

Trabajo Fin de Máster

Máster en Ingeniería Agronómica

Estudio del riesgo de incendio en empacadoras
agrícolas

Fire risk study in agricultural balers

MEMORIA

Autor:

Carlos Ayudán Ibarz

Directores:

D. Francisco Javier García Ramos

Dña. María Videgain Marco

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

2021

“Nada en este mundo debe ser temido... solo entendido. Ahora es el momento de comprender más, para que podamos temer menos.” - Marie Curie



El presente Trabajo Fin de Máster se ha realizado como consecuencia del convenio firmado entre ASAJA Huesca y el investigador F. Javier García Ramos, dentro del marco del proyecto **“SEFE Mejora de la seguridad en empacadoras”**, subvencionado mediante la Orden DRS/35/2019 del Gobierno de Aragón, en el marco del Programa de Desarrollo Rural para Aragón 2014-2020, y cuyos socios beneficiarios son ASAJA-Huesca, (Asociación Agraria de Jóvenes Agricultores), AGPME-ITAGA, (Asociación General De Productores de Maíz en España – Instituto Agrícola y Ganadero) y EPS, (Escuela Politécnica Superior – Universidad de Zaragoza).



Resumen

Incendios, pérdidas, destrucción... son términos que inevitablemente ocupan el foco de atención durante las campañas agrícolas de cereal, siendo los incendios agrícolas una amenaza grave debido a su poder destructivo. Por esta razón, el objetivo principal de este proyecto ha sido analizar los riesgos de las empacadoras de macropacas (grandes pacas prismáticas), para la generación de un incendio. Para ello, en primer lugar, se ha analizado el parque de maquinaria de empacado existente en España y Aragón con la finalidad de conocer las características más habituales de las empacadoras (antigüedad, fabricante, etc.). Posteriormente, se han identificado los puntos críticos de origen de incendio según la experiencia de los usuarios y propietarios de máquinas empacadoras de macropacas mediante una encuesta. Se ha encontrado relación estadísticamente significativa entre los incendios y las empacadoras que realizan más de 13.500 pacas al año, o que llevan acumuladas más de 40.500 pacas, que usan rastrillo y realizan pocas o nulas actuaciones de mantenimiento. En una segunda fase, durante dos campañas de recolección consecutivas, se han realizado ensayos en campo en un total de ocho máquinas, para identificar los puntos calientes de las empacadoras, mediante el registro en continuo de temperaturas de diferentes mecanismos, durante las campañas de empacado de paja de cereal de invierno y de maíz. Como resultado, se han registrado temperaturas máximas de 190°C en el freno de la horquilla del alimentador de la cámara de compresión. Del mismo modo, se han comparado las temperaturas alcanzadas por los componentes y mecanismos entre diferentes empacadoras. También, se ha categorizado la granulometría de los residuos generados en el proceso de empacado, para correlacionarlos con su punto de ignición (250°C), no obteniendo temperaturas que hayan alcanzado el valor de ignición de los residuos más pequeños (<250 µm) y más abundantes en las empacadoras. Por último, se ha desarrollado un ensayo en campo sobre la evolución de las temperaturas de la empacadora en función de la carga de trabajo a la que es sometida. Concluyendo que el cojinete del eje del pick-up y el freno de la horquilla aumentan su temperatura de trabajo conforme la empacadora procesa mayor cantidad de paja, sin embargo, la bomba hidráulica se mantiene ajena a la carga de trabajo de la empacadora.

Palabras clave: grandes pacas prismáticas; parque de maquinaria; paja; sensor de temperatura; freno de la horquilla; carga de trabajo; residuos de empacado.



Abstract

Fires, losses, destruction... are terms that inevitably occupy the focus of attention during agricultural cereal campaigns. Agricultural fires are a serious threat because of their destructive power. For this reason, the main objective of this project has been to analyze the risks of macrobale balers (large prismatic bales), for the generation of a fire. First of all, the existing fleet of packaging machinery in Spain and Aragon has been analysed in order to understand the most common characteristics of balers (age, manufacturer, etc.). Also, critical fire source points have been identified based on the experience of users and owners of macrobale baler machines through a survey. A statistically significant relationship has been found between the fires and the balers that carry out more than 13,500 bales per year, or that have accumulated more than 40,500 bales, which use rake and perform few or no maintenance actions. Secondly, during two consecutive collection campaigns, field tests have been carried out on eight machines to identify the hot spots of the balers. The field tests have been carried out by continuous recording of temperatures of different mechanisms, during the packing of winter cereal straw and maize straw. As a result, on the fork brake of the compression chamber feeder have been recorded maximum temperatures of 190°C. In the same way, the temperatures reached by the components and mechanisms have been compared between different balers. The granulometry of the waste generated in the packaging process has also been categorized to correlate them with their ignition point (250°C). Without reaching any recorded temperature that reaches the ignition value of the smallest waste (<250 µm). These waste have been the most abundant in balers. Finally, a field test has been developed on the evolution of the baler's temperatures according to the workload to which it is subjected. Concluding that the pick-up shaft bearing and the fork brake increase its working temperature as the baler processes more straw, however, the hydraulic pump is not correlation from the baler's workload.

