	122.42	161.33	157.49	1541.25	138.60	137.48	535.21	801.36
30	122.98	179.75	1850.91	121.22	152.29	147.93	1512.73	145.15	104.70	425.31	843.62
31	120.72	176.11	1794.67	118.09	145.90	144.40	1470.00	149.35	128.89	407.77	817.99
32	122.81	179.44	1885.43	121.26	165.30	160.44	1508.57	133.51	63.80	460.69	859.36
MEDIA	121.89	175.61	1829.12	118.47	156.46	152.04	1493.69	137.57	112.69	442.69	833.69
DESV.	5.21	7.54	73.29	5.02	17.81	17.56	67.41	28.59	26.67	52.78	33.40

3) Tiempos:

Nº VIB	Tai	Taf	Tvi	Tvf	Ta/VIB	Tv/VIB	Ta-Tv	Tvi -Tai	Taf -Tvf	Tep	Descripción	
1	50	73	54	71	23	17	6	4	2	42	1-2	1
2	115	132	119	130	17	11	6	4	2	118	2-3 (1)	1-2
3	250	279	253	277	29	24	5	3	2	55	3-4	2-3
4	334	344	337	343	10	6	4	3	1	35	4-5	3
5	379	391	382	389	12	7	5	3	2	62	5-6 (2)	3
6	453	468	457	467	15	10	5	4	1	36	6-7	3
7	504	514	507	512	10	5	5	3	2	124	7-8 (3)	3-2
8	638	653	641	651	15	10	5	3	2	76	8-9	2-4
9	729	745	732	743	16	11	5	3	2	31	9-10	4
10	776	793	780	788	17	8	9	4	5	81	10-11 (3)	4
11	874	906	878	905	32	27	5	4	1	176	11-12 (4)	4-5
12	1082	1097	1086	1095	15	9	6	4	2	13	12-12	5
13	1110	1122	1112	1121	12	9	3	2	1	30	12-13	5
14	1152	1165	1156	1163	13	7	6	4	2	59	13-14	5
15	1224	1233	1228	1232	9	4	5	4	1	35	14-15	5
16	1268	1274	1271	1273	6	2	4	3	1	112	15-15 (5)	5
17	1386	1399	1389	1398	13	9	4	3	1	57	15-16	5-6
18	1456	1473	1459	1471	17	12	5	3	2	40	16-17	6
19	1513	1527	1517	1526	14	9	5	4	1	53	17-18	6-7
20	1580	1598	1583	1597	18	14	4	3	1	80	18-19 (2)	7
21	1678	1703	1683	1701	25	18	7	5	2	90	19-20 (3)	7
22	1793	1806	1796	1805	13	9	4	3	1	72	20-21	7-6
23	1878	1899	1881	1897	21	16	5	3	2	27	21-22	6
24	1926	1943	1929	1942	17	13	4	3	1	121	22-23 (1)	6-8
25	2064	2085	2067	2083	21	16	5	3	2	30	23-24	8
26	2115	2128	2118	2127	13	9	4	3	1	102	24-25 (3)	8-9
27	2230	2247	2233	2245	17	12	5	3	2	82	25-26	9-10
28	2329	2344	2333	2342	15	9	6	4	2	123	26-27 (6)	10-11
29	2467	2490	2471	2488	23	17	6	4	2	44	27-28	11
30	2534	2553	2537	2551	19	14	5	3	2	69	28-29 (2)	11
31	2622	2643	2625	2642	21	17	4	3	1	22	29-30	11
32	2665	2680	2669	2678	15	9	6	4	2			
MEDIA					16.66	11.56	5.09	3.41	1.69	67.65		
DESV.					5.63	5.42	1.12	0.61	0.78	38.40		

Notas:

- (1) Paso a un pie de un árbol no contiguo (mayor distancia).
- (2) Maniobra para acceder al pie.
- (3) Recorrido excesivo para llegar al pie.
- (5) Parada (descanso tractorista).
- (6) Segunda vibración accediendo al pie por otra dirección.
- (11) Parada técnica (quitar ramas que impiden la visibilidad).

4) Consumos:

Nº VIB	Cai	Caf	Cvi	Cvf	Ca/VIB	Cv/VIB	Ca-Cv	Cvi-Cai	Caf-Cvf	Cep
1	39	113	45	113	74	68	6	6	0	31
2	144	198	152	197	54	45	9	8	1	86
3	284	384	289	382	100	93	7	5	2	45
4	429	450	433	450	21	17	4	4	0	30
5	480	516	485	515	36	30	6	5	1	65
6	581	628	586	626	47	40	7	5	2	32
7	660	681	664	680	21	16	5	4	1	154
8	835	878	839	878	43	39	4	4	0	69
9	947	999	950	997	52	47	5	3	2	30
10	1029	1070	1036	1067	41	31	10	7	3	101
11	1171	1302	1178	1300	131	122	9	7	2	118
12	1420	1459	1424	1457	39	33	6	4	2	9
13	1468	1501	1470	1501	33	31	2	2	0	23
14	1524	1556	1529	1555	32	26	6	5	1	73
15	1629	1651	1635	1649	22	14	8	6	2	31
16	1682	1696	1686	1694	14	8	6	4	2	132
17	1828	1870	1832	1869	42	37	5	4	1	56
18	1926	1974	1931	1972	48	41	7	5	2	32
19	2006	2045	2012	2044	39	32	7	6	1	53
20	2098	2156	2102	2154	58	52	6	4	2	59
21	2215	2275	2219	2273	60	54	6	4	2	90
22	2365	2408	2369	2407	43	38	5	4	1	66
23	2474	2555	2480	2554	81	74	7	6	1	20
24	2575	2622	2580	2622	47	42	5	5	0	112
25	2734	2806	2743	2805	72	62	10	9	1	22
26	2828	2871	2834	2870	43	36	7	6	1	112
27	2983	3045	2989	3044	62	55	7	6	1	58
28	3103	3152	3111	3150	49	39	10	8	2	83
29	3235	3316	3242	3314	81	72	9	7	2	35
30	3351	3411	3355	3408	60	53	7	4	3	73
31	3484	3549	3488	3548	65	60	5	4	1	17
32	3566	3611	3573	3609	45	36	9	7	2	
MEDIA					51.72	45.09	6.63	5.25	1.38	61.84
DESV.					23.93	23.27	1.91	1.59	0.83	37.32

5) Cálculo de Potencias y rendimientos del circuito hidráulico:

Nº VIB	Ntdf	Nb	Nm	tdf-b	b-m	tdf-m
1	41.88	33.54	31.98	80.08	95.34	76.35
2	40.33	32.02	31.23	79.40	97.52	77.43
3	39.45	31.78	30.44	80.56	95.80	77.18
4	27.80	21.98	21.37	79.06	97.23	76.87
5	45.47	36.49	34.11	80.25	93.47	75.01
6	43.34	35.78	32.30	82.54	90.29	74.53
7	35.99	29.34	27.86	81.52	94.97	77.42
8	39.84	31.85	30.10	79.96	94.51	75.57
9	44.55	36.43	33.93	81.78	93.13	76.17
10	43.14	35.33	31.94	81.89	90.41	74.04
11	47.72	38.68	35.62	81.05	92.08	74.63
12	34.76	28.85	27.48	83.02	95.23	79.06
13	32.96	27.70	26.41	84.04	95.33	80.12
14	35.57	29.27	27.79	82.29	94.96	78.14
15	36.61	31.36	29.56	85.66	94.26	80.75
16	43.14	32.67	28.52	75.72	87.32	66.12
17	40.00	32.04	30.51	80.12	95.20	76.28
18	30.08	24.98	23.57	83.02	94.38	78.36
19	36.40	30.12	28.69	82.75	95.25	78.83
20	38.53	31.32	30.07	81.30	96.02	78.06
21	30.20	24.71	24.29	81.84	98.30	80.44
22	44.14	35.76	32.52	81.01	90.95	73.68
23	39.06	31.07	30.07	79.53	96.80	76.99
24	30.67	24.80	23.82	80.86	96.07	77.68
25	41.19	33.67	32.25	81.75	95.77	78.29
26	43.36	32.33	31.56	74.57	97.62	72.80
27	29.12	23.75	21.07	81.57	88.70	72.35
28	44.79	35.95	32.81	80.26	91.27	73.26
29	44.91	32.69	31.52	72.79	96.42	70.19
30	37.57	30.62	29.32	81.50	95.74	78.03
31	34.93	28.80	27.88	82.44	96.82	79.82
32	41.46	33.19	31.81	80.06	95.83	76.73
MEDIA	38.72	31.21	29.45	80.76	94.47	76.29
DESV.	5.36	4.06	3.59	2.54	2.67	3.11

6) Cálculo de datos significativos:

6.1. Tiempos.

6.1.1. Tiempo entre pies (Tep).

Paso pie-pie (17): 47.82 s

Paso árbol-árbol (12):

Media en operación normal (11): 87.27 s

Media global: 96.58 s

6.1.2. Tiempo por pie (Tep + Ta).

Medio: 84.3 s/pie

Real: 64.48 s/pie

6.1.3. Tiempo total ensayo.

Real: 2630 s

Ideal: 2359.95 s

6.2. Consumo.

6.2.1. Consumo total ensayo: 3.572 l

6.2.2. Consumo horario: 4.9 l/h

6.3. Rendimientos.

6.3.1. Vibraciones/tiempo: 43.8 vibraciones/h (82.19 s/vibración)

6.3.2. Pies vibrados/tiempo: 41.06 pies/h (87.67 s/pie)

6.3.3. Árboles vibrados/tiempo: 15.06 árboles/h (239.1 s/árbol)

6.3.4. Superficie/tiempo (capacidad de campo): 0.095 ha/h

Notas:

- Ensayo realizado con dos vibradores trabajando simultáneamente.
- El cálculo de "Media en operación normal" se realiza exceptuando el Tep 49-50 y considerando 100 s para el Tep 65-66.

ENSAYO M18012.

1) Cálculo de máximos:

Nº VIB	Qsb	Pap	RPMm	Qm	Psb	Pm	RPMmh	A1	A2	Mtdf	RPMtdf
1	119.9	182.9	1716	117.8	179.2	177.2			184	512.1	782.13
2	119.7	177.6	1736	121	178.8	177.2			132.1	502.3	791.25
3	120.1	178.1	1703	118.5	178.6	181.8			121.6	505	776.21
4	110.9	187	1648	112.3	178.7	177.4			119.1	498.8	751.14
5	115.8	177.7	1704	118.7	179	178			111.3	502.1	776.66
6	118.9	185.4	1760	120.3	178.6	177.3			130.2	503.9	802.19
7	116	183.2	1714	116.8	178.6	178			147.7	494.2	781.22
8	123.4	187.5	1812	122.4	179.1	177.4			125.7	503.3	825.89
9	111.3	186.5	1668	113.2	178.7	176.5			109.9	510.8	760.26
10	111	187.7	1652	111.4	178.4	176.3			103	520.7	752.96
11	121.7	183.1	1810	129.1	178.9	177.2			147.2	496.1	824.98
12	119.3	190.2	1787	120.6	178.6	176.1			135.2	500.2	814.49
13	109.2	187.9	1629	110	178.6	175.8			118.2	495.9	742.48
14	120.3	190.9	1789	122.3	178.6	178.9			134.9	506.5	815.41
15	110.4	179.9	1628	112.1	178.9	176.8			137.6	519.3	742.02
16	119.4	183.9	1779	119.7	178.7	177.4			125.5	501.4	810.85
17	112.8	188	1666	111.7	178.7	175.5			103.7	505.3	759.34
18	122.6	186.4	1716	114.8	178.7	176.8			112.4	504.9	782.13
19	107	188	1624	108.8	178.6	177.3			130.8	522.9	740.20
20	112.8	186.7	1632	114.2	178.4	176.9			113	504.7	743.85
21	115.3	188.7	1700	115.4	178.6	177			112.9	507.9	774.84
22	117.9	190.5	1422	80.3	178.4	177.5			151.7	488.7	648.13
23	105.7	177.5	1562	106	178.3	176.7			111.9	482.2	711.94
24	112.1	180.8	1697	114.4	178.6	177			93.9	495.5	773.47
25	115.7	185.8	1723	116.4	178.6	176.7			108.3	501.4	785.32
26	120.6	185.1	1789	120.6	178.7	176.6			122	494.8	815.41
27	123.5	187.8	1812	123.4	178.8	177.2			148.2	489.8	825.89
28	119	189.6	1747	120.8	178.8	176.9			125.7	507.5	796.26
29	118.7	180.4	1768	118.6	178.4	177.8			159.6	484.2	805.83
30	123	186.9	1849	123.7	178.7	177.2			138.7	517.1	842.75
31	115.9	187.7	1716	117.5	178.6	176.6			124.7	515.2	782.13
32	126.1	181.2	1892	127	178.8	177.1			162.6	504.5	862.35
33	112.6	181.6	1682	110.8	178.8	178.8			421	495.9	766.64
34	118.9	188.9	1791	119.3	178.7	176.6			167	500.6	816.32
35	116.7	186.7	1740	116.3	179	176.4			85.8	491.5	793.07
36	121.2	177.2	1800	125.5	178.7	178			116	481.4	820.42
37	123.4	188.9	1814	123.3	178.7	177.4			118	489.1	826.80
38	122.7	186.9	1797	121.1	178.8	177.4			96.7	491	819.05
39	131.4	188.3	1944	130.8	178.9	176.6			339.6	489	886.05
40	131.5	190.9	1947	131.3	179.1	176.7			161.7	508.5	887.42
41	126.7	176.2	1892	126.9	178.7	176.7			94	507.7	862.35
42	122.4	184.2	1811	120.6	179.2	176.7			139.7	519.7	825.43
43	122.5	186.1	1826	122.3	178.8	176.4			163.9	505.5	832.27
44	129.5	185.9	1904	128	179.2	176.7			145.5	509	867.82
45	121.7	180.1	1789	119.4	178.8	176.5			139.9	496.3	815.41
46	119.5	177	1791	121.9	178.9	177.6			149.5	495	816.32
47	122.1	179.5	1821	122.9	178.6	178			144.6	440.9	829.99
48	120.5	184.2	1812	123.7	179.2	177.9			150.4	538.2	825.89
49	119.4	183.2	1806	120	178.6	177.6			128.7	509	823.15
50	121.9	151.8	1839	121.5	184.6	171.4			146.3	306.3	838.20
51	115.8	135.9	1635	115.1	131	128			271	463.6	745.21
52	118.6	188.2	1786	118	179	177.3			165.2	503.2	814.04
53	118.3	188.1	1803	118.9	178.9	177.8			145.2	511.8	821.79
54	117.3	175.9	1769	117.7	179.3	178			180.3	514.8	806.29
55	124.3	184.8	1852	124	179.1	182.3			158.2	502.4	844.12
MEDIA	118.82	183.11	1754.56	118.53	178.01	176.31			144.21	497.63	799.71
DESV.	5.52	8.90	95.59	7.57	6.51	6.78			55.15	30.03	43.57

2) Cálculo de medias:

Nº VIB	Qsb	Pap	RPMm	Qm	Psb	Pm	RPMmh	A1	A2	Mtdf	RPMtdf
1	117.11	176.83	1704.36	115.83	156.13	151.06			111.57	454.57	776.83
2	117.09	149.13	1724.93	115.88	105.41	101.17			105.63	313.89	786.20
3	114.33	142.03	1690.29	113.01	89.93	85.77			101.87	269.86	770.41
4	109.72	137.35	1614.35	108.34	83.79	79.74			88.24	250.52	735.80
5	114.44	150.84	1689.40	113.34	101.24	96.86			92.32	295.34	770.01
6	117.74	134.71	1721.00	116.56	72.73	69.25			95.64	244.76	784.41
7	114.96	142.12	1696.23	113.56	96.17	91.49			103.47	280.47	773.12
8	122.33	167.30	1797.56	120.77	127.44	122.80			96.88	367.30	819.31
9	110.55	153.37	1640.83	109.47	112.88	109.07			91.48	328.83	747.87
10	110.92	151.17	1646.67	109.68	102.62	98.58			69.95	299.50	750.53
11	117.42	134.68	1729.83	115.98	71.85	67.86			117.97	215.15	788.43
12	116.50	160.38	1720.40	115.64	110.44	106.22			92.38	321.74	784.14
13	107.74	171.25	1609.73	106.29	137.66	133.94			79.74	386.58	733.70
14	119.21	165.70	1780.60	118.38	118.67	114.05			109.54	350.06	811.58
15	109.00	160.75	1614.00	107.55	127.50	123.80			112.22	403.15	735.64
16	119.00	147.63	1775.00	118.00	102.20	98.06			95.90	299.61	809.02
17	110.14	144.29	1655.00	108.84	92.84	89.40			76.30	275.41	754.33
18	112.20	149.80	1673.00	110.84	101.79	97.71			68.00	301.47	762.53
19	105.27	159.55	1574.00	103.90	107.75	104.03			95.28	316.90	717.41
20	107.99	141.66	1621.18	106.67	95.88	92.02			32.17	280.71	738.92
21	113.96	154.72	1686.73	112.47	110.65	106.76			94.62	317.55	768.79
22	113.00	154.00	1686.00	112.00	110.00	106.00			98.39	317.00	768.00
23	104.26	145.46	1553.00	102.80	105.28	102.00			90.54	299.56	707.84
24	111.11	167.17	1661.27	109.63	126.05	121.78			47.79	364.37	757.19
25	114.05	149.46	1711.50	113.11	106.80	102.76			86.48	313.96	780.08
26	119.39	166.85	1783.27	118.95	129.44	125.85			96.85	364.93	812.80
27	122.39	136.62	1806.87	121.07	80.43	75.82			108.98	233.04	823.55
28	117.59	148.63	1742.25	116.27	102.80	98.80			100.73	290.08	794.10
29	116.47	146.40	1737.80	115.43	98.00	93.78			106.23	275.52	792.07
30	122.08	172.06	1835.25	121.50	129.91	125.35			98.16	374.71	836.49
31	112.61	159.89	1696.82	111.65	120.31	115.85			118.57	349.28	773.39
32	123.06	158.89	1852.29	122.29	101.39	97.67			108.10	339.96	844.25
33	107.84	166.77	1649.43	106.97	128.14	122.73			125.20	361.04	751.79
34	117.37	164.83	1762.60	116.68	132.60	128.25			122.65	377.72	803.37
35	115.07	174.67	1732.50	114.43	137.57	133.83			122.83	380.50	789.65
36	119.94	136.62	1783.09	118.72	86.18	81.93			84.48	241.33	812.71
37	121.62	172.28	1794.45	119.83	133.56	128.98			93.18	369.65	817.89
38	121.16	166.09	1790.33	119.69	123.31	118.37			117.70	346.13	816.01
39	128.35	165.77	1890.60	126.29	122.66	119.81			180.21	333.67	861.71
40	130.37	175.33	1932.43	128.04	148.33	142.16			122.56	430.30	880.78
41	125.84	141.60	1876.38	124.41	88.30	83.86			101.58	262.11	855.23
42	121.04	174.51	1795.80	119.34	152.90	148.24			107.88	436.76	818.51
43	121.44	150.85	1818.39	120.36	104.67	99.98			130.46	305.53	828.80
44	127.05	170.25	1883.09	124.98	124.49	119.83			111.05	350.74	858.29
45	115.90	152.03	1721.75	114.35	111.13	106.58			104.78	317.98	784.75
46	117.12	150.96	1752.30	116.03	101.29	97.57			123.56	290.62	798.68
47	121.06	143.23	1809.56	120.07	95.80	92.00			75.28	273.33	824.77
48	119.08	166.69	1799.63	118.80	117.96	113.58			97.71	336.10	820.25
49	118.05	160.34	1777.29	116.93	120.86	116.98			83.02	341.62	810.07
50	120.06	146.30	1807.40	119.00	116.92	97.10			112.06	295.68	823.79
51	112.60	119.10	1600.00	111.10	86.10	82.40			244.55	385.00	729.26
52	116.65	158.97	1771.91	115.64	121.83	117.74			99.26	350.51	807.62
53	117.18	165.26	1783.25	116.36	126.35	123.65			89.05	362.53	812.78
54	116.12	165.33	1764.50	115.95	129.68	127.27			110.13	370.22	804.24
55	123.04	173.60	1845.23	121.52	143.99	140.35			116.79	401.58	841.03
MEDIA	116.68	155.67	1737.70	115.48	112.56	108.15			103.05	327.57	792.01
DESV.	5.64	13.02	84.60	5.57	19.51	19.44			28.89	52.46	38.57