Key words: large prismatic bales; agricultural machinery; straw; temperature sensor; fork brake; working load; packaging waste.

Índice

ÍNDICE DE FIGURAS.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 INCENDIOS FORESTALES.....	9
1.1.1 Peligro y origen de incendio.....	11
1.1.2 Riesgo y propagación de incendio	12
1.1.3 Maquinaria agrícola e incendio	13
1.2 EMPACADORAS AGRÍCOLAS.....	15
1.2.1 Componentes de una macroempacadora.....	15
1.2.2 Mantenimiento de una macroempacadora.....	18
1.2.3 Condicionantes de las empacadoras relacionados con la seguridad.....	19
1.3 PARQUE ACTUAL DE EMPACADORAS EN ESPAÑA Y ARAGÓN.....	21
1.3.1 Análisis descriptivo del parque de empacadoras.....	21
1.3.2 Análisis paramétrico del parque de empacadoras.....	25
2. MATERIAL Y MÉTODOS	29
2.1 ENCUESTA A USUARIOS Y PROPIETARIOS DE EMPACADORAS.....	29
2.2 REGISTROS DE TEMPERATURA DE EMPACADORAS EN CONDICIONES DE CAMPO	29
2.2.1 Sensores utilizados.....	30
2.2.2 Campaña de paja de trigo y cebada	32
2.2.3 Campaña de paja de maíz	35
2.3 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA CANTIDAD DE PRODUCTO PROCESADO SOBRE EL RIESGO DE INCENDIO ...	37
2.3.1 Localización del ensayo.....	38
2.3.2 Metodología del ensayo	39
2.4 ANÁLISIS DE LOS RESIDUOS EN LAS EMPACADORAS.....	39
2.4.1 Recogida de muestra	40
2.4.2 Evaluación de la distribución del tamaño de partícula.	40
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
3.1 RESULTADOS DE LA ENCUESTA	42
3.1.1 Representación de los fabricantes en las encuestas.....	43



3.1.2	Determinación de las zonas de origen de incendio.....	44
3.1.3	Análisis del desgaste de la máquina en función de las pacas realizadas por la empacadora	44
3.1.4	Análisis de la relación entre variables e incendio	45
3.1.1	Análisis del mantenimiento realizado en las empacadoras en función de las pacas realizadas al año.....	49
3.2	RESULTADOS DE LOS REGISTROS DE TEMPERATURA DE LA CAMPAÑA DE TRIGO Y CEBADA	50
3.2.1	Resultados descriptivos.....	50
3.2.2	Análisis paramétrico de los resultados	52
3.2.1	Análisis de los registros de la misma empacadora en dos campañas	61
3.3	RESULTADOS DE LOS REGISTROS DE TEMPERATURA DE LA CAMPAÑA DE MAÍZ.....	64
3.4	RESULTADOS DE LA INFLUENCIA DE LA CANTIDAD DE PRODUCTO PROCESADO SOBRE EL RIESGO DE INCENDIO ..	67
3.4.1	Análisis descriptivo	67
3.4.2	Análisis estadístico de los resultados.....	69
3.5	ANÁLISIS DE LOS RESIDUOS EN LAS EMPACADORAS.....	73
3.5.1	Distribución del tamaño de partícula	73
3.5.2	Potencial de ignición de los residuos	76
3.5.3	Comparación del potencial de ignición de los residuos con los registros de temperatura obtenidos	78
4.	CONCLUSIONES.....	81
5.	BIBLIOGRAFÍA	83