3) Tiempos:

Nº VIB	Tai	Taf	Tvi	Tvf	Ta/VIB	Tv/VIB	Ta-Tv	Tvi -Tai	Taf -Tvf	Tep	Descripción	
1	30	49	34	47	19	13	6	4	2	35	1-2	1
2	84	107	87	105	23	18	5	3	2	71	2-3	1
3	178	192	182	191	14	9	5	4	1	72	3-4	1
4	264	289	268	288	25	20	5	4	1	84	4-5	1-2
5	373	385	376	384	12	8	4	3	1	49	5-6	2
6	434	451	437	449	17	12	5	3	2	55	6-7	2
7	506	525	508	523	19	15	4	2	2	73	7-8	2-3
8	598	616	601	612	18	11	7	3	4	81	8-9	3
9	697	709	701	708	12	7	5	4	1	39	9-10	3
10	748	762	752	760	14	8	6	4	2	44	10-10b	3-4
11	806	840	810	835	34	25	9	4	5	53	10b-11	4-5
12	893	901	895	902	8	7	1	2	-1	31	11-12	5
13	932	949	935	947	17	12	5	3	2	67	12-13 (1)	5
14	1016	1035	1021	1033	19	12	7	5	2	99	13-14	5-6
15	1134	1142	1137	1140	8	3	5	3	2	49	14-15	6
16	1191	1205	1194	1203	14	9	5	3	2	58	15-16	6
17	1263	1278	1267	1277	15	10	5	4	1	60	16-17	6-7
18	1338	1351	1341	1350	13	9	4	3	1	49	17-18	7-8
19	1400	1411	1403	1410	11	7	4	3	1	37	18-19	8
20	1448	1466	1451	1464	18	13	5	3	2	95	19-20 (2)	8
21	1561	1578	1564	1576	17	12	5	3	2	72	20-21	8
22	1650	1657	1653	1654	7	1	6	3	3	19	21-21	8
23	1676	1685	1678	1684	9	6	3	2	1	75	21-22	8-9
24	1760	1783	1763	1780	23	17	6	3	3	30	22-23	9
25	1813	1826	1816	1825	13	9	4	3	1	56	23-24	9
26	1882	1900	1885	1898	18	13	5	3	2	241	24-25 (3)	9-10
27	2141	2173	2145	2171	32	26	6	4	2	280	25-26 (3)	10-11
28	2453	2473	2456	2471	20	15	5	3	2	50	26-27	11
29	2523	2542	2528	2539	19	11	8	5	3	70	27-28 (2)	11
30	2612	2627	2615	2626	15	11	4	3	1	28	28-29	11
31	2655	2672	2658	2670	17	12	5	3	2	43	29-30	11-12
32	2715	2737	2728	2736	22	8	14	13	1	26	30-31	12
33	2763	2776	2766	2774	13	8	5	3	2	65	31-32	12
34	2841	2856	2844	2855	15	11	4	3	1	22	32-32	12
35	2878	2891	2881	2890	13	9	4	3	1	130	32-33 (1)	12
36	3021	3051	3023	3048	30	25	5	2	3	325	33-34 (3)	12-13
37	3376	3423	3408	3421	47	13	34	32	2	30	34-35	13-14
38	3453	3469	3456	3468	16	12	4	3	1	46	35-36	14
39	3515	3539	3518	3537	24	19	5	3	2	49	36-37	14
40	3588	3602	3591	3600	14	9	5	3	2	32	37-38	14-15
41	3634	3650	3637	3648	16	11	5	3	2	388	38-39 (3)	15-16
42	4038	4055	4041	4053	17	12	5	3	2	69	39-40	16
43	4124	4153	4127	4149	29	22	7	3	4	65	40-41	16
44	4218	4236	4222	4236	18	14	4	4	0	48	41-42	16-17
45	4284	4293	4287	4292	9	5	4	3	1	78	42-43	17-18
46	4371	4387	4374	4386	16	12	4	3	1	22	43-44	18
47	4409	4425	4412	4423	16	11	5	3	2	62	44-45 (2)	18
48	4487	4502	4490	4500	15	10	5	3	2	27	45-46	18
49	4529	4552	4532	4552	23	20	3	3	0	40	46-47	18-19
50	4592	4600	4594	4598	8	4	4	2	2	9	47-47	19
51	4609	4614	4610	4613	5	3	2	1	1	113	47-48 (2)	19-20
52	4727	4745	4730	4744	18	14	4	3	1	33	48-49	20
53	4778	4792	4781	4791	14	10	4	3	1	66	49-50	20
54	4858	4869	4860	4868	11	8	3	2	1	40	50-51	20
55	4909	4928	4911	4927	19	16	3	2	1			
MEDIA					17.24	11.76	5.47	3.78	1.69	73.15		
DESV.					7.29	5.40	4.32	4.16	1.00	72.83		

Notas:

- (1) Maniobra para acceder al pie.
- (2) Recorrido excesivo para llegar al pie.
- (3) Movimiento de mallas.

4) Consumos:

Nº VIB	Cai	Caf	Cvi	Cvf	Ca/VIB	Cv/VIB	Ca-Cv	Cvi-Cai	Caf-Cvf	Cep
1	14	68	19	64	54	45	9	5	4	21
2	89	146	92	145	57	53	4	3	1	57
3	203	233	209	233	30	24	6	6	0	64
4	297	348	301	348	51	47	4	4	0	44
5	392	420	396	418	28	22	6	4	2	31
6	451	486	454	485	35	31	4	3	1	43
7	529	573	531	571	44	40	4	2	2	62
8	635	681	639	676	46	37	9	4	5	81
9	762	788	767	787	26	20	6	5	1	26
10	814	843	820	841	29	21	8	6	2	33
11	876	945	880	941	69	61	8	4	4	40
12	985	1009	991	1012	24	21	3	6	-3	28
13	1037	1081	1043	1079	44	36	8	6	2	71
14	1152	1199	1158	1196	47	38	9	6	3	75
15	1274	1289	1278	1288	15	10	5	4	1	31
16	1320	1353	1324	1351	33	27	6	4	2	48
17	1401	1431	1407	1431	30	24	6	6	0	50
18	1481	1510	1484	1510	29	26	3	3	0	50
19	1560	1584	1564	1584	24	20	4	4	0	26
20	1610	1648	1614	1647	38	33	5	4	1	91
21	1739	1779	1744	1778	40	34	6	5	1	44
22	1823	1831	1826	1828	8	2	6	3	3	14
23	1845	1864	1847	1863	19	16	3	2	1	59
24	1923	1979	1927	1975	56	48	8	4	4	24
25	2003	2034	2007	2033	31	26	5	4	1	57
26	2091	2141	2096	2139	50	43	7	5	2	129
27	2270	2347	2276	2345	77	69	8	6	2	155
28	2502	2552	2507	2550	50	43	7	5	2	34
29	2586	2625	2592	2623	39	31	8	6	2	65
30	2690	2733	2695	2732	43	37	6	5	1	20
31	2753	2795	2757	2793	42	36	6	4	2	38
32	2833	2871	2843	2870	38	27	11	10	1	17
33	2888	2921	2893	2919	33	26	7	5	2	75
34	2996	3043	3002	3042	47	40	7	6	1	16
35	3059	3093	3064	3093	34	29	5	5	0	84
36	3177	3249	3179	3246	72	67	5	2	3	184
37	3433	3497	3451	3495	64	44	20	18	2	24
38	3521	3564	3525	3564	43	39	4	4	0	31
39	3595	3691	3600	3689	96	89	7	5	2	52
40	3743	3785	3747	3783	42	36	6	4	2	31
41	3816	3854	3820	3853	38	33	5	4	1	201
42	4055	4107	4060	4104	52	44	8	5	3	41
43	4148	4222	4153	4219	74	66	8	5	3	73
44	4295	4351	4302	4351	56	49	7	7	0	33
45	4384	4405	4390	4404	21	14	7	6	1	57
46	4462	4503	4466	4501	41	35	6	4	2	15
47	4518	4558	4522	4557	40	35	5	4	1	65
48	4623	4664	4628	4661	41	33	8	5	3	24
49	4688	4754	4693	4754	66	61	5	5	0	53
50	4807	4849	4820	4845	42	25	17	13	4	9
51	4858	4882	4864	4882	24	18	6	6	0	67
52	4949	4999	4954	4998	50	44	6	5	1	25
53	5024	5064	5029	5062	40	33	7	5	2	73
54	5137	5172	5140	5170	35	30	5	3	2	26
55	5198	5260	5200	5258	62	58	4	2	2	
MEDIA					42.89	36.29	6.60	5.02	1.58	53.46
DESV.					16.58	16.03	2.91	2.53	1.37	39.10

5) Cálculo de Potencias y rendimientos del circuito hidráulico:

Nº VIB	Ntdf	Nb	Nm	tdf-b	b-m	tdf-m
1	36.98	29.89	28.61	80.84	95.70	77.36
2	25.84	20.18	19.17	78.09	94.99	74.17
3	21.77	16.81	15.85	77.21	94.28	72.80
4	19.30	15.03	14.12	77.87	93.96	73.17
5	23.81	18.94	17.95	79.54	94.75	75.37
6	20.11	14.00	13.20	69.63	94.26	65.64
7	22.71	18.08	16.99	79.61	93.98	74.81
8	31.51	25.49	24.25	80.89	95.12	76.94
9	25.75	20.40	19.52	79.23	95.67	75.80
10	23.54	18.61	17.68	79.06	95.00	75.10
11	17.76	13.79	12.87	77.65	93.28	72.43
12	26.42	21.04	20.08	79.62	95.47	76.02
13	29.70	24.25	23.28	81.64	95.99	78.37
14	29.75	23.13	22.07	77.74	95.44	74.20
15	31.06	22.72	21.77	73.16	95.81	70.09
16	25.38	19.88	18.92	78.34	95.14	74.53
17	21.76	16.72	15.91	76.85	95.16	73.13
18	24.07	18.67	17.71	77.56	94.84	73.56
19	23.81	18.54	17.67	77.89	95.30	74.23
20	21.72	16.93	16.05	77.94	94.80	73.89
21	25.56	20.62	19.63	80.64	95.23	76.80
22	25.49	20.32	19.41	79.71	95.51	76.14
23	22.20	17.95	17.14	80.82	95.53	77.21
24	28.89	22.90	21.83	79.26	95.33	75.55
25	25.65	19.92	19.00	77.65	95.43	74.10
26	31.06	25.27	24.48	81.34	96.88	78.80
27	20.10	16.09	15.01	80.08	93.25	74.67
28	24.12	19.76	18.78	81.94	95.03	77.86
29	22.85	18.66	17.70	81.66	94.84	77.45
30	32.82	25.93	24.90	79.00	96.03	75.86
31	28.29	22.15	21.15	78.30	95.47	74.76
32	30.06	20.40	19.53	67.87	95.73	64.97
33	28.42	22.59	21.47	79.49	95.00	75.52
34	31.78	25.45	24.47	80.08	96.15	76.99
35	31.46	25.88	25.04	82.25	96.75	79.58
36	20.54	16.90	15.90	82.29	94.10	77.43
37	31.66	26.56	25.27	83.88	95.15	79.81
38	29.58	24.43	23.16	82.58	94.83	78.31
39	30.11	25.74	24.74	85.49	96.11	82.16
40	39.69	31.62	29.76	79.66	94.13	74.99
41	23.47	18.17	17.06	77.39	93.90	72.67
42	37.44	30.26	28.92	80.83	95.59	77.26
43	26.52	20.78	19.67	78.37	94.67	74.19
44	31.52	25.86	24.49	82.03	94.69	77.67
45	26.13	21.06	19.93	80.59	94.62	76.25
46	24.31	19.40	18.51	79.80	95.43	76.15
47	23.61	18.96	18.06	80.32	95.25	76.50
48	28.87	22.97	22.06	79.55	96.06	76.41
49	28.98	23.33	22.36	80.49	95.87	77.17
50	25.51	22.95	18.89	89.98	82.32	74.07
51	29.40	15.85	14.97	53.91	94.43	50.91
52	29.64	23.24	22.26	78.38	95.80	75.09
53	30.86	24.21	23.52	78.45	97.18	76.24
54	31.18	24.62	24.13	78.96	98.00	77.38
55	35.37	28.97	27.89	81.90	96.27	78.85
MEDIA	27.20	21.51	20.45	79.01	95.01	75.04
DESV.	4.77	4.11	4.01	4.70	1.96	4.41

6) Cálculo de datos significativos:

6.1. Tiempos.

6.1.1. Tiempo entre pies (Tep).

Paso pie-pie (32): 54.53 s

Paso árbol-árbol (19):

Media en operación normal (15): 61.4 s

Media global: 113.42 s

6.1.2. Tiempo por pie (Tep + Ta).

Medio: 90.38 s/pie

Real: 71.77 s/pie

6.1.3. Tiempo total ensayo.

Real: 4898 s

Ideal: 3825.13 s

6.2. Consumo.

6.2.1. Consumo total ensayo: 5.246 l

6.2.2. Consumo horario: 3.86 l/h

6.3. Rendimientos.

6.3.1. Vibraciones/tiempo: 40.42 vibraciones/h (89.05 s/vibración)

6.3.2. Pies vibrados/tiempo: 38.95 pies/h (92.42 s/pie)

6.3.3. Árboles vibrados/tiempo: 14.7 árboles/h (244.9 s/árbol)

6.3.4. Superficie/tiempo (capacidad de campo): 0.106 ha/h

Notas:

- El cálculo de "Media en operación normal" se realiza exceptuando los Tep 24-25, 25-26, 33-34 y 38-39.

ENSAYO M18013.

1) Cálculo de máximos:

Nº VIB	Qsb	Pap	RPMm	Qm	Psb	Pm	RPMmh	A1	A2	Mtdf	RPMtdf
1	126.2	148.6	1867	126.9	91.5	87.5		143.5		283.2	850.96
2	133.4	169.1	1936	133.2	178.6	177.9		173.8		516.9	882.41
3	129.5	193.9	1925	128.1	179.4	179.7		171.4		509.3	877.39
4	129.4	189.1	1912	127.2	178.5	177.4		132.9		506.2	871.47
5	116.8	189.2	1717	118.9	178.8	177.1		201.3		484.5	782.59
6	118.1	190.2	1744	118.2	178.5	177.5		193.7		486.4	794.90
7	126	175.8	1855	126	178.6	176.1		167.3		474.5	845.49
8	122.9	188.3	1802	125.3	178.8	178.7		156.9		459.2	821.33
9	117	185.1	1725	116.5	178.5	176.2		141.2		470.8	786.24
10	116.7	186.3	1723	115	178.9	178.3		157.9		463.4	785.32
11	112.3	180.9	1668	111.9	178.8	176.9		171.1		494.6	760.26
12	120.4	168.7	1801	120.6	178.9	178		177.1		491.1	820.88
13	122.1	168	1848	123.7	179.2	177.4		140.8		510.7	842.30
14	117.9	183.8	1792	119.3	178.9	178.4		125.3		490	816.77
15	121.2	185	1816	120	179.2	177.9		251.4		495.3	827.71
16	126.5	186.5	1875	125.1	179.1	177.8		163.3		511.6	854.60
17	119.8	186	1806	122.4	178.9	177.6		153.6		506	823.15
18	120.4	177.5	1782	118.9	179	178.4		190.8		487.9	812.22
19	122.6	176.9	1821	126.3	179.1	178		168.9		486.1	829.99
20	134.5	185.2	1926	128.4	179.6	177.8		165.3		486.2	877.85
21	125.2	189	1850	124.1	179	178.2		464.7		481.1	843.21
22	130	184.1	1896	127.2	179.2	178.2		152.4		479.7	864.18
23	120.6	177.4	1777	119.4	179.3	182.5		176		483.6	809.94
24	125	188.4	1827	122	179.3	178.4		391.4		498.4	832.72
25	123.4	185.9	1839	123.1	179	176.8		139.6		488.6	838.20
26	128.2	177	1832	122.8	179	177.9		207.5		478.1	835.00
27	188.9	178.3	1769	117.4	178.9	177.7		323.5		504.1	806.29
28	123.7	184.9	1821	121.8	179.1	177.7		362.8		488.6	829.99
29	120.2	184.5	1793	119.4	179.1	177.5		132.3		489	817.23
30	113.4	181.3	1714	115.1	178.9	177.2		145.6		492.4	781.22
31	120	174.7	1815	120.7	178.9	178.7		156.5		489.5	827.26
MEDIA	124.91	181.28	1815.29	122.09	176.15	175.01		193.54		483.45	827.39
DESV.	13.03	8.94	67.20	4.68	15.71	16.28		81.52		39.58	30.63

2) Cálculo de medias:

Nº VIB	Qsb	Pap	RPMm	Qm	Psb	Pm	RPMmh	A1	A2	Mtdf	RPMtdf
1	125.58	135.97	1851.24	124.10	87.95	84.07		123.79		265.24	843.77
2	131.19	135.73	1910.50	128.79	90.51	86.43		115.49		279.80	870.78
3	128.56	178.84	1917.90	126.30	164.06	159.65		114.50		470.94	874.16
4	127.33	173.13	1890.00	125.47	132.33	128.12		95.85		385.10	861.44
5	115.64	158.80	1711.00	114.28	114.76	111.38		108.79		323.56	779.85
6	116.01	172.17	1717.75	114.32	142.83	138.71		130.52		385.68	782.93
7	117.32	140.28	1716.46	114.90	75.85	72.35		87.85		216.27	782.34
8	121.74	122.12	1788.72	120.51	67.48	63.68		107.48		183.15	815.28
9	115.62	171.46	1703.89	113.64	132.99	129.34		91.01		352.94	776.61
10	115.39	171.64	1713.86	113.96	133.46	129.24		109.07		360.19	781.16
11	110.58	147.07	1655.80	108.78	104.84	101.42		117.49		292.59	754.69
12	119.71	138.80	1796.46	118.81	98.32	94.39		108.16		281.46	818.81
13	116.19	117.16	1657.70	113.94	72.21	68.95		85.83		265.78	755.56
14	112.66	134.81	1714.65	111.42	81.77	78.37		86.95		240.67	781.52
15	119.15	170.12	1796.73	117.52	137.98	133.92		130.79		387.65	818.93
16	125.20	173.96	1860.13	123.44	144.05	139.90		112.73		408.16	847.82
17	115.80	170.50	1722.00	113.32	147.35	143.50		114.70		401.05	784.87
18	119.43	168.58	1770.17	117.68	139.85	135.33		134.95		387.52	806.82
19	121.82	136.66	1809.75	120.78	75.96	72.05		123.88		212.31	824.86
20	127.39	173.46	1882.11	125.14	143.98	142.11		129.12		397.67	857.84
21	123.22	162.65	1830.00	121.75	119.20	115.90		220.17		326.63	834.09
22	127.48	165.33	1889.30	125.37	120.94	117.90		121.79		332.57	861.12
23	119.00	151.13	1760.43	116.41	113.31	109.60		127.34		303.87	802.38
24	122.79	148.73	1907.86	119.69	142.37	120.27		79.01		586.56	869.58
25	122.77	160.53	1832.67	120.84	120.52	117.50		94.26		332.74	835.31
26	122.04	155.31	1816.11	120.91	114.71	111.01		144.53		318.03	827.76
27	117.03	147.47	1754.60	115.24	107.73	103.86		162.20		294.62	799.73
28	121.82	170.48	1801.00	118.30	144.97	141.08		210.73		398.83	820.88
29	119.10	172.31	1784.33	117.09	141.78	138.13		84.79		388.68	813.28
30	112.01	156.36	1706.50	111.23	115.11	111.90		79.34		321.20	777.80
31	119.03	135.11	1805.88	118.11	84.11	77.50		97.13		250.09	823.10
MEDIA	120.28	155.38	1789.53	118.45	116.56	112.18		117.75		333.92	815.65
DESV.	5.14	17.20	75.75	5.00	26.69	26.35		32.80		82.23	34.53