Índice de Figuras

FIGURA 1. DE IZQUIERDA A DERECHA, EMPACADORA DE PISTÓN, EMPACADORA ROTATIVA Y EMPACADORA DE MACROPACAS. FUENTE: MASSEY FERGUSON (2021); KRONE (2021); NEW HOLLAND (2021).	15
FIGURA 2. IZQUIERDA, PISTÓN ENCARGADO DEL PRENSADO DEL MATERIAL A EMPACAR. DERECHA, CANAL DE COMPRESIÓN DE LA EMPACADORA. FUENTE: MASSEY FERGUSON (2021).	16
FIGURA 3. CUERPO DE LA EMPACADORA CON GRUPO MECÁNICO, PRECÁMARA Y CÁMARA DE COMPRESIÓN. RESALTADO EL DETALLE DE LAS HORQUILLAS DE ALIMENTACIÓN DESDE PRECÁMARA A CÁMARA DE COMPRESIÓN. FUENTE: MASSEY FERGUSON (2021).	16
FIGURA 4. ALIMENTADOR PICK-UP CON PICADOR. FUENTE: MASSEY FERGUSON (2021).	17
FIGURA 5. (IZQUIERDA) SISTEMA DE ANUDADO COMPUESTO POR SEIS ATADORES. (DERECHA) SISTEMA DE SOPLADO PARA LIMPIEZA CONSTANTE DE LOS ATADORES, MEDIANTE VENTILADOR RADIAL. FUENTE: MASSEY FERGUSON (2021).	17
FIGURA 6. ESQUEMA GENERAL CON LOS COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA EMPACADORA DE GRANDES PACAS PRISMÁTICAS. FUENTE: MÁRQUEZ (2009).	18
FIGURA 7: A) PICK-UP TRAS REVISIÓN Y REPARACIÓN; B) VOLANTE DE INERCIA Y EMBRAGUE; C) DEDOS DEL ALIMENTADOR REVISADOS; D) DETALLE DE UN COJINETE. FUENTE: (GARCÍA-RAMOS Y BONÉ-GARASA, 2007).	19
FIGURA 8. DISTRIBUCIÓN DE EMPACADORAS POR TIPOLOGÍAS Y COMUNIDAD AUTÓNOMA EN ESPAÑA DURANTE EL PERIODO 1950-2019. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DEL ROMA.	22
FIGURA 9. CENSO REAL DE MACROEMPACADORAS EN ESPAÑA Y ARAGÓN DURANTE EL PERIODO 1950-2019. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DEL ROMA.	22
FIGURA 10. DISTRIBUCIÓN POR TIPOLOGÍA Y FABRICANTE DE EMPACADORAS EN ESPAÑA DURANTE EL PERIODO 1950-2019. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DEL ROMA.	23
FIGURA 11. DISTRIBUCIÓN DE FABRICANTES DE MACROEMPACADORAS EN ARAGÓN DURANTE EL PERIODO 1950-2019. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DEL ROMA.	24
FIGURA 12. EVOLUCIÓN TEMPORAL DEL TIPO DE EMPACADORAS EN ESPAÑA DURANTE EL PERIODO 1950-2019. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DEL ROMA.	24
FIGURA 13. ANTIGÜEDAD MEDIA (AÑOS) Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS EMPACADORAS CENSADAS EN ESPAÑA PARA EL PERIODO 1980-2019. VALORES CON ASTERISCO MUESTRAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ($P < 0,05$) CON RESPECTO A LA TIPOLOGÍA MACROEMPACADORAS EN BASE A LA REGRESIÓN DE POISSON. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DEL ROMA.	25
FIGURA 14. ANTIGÜEDAD MEDIA (AÑOS) Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS MACROEMPACADORAS CENSADAS POR COMUNIDAD AUTÓNOMA EN ESPAÑA PARA EL PERIODO 1980-2019. VALORES CON ASTERISCO MUESTRAN DIFERENCIAS	

SIGNIFICATIVAS ($P < 0,05$) CON RESPECTO A LA COMUNIDAD DE ARAGÓN EN BASE A LA REGRESIÓN DE POISSON (ROJO: VALORES SIGNIFICATIVAMENTE SUPERIORES; VERDE: VALORES SIGNIFICATIVAMENTE INFERIORES). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DEL ROMA.	26
FIGURA 15. ANTIGÜEDAD MEDIA (AÑOS) Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS MARCAS DE MACROEMPACADORAS EN ESPAÑA PARA EL PERIODO 1980-2019. VALORES CON ASTERISCO MUESTRAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ($P < 0,0001$) CON RESPECTO A LA MARCA MÁS REPRESENTATIVA (NEW HOLLAND) EN BASE A LA REGRESIÓN DE POISSON (ROJO: VALORES SIGNIFICATIVAMENTE SUPERIORES; VERDE: VALORES SIGNIFICATIVAMENTE INFERIORES). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DEL ROMA.	27
FIGURA 16. ANTIGÜEDAD MEDIA (AÑOS) Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS EMPACADORAS CENSADAS EN ARAGÓN PARA EL PERIODO 1980-2019. VALORES CON ASTERISCO MUESTRAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ($P < 0,05$) CON RESPECTO A LA TIPOLOGÍA MACROEMPACADORAS EN BASE A LA REGRESIÓN DE POISSON (ROJO: VALORES SIGNIFICATIVAMENTE SUPERIORES; VERDE: VALORES SIGNIFICATIVAMENTE INFERIORES). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DEL ROMA.	27
FIGURA 17. ANTIGÜEDAD MEDIA (AÑOS) Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS MACROEMPACADORAS CENSADAS EN ARAGÓN POR PROVINCIAS PARA EL PERIODO 1980-2019. VALORES CON ASTERISCO MUESTRAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ($P < 0,05$) CON RESPECTO A LA ANTIGÜEDAD EN BASE A LA REGRESIÓN DE POISSON (VERDE: VALORES SIGNIFICATIVAMENTE INFERIORES). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DEL ROMA.....	28
FIGURA 18. ANTIGÜEDAD MEDIA (AÑOS) Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS MARCAS EN ARAGÓN PARA EL PERIODO 1980-2019. VALORES CON ASTERISCO MUESTRAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ($P < 0,05$) CON RESPECTO A LA MARCA MÁS REPRESENTATIVA (NH) EN BASE A LA REGRESIÓN DE POISSON (ROJO: VALORES SIGNIFICATIVAMENTE SUPERIORES; VERDE: VALORES SIGNIFICATIVAMENTE INFERIORES). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DEL ROMA.	28
FIGURA 19. (IZQUIERDA) INDICADOR/DATALOGGER PORTÁTIL. (DERECHA) TERMOPAR TIPO K DE AISLAMIENTO MINERAL. ...	31
FIGURA 20. (IZQUIERDA) SOFTWARE HOBOWARE PRO Y PUERTO USB ÓPTICO. (DERECHA) Sonda de temperatura y humedad (Hobo Pro v2).	32
FIGURA 21. (IZQUIERDA) DETALLE TERMOPAR TIPO K SITUADO EN EL FRENO DE LA HORQUILLA DE ALIMENTACIÓN. (DERECHA) COLOCACIÓN Sonda HOBO EN EL EXTERIOR DE LA EMPACADORA.	35
FIGURA 22. EMPACADORA FENDT 1270 N EMPACANDO PAJA DE MAÍZ.	37
FIGURA 23. ORTOFOTO DE LA PARCELA CIRCULAR EN LA QUE SE HA REALIZADO EL ENSAYO.....	39
FIGURA 24. (IZQUIERDA) ACUMULACIÓN DE RESIDUO EN EL CHASIS DE LA EMPACADORA. (DERECHA) ACUMULACIÓN DE RESIDUO EN UNA JUNTA DE CARDAN PARA TRANSMISIÓN DE POTENCIA A LOS SOPLADORES DE LOS ATADORES. ...	40
FIGURA 25. DE IZQUIERDA A DERECHA, TAMICES CON APERTURA DE MALLA 4 mm, 2 mm, 1 mm, 500 μ m y 250 μ m con sus respectivos residuos y resto de residuo inferior a 250 μ m.	41
FIGURA 26. MUESTRAS DE LOS 6 TAMAÑOS TAMIZADOS. A) <250 μ m; B) 250 μ m; C) 500 μ m; D) 1 mm; E) 2 mm; F) 4 mm.	41
FIGURA 27. FABRICANTES DE EMPACADORAS REGISTRADAS EN LA ENCUESTA.	43
FIGURA 28. FABRICANTES DE EMPACADORAS CON REGISTRO DE INCENDIO EN LA ENCUESTA.	43