3) Tiempos:

Nº VIB	Tai	Taf	Tvi	Tvf	Ta/VIB	Tv/VIB	Ta-Tv	Tvi -Tai	Taf -Tvf	Tep	Descripción	
1	2	20	2	19	18	17	1	0	1	10	1-1	1
2	30	65	34	52	35	18	17	4	13	126	1-2 (1)	1-2
3	191	206	194	205	15	11	4	3	1	34	2-3	2
4	240	264	243	263	24	20	4	3	1	87	3-4	2
5	351	363	356	362	12	6	6	5	1	32	4-5	2
6	395	418	400	417	23	17	6	5	1	78	5-6	2-3
7	496	544	499	543	48	44	4	3	1	293	6-7 (1)	3-4
8	837	893	840	888	56	48	8	3	5	164	7-8 (1)	4-5
9	1057	1069	1060	1069	12	9	3	3	0	42	8-9	5
10	1111	1129	1113	1128	18	15	3	2	1	54	9-10	5
11	1183	1197	1186	1196	14	10	4	3	1	23	10-11	5
12	1220	1239	1223	1238	19	15	4	3	1	28	11-12	5-6
13	1267	1305	1269	1298	38	29	9	2	7	40	12-13	6-7
14	1345	1373	1348	1373	28	25	3	3	0	49	13-14	7-8
15	1422	1437	1424	1436	15	12	3	2	1	22	14-15	8
16	1459	1472	1462	1471	13	9	4	3	1	74	15-16 (2)	8
17	1546	1557	1550	1556	11	6	5	4	1	25	16-17	8
18	1582	1593	1585	1592	11	7	4	3	1	31	17-18	8-9
19	1624	1641	1626	1640	17	14	3	2	1	44	18-19	9-10
20	1685	1699	1687	1698	14	11	3	2	1	50	19-20	10
21	1749	1766	1753	1765	17	12	5	4	1	55	20-21	10
22	1821	1837	1824	1836	16	12	4	3	1	31	21-22	10
23	1868	1880	1871	1879	12	8	4	3	1	68	22-23	10-11
24	1948	1961	1952	1960	13	8	5	4	1	35	23-24	11
25	1996	2012	1999	2011	16	12	4	3	1	70	24-25 (2)	11
26	2082	2096	2085	2095	14	10	4	3	1	48	25-26	11
27	2144	2166	2147	2165	22	18	4	3	1	111	26-27 (2)	11-12
28	2277	2298	2281	2295	21	14	7	4	3	24	27-28	12
29	2322	2336	2325	2335	14	10	4	3	1	63	28-29 (2)	12
30	2399	2418	2401	2417	19	16	3	2	1	28	29-30	12
31	2446	2460	2448	2458	14	10	4	2	2			
MEDIA					19.97	15.26	4.71	2.97	1.74	61.30		
DESV.					10.75	9.73	2.77	0.98	2.49	55.24		

Notas:

- (1) Movimiento de mallas.
- (2) Recorrido excesivo para llegar al pie.

4) Consumos:

Nº VIB	Cai	Caf	Cvi	Cvf	Ca/VIB	Cv/VIB	Ca-Cv	Cvi-Cai	Caf-Cvf	Cep
1	12	60	12	60	48	48	0	0	0	9
2	69	137	74	130	68	56	12	5	7	77
3	214	265	218	264	51	46	5	4	1	25
4	290	368	294	367	78	73	5	4	1	102
5	470	498	477	496	28	19	9	7	2	27
6	525	591	533	589	66	56	10	8	2	57
7	648	760	653	759	112	106	6	5	1	206
8	966	1089	969	1087	123	118	5	3	2	103
9	1192	1225	1196	1225	33	29	4	4	0	30
10	1255	1306	1258	1305	51	47	4	3	1	71
11	1377	1411	1382	1409	34	27	7	5	2	19
12	1430	1480	1434	1478	50	44	6	4	2	27
13	1507	1594	1510	1590	87	80	7	3	4	33
14	1627	1697	1631	1697	70	66	4	4	0	42
15	1739	1783	1742	1783	44	41	3	3	0	18
16	1801	1841	1806	1840	40	34	6	5	1	91
17	1932	1961	1938	1959	29	21	8	6	2	18
18	1979	2009	1984	2007	30	23	7	5	2	26
19	2035	2076	2037	2075	41	38	3	2	1	40
20	2116	2163	2119	2160	47	41	6	3	3	34
21	2197	2244	2203	2243	47	40	7	6	1	57
22	2301	2347	2305	2346	46	41	5	4	1	24
23	2371	2403	2376	2401	32	25	7	5	2	64
24	2467	2514	2473	2512	47	39	8	6	2	24
25	2538	2584	2544	2583	46	39	7	6	1	69
26	2653	2692	2657	2689	39	32	7	4	3	31
27	2723	2779	2728	2779	56	51	5	5	0	78
28	2857	2915	2862	2912	58	50	8	5	3	17
29	2932	2973	2936	2970	41	34	7	4	3	77
30	3050	3100	3053	3099	50	46	4	3	1	21
31	3121	3156	3123	3155	35	32	3	2	1	
MEDIA					52.48	46.52	5.97	4.29	1.68	50.57
DESV.					22.45	22.54	2.34	1.60	1.42	40.07

5) Cálculo de Potencias y rendimientos del circuito hidráulico:

Nº VIB	Ntdf	Nb	Nm	tdf-b	b-m	tdf-m
1	23.44	18.06	17.06	77.05	94.46	72.78
2	25.51	19.41	18.20	76.09	93.75	71.33
3	43.11	34.48	32.97	79.99	95.60	76.47
4	34.74	27.55	26.28	79.30	95.40	75.65
5	26.42	21.70	20.81	82.11	95.91	78.76
6	31.62	27.09	25.93	85.67	95.70	81.99
7	17.72	14.55	13.59	82.11	93.43	76.71
8	15.64	13.43	12.55	85.90	93.41	80.24
9	28.70	25.14	24.03	87.59	95.60	83.73
10	29.46	25.18	24.08	85.45	95.64	81.73
11	23.12	18.95	18.04	81.97	95.16	78.01
12	24.13	19.24	18.34	79.74	95.28	75.97
13	21.03	13.72	12.84	65.23	93.63	61.08
14	19.70	15.06	14.28	76.47	94.79	72.48
15	33.24	26.88	25.73	80.86	95.72	77.40
16	36.24	29.49	28.23	81.37	95.75	77.91
17	32.96	27.90	26.59	84.64	95.30	80.66
18	32.74	27.31	26.04	83.41	95.35	79.53
19	18.34	15.13	14.23	82.49	94.05	77.59
20	35.72	29.99	29.08	83.94	96.97	81.40
21	28.53	24.01	23.07	84.17	96.07	80.87
22	29.99	25.21	24.17	84.05	95.87	80.58
23	25.53	22.05	20.86	86.35	94.62	81.70
24	53.41	28.58	23.54	53.51	82.34	44.06
25	29.11	24.19	23.22	83.11	95.97	79.76
26	27.57	22.89	21.95	83.03	95.88	79.61
27	24.67	20.61	19.57	83.54	94.93	79.31
28	34.28	28.87	27.29	84.22	94.51	79.59
29	33.10	27.61	26.44	83.40	95.78	79.89
30	26.16	21.08	20.35	80.58	96.53	77.78
31	21.56	16.37	14.97	75.94	91.43	69.43
MEDIA	28.63	22.96	21.75	80.75	94.67	76.58
DESV.	7.74	5.54	5.33	6.62	2.54	7.52

6) Cálculo de datos significativos:

6.1. Tiempos.

6.1.1. Tiempo entre pies (Tep).

Paso pie-pie (18): 44.28 s

Paso árbol-árbol (11):

Media en operación normal (8): 56.13 s

Media global: 93.82 s

6.1.2. Tiempo por pie (Tep + Ta).

Medio: 81.28 s/pie

Real: 64.24 s/pie

6.1.3. Tiempo total ensayo.

Real: 2458 s

Ideal: 2013.39 s

6.2. Consumo.

6.2.1. Consumo total ensayo: 3.144 l

6.2.2. Consumo horario: 4.6 l/h

6.3. Rendimientos.

6.3.1. Vibraciones/tiempo: 45.4 vibraciones/h (79.29 s/vibración)

6.3.2. Pies vibrados/tiempo: 43.94 pies/h (81.93 s/pie)

6.3.3. Árboles vibrados/tiempo: 17.58 árboles/h (204.83 s/árbol)

6.3.4. Superficie/tiempo (capacidad de campo): 0.127 ha/h

Notas:

- El cálculo de "Media en operación normal" se realiza exceptuando los Tep 1-2, 6-7 y 7-8.