FIGURA 29. ZONAS DE ORIGEN DE INCENDIO REGISTRADAS EN LA ENCUESTA (ZONA, Nº DE MÁQUINAS, % RESPECTO AL TOTAL).	44
FIGURA 30. NÚMERO DE PACAS ACUMULADAS E INTERVALO DE CONFIANZA 95% EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE PACAS AL AÑO QUE REALIZA LA EMPACADORA.	45
FIGURA 31. ANTIGÜEDAD MEDIA DE LA EMPACADORA (AÑOS) E INTERVALO DE CONFIANZA 95% EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE PACAS AL AÑO QUE REALIZA.	45
FIGURA 32. Nº EMPACADORAS QUE HAN SUFRIDO INCENDIO EN FUNCIÓN DEL USO DE RASTRILLO	46
FIGURA 33. DISTRIBUCIÓN DE LAS PACAS ACUMULADAS EN LAS EMPACADORAS SEGÚN EL USO DE RASTRILLO.	47
FIGURA 34. PROMEDIO DE PACAS REALIZADAS AL AÑO E INTERVALO DE CONFIANZA 95%, EN FUNCIÓN DEL USO DEL RASTRILLO EN LA EMPACADORA.	47
FIGURA 35. DISTRIBUCIÓN DE MÁQUINAS QUE NO HAN SUFRIDO INCENDIO FRENTE A LAS MÁQUINAS QUE SÍ LO HAN SUFRIDO EN FUNCIÓN DE LAS PACAS QUE REALIZAN AL AÑO.	48
FIGURA 36. DISTRIBUCIÓN DE MÁQUINAS QUE NO HAN SUFRIDO INCENDIO FRENTE A LAS MÁQUINAS QUE SÍ LO HAN SUFRIDO EN FUNCIÓN DE LAS PACAS ACUMULADAS DURANTE SU VIDA ÚTIL.	48
FIGURA 37. PROMEDIO DE PACAS REALIZADAS AL AÑO E INTERVALO DE CONFIANZA 95%, EN FUNCIÓN DEL MANTENIMIENTO REALIZADO EN LA EMPACADORA.	49
FIGURA 38. TEMPERATURA MEDIA (°C) \pm I.C. 95%, DE LOS DIFERENTES MECANISMOS REGISTRADOS EN CADA UNA DE LAS EMPACADORAS MONITORIZADAS.	52
FIGURA 39. TEMPERATURA MEDIA (°C) E INTERVALO DE CONFIANZA 95% REGISTRADA EN EL CANAL DE COMPRESIÓN DE LOS MODELOS DE EMPACADORAS MONITORIZADAS. LETRAS DIFERENTES MUESTRAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TEMPERATURAS ($p < 0,05$; ANOVA DE KRUSKAL-WALLIS).	54
FIGURA 40. TEMPERATURA MEDIA (°C) E INTERVALO DE CONFIANZA 95% REGISTRADA EN EL COJINETE DEL EJE DE FUERZA DEL PICK-UP DE LOS MODELOS DE EMPACADORAS MONITORIZADAS. LETRAS DIFERENTES MUESTRAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TEMPERATURAS ($p < 0,05$; ANOVA DE KRUSKAL-WALLIS).	55
FIGURA 41. TEMPERATURA MEDIA (°C) E INTERVALO DE CONFIANZA 95% REGISTRADA EN LA BOMBA HIDRÁULICA DE LOS MODELOS DE EMPACADORAS MONITORIZADAS. LETRAS DIFERENTES MUESTRAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TEMPERATURAS ($p < 0,05$; ANOVA DE KRUSKAL-WALLIS).	55
FIGURA 42. TEMPERATURA MEDIA (°C) E INTERVALO DE CONFIANZA 95% REGISTRADA EN EL FRENO DE LA HORQUILLA DE LOS MODELOS DE EMPACADORAS MONITORIZADAS. LETRAS DIFERENTES MUESTRAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TEMPERATURAS ($p < 0,05$; ANOVA DE KRUSKAL-WALLIS).	56
FIGURA 43. TEMPERATURA MEDIA (°C) E INTERVALO DE CONFIANZA 95% REGISTRADA EN LA TRANSMISIÓN AL PICK-UP DE LOS MODELOS DE EMPACADORAS MONITORIZADAS. LETRAS DIFERENTES MUESTRAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TEMPERATURAS ($p < 0,05$; ANOVA DE KRUSKAL-WALLIS).	57
FIGURA 44. TEMPERATURA MEDIA (°C) E INTERVALO DE CONFIANZA 95% REGISTRADA EN LOS MECANISMOS DE LA EMPACADORA CLAAS QUADRANT 5200 FC. LETRAS DIFERENTES MUESTRAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TEMPERATURAS ($p < 0,05$; ANOVA DE KRUSKAL-WALLIS).	58

FIGURA 45. TEMPERATURA MEDIA (°C) E INTERVALO DE CONFIANZA 95% REGISTRADA EN LOS MECANISMOS DE LA EMPACADORA FENDT 1270 N. LETRAS DIFERENTES MUESTRAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TEMPERATURAS ($p < 0,05$; ANOVA DE KRUSKAL-WALLIS).	58
FIGURA 46. TEMPERATURA MEDIA (°C) E INTERVALO DE CONFIANZA 95% REGISTRADA EN LOS MECANISMOS DE LA EMPACADORA NH BIG BALER 1270 PLUS. LETRAS DIFERENTES MUESTRAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TEMPERATURAS ($p < 0,05$; ANOVA DE KRUSKAL-WALLIS).	59
FIGURA 47. TEMPERATURA MEDIA (°C) E INTERVALO DE CONFIANZA 95% REGISTRADA EN LOS MECANISMOS DE LA EMPACADORA NH Bb 9070. LETRAS DIFERENTES MUESTRAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TEMPERATURAS ($p < 0,05$; ANOVA DE KRUSKAL-WALLIS).	60
FIGURA 48. TEMPERATURA MEDIA (°C) E INTERVALO DE CONFIANZA 95% REGISTRADA EN LOS MECANISMOS DE LA EMPACADORA BIG BALER 1270 PLUS. LETRAS DIFERENTES MUESTRAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TEMPERATURAS ($p < 0,05$; ANOVA DE KRUSKAL-WALLIS).	60
FIGURA 49. TEMPERATURA MEDIA (°C) E INTERVALO DE CONFIANZA 95% REGISTRADA EN LOS MECANISMOS DE LA EMPACADORA CLAAS QUADRANT 2200. LETRAS DIFERENTES MUESTRAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TEMPERATURAS ($p < 0,05$; ANOVA DE KRUSKAL-WALLIS).	61
FIGURA 50. TEMPERATURAS MEDIAS \pm DESVIACIÓN ESTÁNDAR REGISTRADAS EN LOS DIFERENTES MECANISMOS DE LA EMPACADORA FENDT DURANTE LAS DOS CAMPAÑAS DE MONITORIZACIÓN.	62
FIGURA 51. TEMPERATURAS MEDIAS \pm DESVIACIÓN ESTÁNDAR REGISTRADAS EN LOS DIFERENTES MECANISMOS DE LA EMPACADORA NEW HOLLAND DURANTE LAS DOS CAMPAÑAS DE MONITORIZACIÓN.	62
FIGURA 52. TEMPERATURAS AMBIENTALES MEDIAS \pm DESVIACIÓN ESTÁNDAR REGISTRADAS POR LAS SONDAS EXTERIORES DE LAS EMPACADORAS DURANTE LAS DOS CAMPAÑAS DE MONITORIZACIÓN.	63
FIGURA 53. TEMPERATURA MEDIAS E INTERVALO DE CONFIANZA 95% DE LOS MECANISMOS DE LA EMPACADORA FENDT 1270 N, EN LA CAMPAÑA DEL MAÍZ. LETRAS DIFERENTES MUESTRAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TEMPERATURAS ($p < 0,05$; ANOVA DE KRUSKAL-WALLIS).	65
FIGURA 54. DISTRIBUCIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA AMBIENTAL DURANTE LAS CAMPAÑAS DE TRIGO Y CEBADA.	66
FIGURA 55. DISTRIBUCIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA AMBIENTAL DURANTE LAS CAMPAÑAS DE MAÍZ.	66
FIGURA 56. EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA REGISTRADA A LO LARGO DEL TIEMPO EN DISTINTOS COMPONENTES PARA UNA CARGA DE TRABAJO BAJA.	68
FIGURA 57. EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA REGISTRADA A LO LARGO DEL TIEMPO EN DISTINTOS COMPONENTES PARA UNA CARGA DE TRABAJO MEDIA.	69
FIGURA 58. EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA REGISTRADA A LO LARGO DEL TIEMPO EN DISTINTOS COMPONENTES PARA UNA CARGA DE TRABAJO ALTA.	69
FIGURA 59. TEMPERATURA MEDIA E INTERVALO DE CONFIANZA AL 95% DEL GRUPO DEL PICK-UP SEGÚN LAS DIFERENTES CARGAS DE TRABAJO. LETRAS DIFERENTES MUESTRAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TEMPERATURAS ($p < 0,05$; ANOVA DE KRUSKAL-WALLIS).	70

FIGURA 60. TEMPERATURA MEDIA E INTERVALO DE CONFIANZA AL 95% DEL FRENO DE LA HORQUILLA SEGÚN LAS DIFERENTES CARGAS DE TRABAJO. LETRAS DIFERENTES MUESTRAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TEMPERATURAS ($P < 0,05$; ANOVA DE KRUSKAL-WALLIS).	71
FIGURA 61. TEMPERATURA MEDIA E INTERVALO DE CONFIANZA AL 95% DE LA BOMBA HIDRÁULICA SEGÚN LAS DIFERENTES CARGAS DE TRABAJO. LETRAS DIFERENTES MUESTRAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TEMPERATURAS ($P < 0,05$; ANOVA DE KRUSKAL-WALLIS).	71
FIGURA 62. LÍNEAS DE TENDENCIA Y ECUACIONES DE EVOLUCIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES DE LA TEMPERATURA PARA CADA RANGO.	72
FIGURA 63. PROMEDIO DE LOS RESULTADOS DE LOS 6 TAMAÑOS TAMIZADOS. A) 4 MM; B) 2 MM; C) 1 MM; D) 500 μM ; E) 250 μM ; F) <250 μM	75
FIGURA 64. PORCENTAJE DEL PESO DE LOS RESULTADOS DE LOS 6 TAMAÑOS TAMIZADOS RESPECTO EL TOTAL DE LA MUESTRA.	75
FIGURA 65. REPRESENTACIÓN DE LA TEMPERATURA DE IGNICIÓN EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE MUESTRA PARA TRES ESPESORES DE MUESTRA (SUPERIOR) Y DEL ESPESOR DE LA MUESTRA PARA TRES TAMAÑOS DE PARTÍCULA (INFERIOR). FUENTE: VAL AGUASCA ET AL. (2019).....	77
FIGURA 66. MANTENIMIENTO DIARIO DE LA EMPACADORA.	80