ENSAYO M07011

1) Cálculo de máximos:

Nº VIB	Qsb	Pap	RPMm	Qm	Psb	Pm	RPMmh	A1	A2	Mtdf	RPMtdf
1	124.1	184.1	1881	125.9	180.7	173.7	1680			543.3	857.34
2	117.9	186.9	1797	120.1	180.5	175.4	1598			534.5	819.05
3	126.5	191.3	1860	127.9	180.4	176.2	1700			535.4	847.77
4	123.4	195	1826	123.9	180	177.4	1634			529.2	832.27
5	127.6	189.2	1910	119	180.7	177	1565			529.1	870.56
6	116.8	196.8	1717	120.3	180.2	184.5	1590			521	782.59
7	121.5	198.7	1821	120.5	180.1	175.8	1577			525.3	829.99
8	118.4	184.7	1729	117.3	180	175.5	1542			534.2	788.06
9	118.7	195.7	1725	121.3	179.3	175.4	1589			526	786.24
10	122.7	189.7	1809	125.9	179.7	175.8	1672			533.7	824.52
11	113.1	187.6	1649	117	179.4	177.9	1529			516.7	751.60
12	107.1	193.5	1569	109.8	179.5	175.2	1445			520.5	715.13
13	118.3	193.5	1761	120.9	179.3	176.1	1584			512.2	802.64
14	121.2	193.5	1776	121.6	179.7	177	1580			517.5	809.48
15	120.3	196.3	1737	121.6	179.7	176.9	1576			530.9	791.70
16	132.6	192.1	1768	122.9	179.2	177.8	1592			515.4	805.83
17	123.5	191.2	1827	114.2	180.1	178.5	1465			518.4	832.73
18	135.1	186.5	1728	111.1	179.6	177.1	1427			512.7	787.60
19	129.3	195	1778	113.1	179.9	176.2	1451			519.7	810.39
20	117.7	191.4	1782	119.7	179.2	177.1	1541			507.7	812.22
21	119.1	191.9	1755	119.2	179.2	177.3	1534			504.1	799.91
22	119.7	194.7	1779	118.6	180.1	182.3	1517			502.1	810.85
MEDIA	121.57	191.79	1772.00	119.63	179.84	177.10	1563.09			522.25	807.66
DESV.	6.22	4.01	74.39	4.60	0.48	2.34	73.54			10.91	33.91

2) Cálculo de medias:

Nº VIB	Qsb	Pap	RPMm	Qm	Psb	Pm	RPMmh	A1	A2	Mtdf	RPMtdf
1	122.48	170.14	1854.57	118.50	179.59	168.13	1598.96			540.16	845.29
2	116.02	171.67	1738.81	114.02	174.84	165.48	1550.50			517.75	792.53
3	124.57	178.20	1829.13	121.11	167.12	157.27	1657.38			497.75	833.69
4	121.21	177.22	1802.41	119.13	177.67	168.46	1574.70			522.82	821.52
5	118.70	175.58	1789.65	113.00	170.86	164.86	1486.30			500.52	815.70
6	115.28	183.99	1708.63	113.53	166.68	160.08	1520.25			482.83	778.77
7	118.09	180.85	1773.52	114.74	177.50	169.16	1501.76			518.20	808.35
8	117.25	167.85	1728.00	115.55	178.65	169.80	1510.00			518.55	787.60
9	117.59	181.48	1716.87	115.99	169.02	161.17	1515.27			489.23	782.53
10	115.48	159.76	1720.00	114.78	159.16	152.48	1504.80			477.10	783.96
11	111.30	164.74	1641.00	109.52	152.72	146.86	1436.20			454.38	747.95
12	105.26	172.57	1552.00	103.18	152.03	146.09	1377.44			438.24	707.38
13	115.69	177.90	1697.62	113.78	153.72	147.58	1511.86			448.88	773.76
14	120.04	179.89	1759.67	118.71	168.92	162.04	1544.61			489.66	802.04
15	117.80	181.26	1715.22	115.70	156.56	151.84	1502.74			453.61	781.78
16	117.50	175.44	1746.43	116.80	165.31	158.93	1511.21			473.16	796.00
17	121.94	176.92	1808.25	107.68	179.14	174.00	1384.06			516.14	824.18
18	114.81	175.18	1708.87	105.55	179.07	174.20	1357.00			511.27	778.88
19	117.20	180.28	1741.43	107.36	179.03	173.91	1374.81			512.48	793.72
20	116.58	173.57	1742.94	115.77	151.23	145.64	1485.25			434.83	794.41
21	116.94	175.40	1734.36	115.41	157.00	151.42	1479.50			449.32	790.50
22	112.33	168.37	1669.27	105.79	142.92	138.55	1408.55			425.27	760.84
MEDIA	117.00	174.92	1735.39	113.44	166.31	159.45	1490.60			485.10	790.97
DESV.	4.08	5.98	65.03	4.87	11.41	10.59	76.10			33.53	29.64

3) Tiempos:

Nº VIB	Tai	Taf	Tvi	Tvf	Ta/VIB	Tv/VIB	Ta-Tv	Tvi -Tai	Taf -Tvf	Tep	Descripción	
1	182	227	196	222	45	26	19	14	5	92	1-2	1
2	319	357	324	353	38	29	9	5	4	93	2-3	1-2
3	450	485	454	482	35	28	7	4	3	41	3-4	2
4	526	565	531	561	39	30	9	5	4	51	4-5	2-1
5	616	648	620	646	32	26	6	4	2	92	5-6	1-3
6	740	755	743	753	15	10	5	3	2	45	6-7	3
7	800	829	804	827	29	23	6	4	2	83	7-8	3-2
8	912	923	916	920	11	4	7	4	3	19	8-8	2
9	942	967	946	962	25	16	9	4	5	95	8-9	2-3
10	1062	1079	1070	1077	17	7	10	8	2	35	9-9	3
11	1114	1132	1122	1128	18	6	12	8	4	243	9-10 (1)	3-4
12	1375	1391	1379	1389	16	10	6	4	2	63	10-11	4
13	1454	1483	1458	1481	29	23	6	4	2	209	11-12 (2)	4-5
14	1692	1720	1695	1717	28	22	6	3	3	77	12-13	5
15	1797	1829	1802	1827	32	25	7	5	2	91	13-14	5-4
16	1920	1944	1923	1941	24	18	6	3	3	86	14-15	4-5
17	2030	2082	2035	2073	52	38	14	5	9	251	15-16 (2)	5-6
18	2333	2362	2338	2357	29	19	10	5	5	78	16-17	6-7
19	2440	2472	2445	2470	32	25	7	5	2	71	17-18	7
20	2543	2591	2549	2587	48	38	10	6	4	96	18-19	7
21	2687	2717	2691	2715	30	24	6	4	2	49	19-20	7-6
22	2766	2784	2770	2783	18	13	5	4	1			
MEDIA					29.18	20.91	8.27	5.05	3.23	93.33		
DESV.					10.93	9.58	3.35	2.40	1.74	63.44		

Notas:

- (1) Paso de una hilera a otra. Recorrido excesivo por confusión en el acceso al pie 10.
- (2) Recorrido excesivo para llegar al pie.

4) Consumos:

Nº VIB	Cai	Caf	Cvi	Cvf	Ca/VIB	Cv/VIB	Ca-Cv	Cvi-Cai	Caf-Cvf	Cep
1	208	339	220	334	131	114	17	12	5	79
2	418	545	426	540	127	114	13	8	5	86
3	631	755	638	752	124	114	10	7	3	34
4	789	920	795	917	131	122	9	6	3	47
5	967	1079	974	1078	112	104	8	7	1	88
6	1167	1210	1171	1208	43	37	6	4	2	39
7	1249	1346	1253	1345	97	92	5	4	1	79
8	1425	1446	1431	1445	21	14	7	6	1	17
9	1463	1533	1470	1528	70	58	12	7	5	103
10	1636	1671	1646	1670	35	24	11	10	1	30
11	1701	1734	1708	1730	33	22	11	7	4	256
12	1990	2028	1996	2026	38	30	8	6	2	51
13	2079	2166	2084	2164	87	80	7	5	2	217
14	2383	2471	2387	2469	88	82	6	4	2	59
15	2530	2627	2537	2625	97	88	9	7	2	93
16	2720	2790	2725	2789	70	64	6	5	1	82
17	2872	3038	2879	3032	166	153	13	7	6	230
18	3268	3350	3276	3347	82	71	11	8	3	90
19	3440	3544	3448	3543	104	95	9	8	1	63
20	3607	3749	3615	3745	142	130	12	8	4	100
21	3849	3941	3854	3937	92	83	9	5	4	39
22	3980	4030	3984	4029	50	45	5	4	1	
MEDIA					88.18	78.91	9.27	6.59	2.68	89.62
DESV.					39.94	38.61	3.04	2.02	1.62	65.66

5) Cálculo de Potencias y rendimientos del circuito hidráulico:

Nº VIB	Ntdf	Nb	Nm	tdf-b	b-m	tdf-m
1	47.81	35.96	32.58	75.22	90.58	68.13
2	42.97	33.17	30.85	75.86	96.31	73.05
3	43.46	34.04	31.14	76.15	96.79	73.71
4	44.98	35.21	32.81	77.00	94.75	72.95
5	42.75	33.16	30.46	77.55	91.86	71.24
6	39.38	31.41	29.71	78.57	97.52	76.62
7	43.87	34.27	31.73	78.12	92.60	72.34
8	42.77	34.25	32.08	78.71	95.29	75.01
9	40.09	32.49	30.56	78.99	96.52	76.24
10	39.17	30.05	28.62	76.72	95.22	73.06
11	35.59	27.79	26.30	76.69	96.36	73.89
12	32.46	26.16	24.64	79.00	98.03	77.44
13	36.37	29.08	27.45	78.62	97.62	76.75
14	41.13	33.15	31.45	79.27	96.47	76.47
15	37.14	30.16	28.72	79.13	97.74	77.34
16	39.44	31.76	30.35	80.52	95.56	76.95
17	44.55	35.72	30.63	80.18	85.77	68.77
18	41.70	33.61	30.06	80.61	89.43	72.09
19	42.60	34.30	30.53	80.53	88.99	71.67
20	36.17	28.82	27.57	79.68	95.64	76.21
21	37.20	30.02	28.57	80.71	95.19	76.82
22	33.88	26.25	23.97	77.46	91.31	70.73
MEDIA	40.25	31.86	29.58	78.42	94.34	73.98
DESV.	3.65	2.86	2.36	1.52	3.31	2.55

6) Cálculo de datos significativos:

6.1. Tiempos.

6.1.1. Tiempo entre pies (Tep).

Paso pie-pie (7): 69.29 s

Paso árbol-árbol (12):

Media en operación normal (12): 88.58 s

Media global: 118.42 s

6.1.2. Tiempo por pie (Tep + Ta).

Medio: 122.48 s/pie

Real: 98.47 s/pie

6.1.3. Tiempo total ensayo.

Real: 2602 s

Ideal: 2131.6 s

6.2. Consumo.

6.2.1. Consumo total ensayo: 3.822 l

6.2.2. Consumo horario: 5.28 l/h

6.3. Rendimientos.

6.3.1. Vibraciones/tiempo: 30.44 vibraciones/h (118.27 s/vibración)

6.3.2. Pies vibrados/tiempo: 27.67 pies/h (130.1 s/pie)

6.3.3. Árboles vibrados/tiempo: 9.68 árboles/h (371.71 s/árbol)

6.3.4. Superficie/tiempo (capacidad de campo): 0.139 ha/h

Notas:

- El cálculo de "Media en operación normal" se realiza considerando 180. 85 y 80 s para los Tep 9-10. 11-12 y 15-16, respectivamente.

ENSAYO 05014

1) Cálculo de máximos:

Nº VIB	Qsb	Pap	RPMm	Qm	Psb	Pm	RPMmh	A1	A2	Mtdf	RPMtdf
1	125.6	206.3	1846	112.4	172.9	174.4	1458	185.5	178.1	515.5	841.39
2	145.6	207.5	2130	122.4	173.2	174.8	1554	194.5	230.9	505.4	970.83
3	135.1	196	1981	122.2	172.8	177.3	1552	241.5	307.8	494.6	902.92
4	118	200.3	1744	107.3	172.6	176.1	1366	153.1	153.6	483.1	794.90
5	124	190.9	1875	116.3	172.7	176.5	1479	169.2	159	490	854.60
6	131.8	191.3	2040	126.2	172.9	176.1	1599	262.4	229.6	496.6	929.81
7	116.5	165.4	1732	109.2	173.6	177.5	1412	139.1	156.8	483.4	789.43
8	111.7	198.4	1664	112.7	172.4	175.1	1457	147.8	140	483.4	758.43
9	115.8	198.8	1860	110.4	172.6	176.2	1403	145.5	138.3	486	847.77
10	132.5	199.1	1968	128.7	173	175.4	1643	250.9	191.9	505.4	896.99
11	122.1	198.1	1779	112.7	172.8	177.2	1441	142.1	141.2	494.4	810.85
12	123.3	196.9	1769	107.6	173	175.3	1359	134.4	153.9	507.1	806.29
13	127	183.2	1976	115.7	162.9	165	1488	149	213.5	477.2	900.64
14	121.1	201	1791	103	172.7	174.4	1324	123.6	170	494.7	816.32
15	122	189.7	1800	117.2	172.6	175.5	1492	181	179.1	485.2	820.42
16	120.9	199.8	1799	115.7	173.1	176.4	1468	193.3	193.8	496.1	819.96
17	123.4	186.5	1827	113.1	172.8	175.9	1423	183.8	184.7	479.2	832.73
18	145.8	191.8	2109	120.4	173.4	175.7	1526	158.9	136.8	502	961.26
19	143.4	201.4	2139	124.1	172.9	175.5	1575	200	288.4	491.7	974.93
20	128.4	202.6	1969	118.6	173	175.6	1495	185.6	145.6	508.7	897.45
21	122.7	198.1	1769	108.7	172.9	175.1	1366	180.4	152.5	483.1	806.29
22	107	195.7	1600	96	172.9	174.9	1210	113.7	116.4	486.5	729.26
23	126.4	196.3	1852	112.9	173.1	183.8	1438	183.2	138.8	488.3	844.12
24	127.5	196.7	1932	116.6	172.9	177	1472	165.3	174.8	487.4	880.58
25	105.3	184.7	1580	105.4	172.5	175.1	1332	164.4	188.4	494.1	720.15
26	119.8	198.7	1894	122.5	172.7	176.7	1561	173.6	175.4	482	863.26
27	108.9	191.8	1708	108.6	172.9	176.8	1373	177.8	160.4	483	778.49
28	132.2	190.9	1933	122.9	173	174.8	1611	281.5	293.6	498.5	881.04
29	132.8	200.7	1916	115.2	173	175.2	1464	370.8	192.1	486	873.29
30	112.5	204.6	1781	108.4	172.7	174.1	1371	262.4	148.8	484.2	811.76
31	134	207.9	1995	122	172.8	174.7	1543	375.5	274.9	493	909.30
32	139.6	204.7	2015	125.9	172.9	174.7	1593	715.2	221.5	505.2	2993.00
33	121.4	191.8	1794	112.5	172.7	175.4	1431	715.2	196.2	481	817.68
34	118	198.6	1751	105.7	172.6	174.5	1322	665.7	190.6	492.9	798.09
35	117.7	191.2	1760	109	172.6	174.5	1373	691.6	394.8	493.2	802.19
36	101.3	194.1	1611	106.2	172.5	174.6	1322	715.2	162.5	472.1	734.28
37	117.5	189	1664	104.2	172.6	174.4	1327	715.2	151.6	489.1	758.43
MEDIA	123.75	195.69	1847.38	114.02	172.57	175.46	1449.27	275.89	189.90	491.33	898.08
DESV.	10.68	7.97	144.82	7.53	1.65	2.41	99.63	199.24	57.91	9.76	359.84

2) Cálculo de medias:

Nº VIB	Qsb	Pap	RPMm	Qm	Psb	Pm	RPMmh	A1	A2	Mtdf	RPMtdf
1	112.25	192.50	1745.75	103.28	161.63	160.63	1340.75	118.83	80.23	465.35	795.69
2	132.13	194.53	2033.29	115.83	172.63	170.50	1476.43	149.43	173.04	497.61	926.75
3	115.34	187.25	1812.50	102.79	168.90	165.99	1519.50	201.05	183.56	450.33	825.54
4	105.67	168.65	1668.83	104.28	122.18	120.33	1346.50	111.20	132.40	344.33	760.64
5	114.47	187.77	1806.00	110.30	162.23	161.47	1398.33	133.00	124.97	457.70	823.15
6	122.43	183.99	1914.75	119.06	164.05	163.09	1507.88	185.85	196.51	469.76	872.72
7	103.47	97.33	1624.47	101.91	52.01	51.88	1339.93	101.39	107.05	161.41	740.41
8	103.34	148.33	1628.38	102.40	46.06	45.45	1334.38	95.74	114.81	156.41	742.19
9	103.06	181.21	1623.57	101.59	136.80	134.04	1301.43	113.71	116.36	390.13	740.01
10	125.43	185.83	1925.25	123.65	141.50	140.28	1573.50	160.58	159.13	420.03	877.51
11	109.06	161.43	1712.50	107.80	104.25	102.29	1389.75	95.59	115.79	301.44	780.54
12	104.00	180.70	1666.25	99.23	138.85	136.85	1255.25	99.30	110.73	403.73	759.46
13	123.84	149.75	1932.00	113.74	76.59	75.63	1458.63	108.79	135.00	244.11	880.58
14	111.80	158.98	1752.80	100.96	49.90	47.92	1307.20	101.86	119.96	151.34	798.91
15	108.70	163.12	1693.40	106.96	109.26	108.98	1356.60	125.54	138.80	305.58	771.83
16	114.28	181.63	1784.33	112.72	137.78	135.12	1424.83	146.82	166.23	386.00	813.28
17	109.19	182.20	1740.00	108.94	154.43	152.43	1369.29	137.96	142.71	425.77	793.07
18	128.03	184.08	1998.75	106.28	167.50	165.53	1335.00	94.85	103.30	486.78	911.01
19	122.73	179.53	1925.67	114.10	148.27	147.77	1445.00	130.70	167.20	428.40	877.70
20	118.24	187.00	1862.88	112.94	164.41	163.39	1422.63	131.23	112.41	465.30	849.08
21	104.22	183.61	1683.31	103.96	140.44	138.65	1304.63	130.39	125.28	388.84	767.23
22	95.02	164.97	1537.83	93.77	108.18	106.33	1190.67	91.18	93.03	300.52	700.93
23	112.40	170.57	1787.57	111.66	109.40	107.01	1423.14	124.90	118.96	307.56	814.75
24	116.28	179.32	1816.17	114.55	130.85	128.30	1443.83	130.93	127.73	372.25	827.79
25	96.44	161.90	1542.00	95.83	37.57	35.87	1243.00	142.63	131.07	101.17	702.83
26	114.71	132.44	1798.50	113.13	62.40	60.46	1464.00	122.10	119.00	178.75	819.74
27	107.08	173.60	1696.00	105.80	111.28	110.28	1347.50	135.78	140.45	328.35	773.02
28	118.34	152.29	1837.13	116.87	59.19	58.48	1516.63	231.36	250.48	181.14	837.34
29	113.30	187.40	1784.33	112.63	123.20	122.97	1437.33	208.57	170.30	355.53	813.28
30	107.07	172.37	1690.00	105.83	119.40	117.40	1332.67	169.17	121.97	333.00	770.28
31	121.60	186.22	1908.40	115.74	154.84	152.64	1456.20	190.26	186.70	438.30	869.83
32	121.43	185.87	1899.67	114.93	137.67	134.93	1451.67	480.40	168.47	411.30	865.85
33	112.05	169.78	1753.50	110.78	110.48	109.68	1400.25	477.65	162.53	314.80	799.23
34	104.26	188.28	1665.86	103.22	135.12	134.79	1299.93	396.69	126.73	378.16	759.28
35	101.20	152.47	1613.14	99.97	58.80	57.70	1288.29	510.76	238.31	170.80	735.25
36	95.00	188.84	1512.40	93.28	130.10	129.96	1178.40	399.16	119.00	379.34	689.33
37	102.20	160.77	1631.33	100.78	99.60	97.78	1291.83	444.37	117.20	280.75	743.54
MEDIA	111.62	172.07	1756.99	107.61	119.13	117.64	1377.64	187.29	141.01	341.41	800.80
DESV.	9.24	19.38	129.96	7.23	39.54	39.36	92.23	123.62	37.02	109.19	59.23