Índice de Tablas

TABLA 1. DATOS DE INCENDIOS FORESTALES PUBLICADOS POR EL MAPA, A OCTUBRE DE 2021. (MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN, 2021).	10
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DE LAS EMPACADORAS MONITORIZADAS EN LA CAMPAÑA 2020 Y 2021.	34
TABLA 3. LOCALIZACIÓN DE LAS SONDAS DE TEMPERATURA EN LOS 9 REGISTROS REALIZADOS EN LAS EMPACADORAS.	34
TABLA 4. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA ENCUESTA.....	42
TABLA 5. TABLA DE FRECUENCIAS PARA LAS VARIABLES PACAS/AÑO Y PACAS ACUMULADAS.....	49
TABLA 6. TEMPERATURAS REGISTRADAS DURANTE LAS CAMPAÑAS DE 2020 Y 2021 EN LAS EMPACADORAS MONITORIZADAS EN CONDICIONES DE CAMPO. LAS CONDICIONES AMBIENTALES SE REFIEREN A LA TEMPERATURA MÁXIMA.	50
TABLA 7. CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE LAS TEMPERATURAS OBTENIDAS DE LOS REGISTROS DE LOS MECANISMOS DE LAS EMPACADORAS Y LA TEMPERATURA AMBIENTE EN EL MOMENTO DEL REGISTRO.....	64
TABLA 8. TEMPERATURAS REGISTRADAS DURANTE LAS CAMPAÑAS DE 2020 Y 2021 EN LAS EMPACADORAS MONITORIZADAS EN CONDICIONES DE CAMPO.	64
TABLA 9. Nº PACAS PROCESADAS Y CARGA DE TRABAJO (KG/MIN) DE LA EMPACADORA EN FUNCIÓN DE LOS DIFERENTES RANGOS DE VELOCIDAD.....	67
TABLA 10. CARACTERIZACIÓN GRANULOMÉTRICA DEL RESIDUO DE LAS DISTINTAS ZONAS DE LA MÁQUINA.....	74
TABLA 11. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE AUTOINFLAMACIÓN DE PLACAS CALIENTES DE CAPAS DE RESIDUO DE TRIGO SEGÚN UNE-EN ISO/IEC 80079-20-2:2016. FUENTE: VAL-AGUASCA ET AL. (2019).	78






1. INTRODUCCIÓN

1.1 Incendios forestales

Los incendios forestales no están exclusivamente relacionados con la actividad de la maquinaria agrícola, pero existen casos contrastados que han sido consecuencia de la misma. Este tipo de incendios suponen una amenaza grave debido a las consecuencias que originan: consecuencias respecto a la destrucción de patrimonio medioambiental, bienes materiales o incluso vidas humanas. Además de las pérdidas asociadas a las cosechas de los cultivos, tras la devastación del incendio, se acentúa también la pérdida de la capacidad productiva del suelo, reduciéndose la producción en torno a un 35-45% (Bragachini et al., 2013).

Las consecuencias de los incendios forestales afectan tanto a la vegetación como a la fauna. En concreto, por la muerte de especies vegetales y animales, reducción de la biodiversidad y desaparición de organismos de gran importancia para el ecosistema. También tras el paso del incendio, el suelo queda más vulnerable a la erosión superficial por los agentes climáticos. Por estos motivos, un incendio puede suponer grandes pérdidas para los seres humanos y para la economía.

Existen diferentes causas por las que los incendios son originados. De forma general podemos clasificarlas en cinco grandes grupos:

-  Negligencia y accidente (quemadas agrícolas, motores y máquinas, hogueras).
-  Intencionados.
-  Naturales (rayos).
-  Desconocidos.
-  Reproducción de incendio.

El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) publica boletines informativos mensuales, exceptuando la época de verano (1 de junio - 15 de octubre) en la que tienen periodicidad semanal. En estos boletines se incluye información sobre el número de incendios, superficies afectadas (arbolada/no arbolada) y su causalidad.

Desde el año 2011, en España se producen una media anual de 7.049 conatos de incendios y 3.447 incendios (≥ 1 ha), sumando un total de 10.496 siniestros. De

la totalidad de siniestros, el 0,2% son grandes incendios (más de 500 ha), registrándose una media de 21 grandes incendios por año. Esto supone una media de 164.495,56 ha devastadas por el fuego al año, el 0,3% de la superficie nacional. Atendiendo a las causas de los incendios, se observa que el 54% de los incendios han sido intencionados, el 26% debidos a una negligencia/accidente y un 13% de causa desconocida. Si se analizan las causas de negligencia/accidente, se aprecia que la mayoría de los incendios son debidos a la quema agrícola y a motores y máquinas. Estos últimos representan de media un 3,18% de los incendios totales.

Tabla 1. Datos de incendios forestales publicados por el MAPA, a octubre de 2021. (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2021).