3) Tiempos:

Nº VIB	Tai	Taf	Tvi	Tvf	Ta/VIB	Tv/VIB	Ta-Tv	Tvi -Tai	Taf -Tvf	Tep	Descripción	
1	10	25	18	22	15	4	11	8	3	58	1-2	1
2	83	98	88	96	15	8	7	5	2	111	2-3 (1)	1
3	209	226	213	223	17	10	7	4	3	75	3-4	1-2
4	301	315	305	313	14	8	6	4	2	126	4-5 (1)	2
5	441	450	446	449	9	3	6	5	1	32	5-6	2
6	482	498	485	496	16	11	5	3	2	121	6-7	2-3
7	619	642	623	640	23	17	6	4	2	39	7-8	3
8	681	704	690	700	23	10	13	9	4	70	8-9	3-4
9	774	788	778	787	14	9	5	4	1	68	9-10	4
10	856	873	864	871	17	7	10	8	2	93	10-11 (1)	4
11	966	982	970	980	16	10	6	4	2	95	11-12 (2)	4
12	1077	1089	1082	1086	12	4	8	5	3	113	12-13	4-5
13	1202	1219	1207	1216	17	9	8	5	3	105	13-14	5-6
14	1324	1339	1331	1338	15	7	8	7	1	61	14-15	6-7
15	1400	1414	1406	1412	14	6	8	6	2	40	15-16	7
16	1454	1468	1458	1466	14	8	6	4	2	80	16-17	7
17	1548	1564	1555	1563	16	8	8	7	1	44	17-18	7
18	1608	1622	1615	1619	14	4	10	7	3	126	18-19 (2)	7-8
19	1748	1759	1753	1757	11	4	7	5	2	90	19-20	8
20	1849	1864	1854	1863	15	9	6	5	1	36	20-21	8
21	1900	1926	1905	1924	26	19	7	5	2	82	21-21b	8-9
22	2008	2022	2013	2020	14	7	7	5	2	51	21b-22	9
23	2073	2087	2077	2086	14	9	5	4	1	55	22-23	9
24	2142	2158	2148	2155	16	7	9	6	3	63	23-24	9-10
25	2221	2234	2227	2231	13	4	9	6	3	38	24-25	10
26	2272	2290	2276	2287	18	11	7	4	3	128	25-26	10-9
27	2418	2429	2419	2425	11	6	5	1	4	195	26-27 (2)	9-10
28	2624	2638	2626	2636	14	10	4	2	2	175	27-28 (1)	10-11
29	2813	2825	2817	2823	12	6	6	4	2	26	28-29	11
30	2851	2863	2856	2861	12	5	7	5	2	69	29-30	11-12
31	2932	2944	2936	2942	12	6	6	4	2	37	30-31	12
32	2981	2992	2985	2989	11	4	7	4	3	73	31-32	12-13
33	3065	3076	3068	3074	11	6	5	3	2	36	32-33	13
34	3112	3134	3116	3132	22	16	6	4	2	156	33-34	13-14
35	3290	3306	3294	3304	16	10	6	4	2	60	34-35	14-11
36	3366	3382	3373	3379	16	6	10	7	3	112	35-36	11
37	3494	3506	3497	3504	12	7	5	3	2			
MEDIA					15.05	7.97	7.08	4.86	2.22	81.64		
DESV.					3.66	3.60	1.93	1.69	0.79	41.77		

Notas:

- (1) Maniobra para acceder al pie.
- (2) Recorrido excesivo para llegar al pie.

4) Consumos:

Nº VIB	Cai	Caf	Cvi	Cvf	Ca/VIB	Cv/VIB	Ca-Cv	Cvi-Cai	Caf-Cvf	Cep
1	4	39	18	33	35	15	20	14	6	78
2	117	169	128	166	52	38	14	11	3	111
3	280	336	288	330	56	42	14	8	6	44
4	380	415	387	411	35	24	11	7	4	140
5	555	579	566	578	24	12	12	11	1	29
6	608	665	614	661	57	47	10	6	4	124
7	789	829	794	827	40	33	7	5	2	51
8	880	917	892	912	37	20	17	12	5	55
9	972	1009	979	1007	37	28	9	7	2	39
10	1048	1091	1062	1090	43	28	15	14	1	58
11	1149	1188	1157	1185	39	28	11	8	3	99
12	1287	1313	1296	1309	26	13	13	9	4	127
13	1440	1475	1446	1473	35	27	8	6	2	114
14	1589	1620	1602	1618	31	16	15	13	2	53
15	1673	1701	1680	1697	28	17	11	7	4	47
16	1748	1787	1755	1783	39	28	11	7	4	119
17	1906	1948	1917	1945	42	28	14	11	3	29
18	1977	2009	1989	2006	32	17	15	12	3	151
19	2160	2189	2172	2187	29	15	14	12	2	117
20	2306	2354	2317	2353	48	36	12	11	1	38
21	2392	2464	2402	2461	72	59	13	10	3	43
22	2507	2535	2515	2532	28	17	11	8	3	34
23	2569	2607	2577	2605	38	28	10	8	2	36
24	2643	2683	2655	2679	40	24	16	12	4	43
25	2726	2746	2734	2743	20	9	11	8	3	48
26	2794	2833	2801	2829	39	28	11	7	4	177
27	3010	3033	3011	3030	23	19	4	1	3	54
28	3087	3121	3093	3119	34	26	8	6	2	124
29	3245	3274	3252	3272	29	20	9	7	2	29
30	3303	3329	3311	3326	26	15	11	8	3	67
31	3396	3431	3406	3430	35	24	11	10	1	23
32	3454	3479	3463	3478	25	15	10	9	1	52
33	3531	3559	3536	3555	28	19	9	5	4	27
34	3586	3646	3593	3642	60	49	11	7	4	159
35	3805	3833	3812	3832	28	20	8	7	1	50
36	3883	3907	3889	3905	24	16	8	6	2	81
37	3988	4015	3994	4013	27	19	8	6	2	
MEDIA					36.24	24.84	11.41	8.54	2.86	74.17
DESV.					11.52	11.10	3.14	2.84	1.34	43.83

5) Cálculo de Potencias y rendimientos del circuito hidráulico:

Nº VIB	Ntdf	Nb	Nm	tdf-b	b-m	tdf-m
1	38.78	29.66	27.12	76.5	93.45	69.95
2	48.29	37.29	32.29	77.22	89.64	66.86
3	38.93	31.85	27.90	81.82	89.84	71.65
4	27.43	21.11	20.52	76.97	97.84	74.81
5	39.45	30.36	29.12	76.96	96.85	73.8
6	42.93	32.84	31.75	76.49	97.46	73.95
7	12.51	8.80	8.64	70.31	98.76	69.08
8	12.16	7.78	7.61	64.02	98.58	62.59
9	30.23	23.05	22.26	76.24	97.4	73.64
10	38.60	29.02	28.36	75.18	98.29	73.47
11	24.64	18.59	18.03	75.45	97.72	73.17
12	32.11	23.61	22.20	73.53	95.61	69.15
13	22.51	15.51	14.06	68.89	93.59	62.47
14	12.66	9.12	7.91	72.04	90.43	62.47
15	24.70	19.42	19.06	78.62	98.54	77.16
16	32.87	25.75	24.90	78.31	97.43	75.75
17	35.36	27.57	27.15	77.96	98.82	76.78
18	46.44	35.06	28.76	75.5	86.43	61.93
19	39.38	29.75	27.57	75.56	94.45	70.01
20	41.37	31.78	30.17	76.82	96.1	72.92
21	31.24	23.93	23.57	76.6	98.83	75.43
22	22.06	16.81	16.30	76.19	97.71	73.9
23	26.24	20.10	19.54	76.62	97.83	74.45
24	32.27	24.88	24.03	77.09	97.37	74.47
25	7.45	5.92	5.62	79.55	95.92	75.48
26	15.34	11.70	11.18	76.27	96.61	72.88
27	26.58	19.48	19.08	73.29	98.48	71.77
28	15.88	11.45	11.17	72.1	98.25	70.35
29	30.28	22.82	22.64	75.37	99.41	74.79
30	26.86	20.90	20.31	77.81	97.82	75.63
31	39.92	30.78	28.88	77.11	95.24	72.35
32	37.29	27.33	25.36	73.29	94.7	67.99
33	26.35	20.24	19.86	76.82	98.58	75.39
34	30.07	23.03	22.75	76.61	99.05	75.65
35	13.15	9.73	9.43	73.98	97.73	71.72
36	27.38	20.21	19.82	73.8	98.59	72.38
37	21.86	16.64	16.11	76.13	97.58	73.71
MEDIA	28.96	22.00	20.84	75.49	96.4	71.89
DESV.	10.42	8.21	7.41	96.86	96.97	95.86

6) Cálculo de datos significativos:

6.1. Tiempos.

6.1.1. Tiempo entre pies (Tep).

Paso pie-pie (20): 63.35 s

Paso árbol-árbol (16):

Media en operación normal (16): 104.5 s

Media global: 104.5 s

6.1.2. Tiempo por pie (Tep + Ta).

Medio: 96.7 s/pie

Real: 78.4 s/pie

6.1.3. Tiempo total ensayo.

Real: 3496 s

Ideal: 3496 s

6.2. Consumo.

6.2.1. Consumo total ensayo: 4.011 l

6.2.2. Consumo horario: 4.13 l/h

6.3. Rendimientos.

6.3.1. Vibraciones/tiempo: 38.1 vibraciones/h (94.49 s/vibración)

6.3.2. Pies vibrados/tiempo: 38.1 pies/h (94.49 s/pie)

6.3.3. Árboles vibrados/tiempo: 14.42 árboles/h (249.71 s/árbol)

6.3.4. Superficie/tiempo (capacidad de campo): 0.077 ha/h