AÑO	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	MEDIA
Nº CONATOS (< 1 ha)	9.214	10.134	6.805	6.242	7.017	5.814	7.405	4.742	8.111	5.010	70.149
Nº INCENDIOS (≥ 1 ha)	4.578	5.352	2.623	3.043	3.184	2.130	4.593	1.799	4.662	2.505	3.447
TOTAL SINIESTROS	13.792	15.486	9.428	9.285	10.201	7.944	11.998	6.541	12.773	7.515	10.496
SUP. FORESTAL % SUP AFECTADA/ SUP. NACIONAL	62.371	216.081	55.173	47.200	79.353	64.625	111.647	23.967	97.969	64.273	82.248
Nº GRANDES INCENDIOS	0,224	0,777	0,198	0,170	0,285	0,232	0,401	0,086	0,352	0,231	0,296
	21	41	16	7	14	21	55	3	14	17	21

En Aragón, entre el año 2001 y el 2019 se han producido 7.544 incendios, lo que supone una media de 397 incendios al año. Respecto a este número de incendios, un 79% de media son conatos de incendio. En total, desde 2001, la superficie forestal quemada en Aragón asciende a 59.284,41 ha, siendo la causa más importante de dichos incendios las negligencias/accidentes con un 47% de los mismos. Respecto a causas relacionadas con maquinaria agrícola, se tiene constancia de que el 8% del total de incendios se deben a este motivo.

Estos datos avalan que, tanto las negligencias como los accidentes, tienen gran importancia sobre el origen de incendio, eventos que pueden ser únicamente conatos o acabar en grandes incendios. Estas causas aplicadas a la maquinaria agrícola deben ser estudiadas, detectando los posibles riesgos de incendio que presentan para impedir que escapen de control, por medio de medidas preventivas.

1.1.1 Peligro y origen de incendio

El peligro se define como aquella situación en la cual aumenta la inminencia del daño, es decir, en la que existe la posibilidad, amenaza u ocasión de que ocurra una lesión o enfermedad, daño a la propiedad y/o paralización de un proceso (RAE, 2001). En el contexto de este trabajo, el peligro consiste en que se encuentren a la vez los agentes necesarios para que el inicio de la combustión se produzca y origine un fuego. Para que se inicie un proceso de combustión son necesarios tres agentes, un combustible, un foco caliente que eleve la temperatura del combustible hasta su valor de ignición y presencia de oxígeno (comburente). Para que se produzca un incendio debe existir la posibilidad de propagación del fuego, (Quick, 2010), de lo contrario hablaremos de conato de incendio.

En maquinaria agrícola, el foco caliente sería toda aquella superficie que eleve su temperatura lo suficiente como para alcanzar la temperatura de ignición del combustible. Puede ser una zona de la máquina protegida del contacto con el combustible, o puede ser una zona que experimente un aumento térmico debido a un evento extraño, como mecanismos en mal estado que originen rozamientos indebidos.

El material combustible sería todo aquel material que estuviese en contacto con el foco caliente. En el caso objeto de estudio de las máquinas empacadoras, es el residuo del cultivo que se está empacando, es decir, una mezcla de polvo y paja de pequeño tamaño que se acumula en distintas partes de la máquina. Es necesario conocer la temperatura de ignición para poder determinar el riesgo de incendio que presenta el combustible. Pudiendo variar en función de la naturaleza del polvo, el grosor de la capa y el tamaño de las partículas (Eckhoff, 2009).

Existen diversos trabajos que relacionan la naturaleza (composición y características químicas) de ciertos tipos de biomasa con la temperatura de ignición. García-Torrent et al. (2018) compararon distintos tipos de biomasa, entre las que se incluye la paja de trigo. Los resultados de ese estudio sugieren que el contenido de lignina tiene una influencia en el riesgo de autoignición, de modo que un mayor contenido de lignina implica un mayor riesgo de autoignición, que sería más importante que el asociado a la materia volátil. Respecto a la compactación del residuo, Fernández-Anez y García-Torrent (2019) concluyeron que la compactación favorece la autoignición solamente para algunos materiales: en el caso de la paja de trigo, la compactación no modificó la temperatura de ignición.

Polin et al. (2013), compararon muestras de polvo de maíz y de girasol con distintos tamaños (63-25 μm , 150-63 μm , 300-150 μm , 710-300 μm). Los resultados mostraron que la temperatura de ignición disminuye con la disminución del tamaño de las partículas de polvo, tanto para las muestras de maíz como de girasol, por lo que los polvos más finos presentan mayor riesgo de ignición. El mismo estudio concluye que, además del tamaño de las partículas, las características físicas de las muestras también afectan a la temperatura de ignición de dichas muestras. Una mayor superficie específica [m^2/g] disminuye la temperatura de ignición, pues una mayor superficie permite una transferencia de calor más rápida desde la placa caliente a las partículas de polvo. Un mayor volumen de poros disminuye la temperatura de ignición de la biomasa, ya que permite que un mayor volumen de aire se difunda fácilmente en el núcleo interno de la partícula, permitiendo así que el oxígeno reaccione mejor con la biomasa para lograr la combustión. En relación con el efecto del espesor de la capa de material combustible sobre la temperatura de ignición, los autores observaron que, para un mismo tamaño de partícula, la temperatura de ignición disminuía con el espesor, corroborando que a mayor espesor se requiere menor temperatura de ignición.

El producto empacado, convencionalmente conocido y de aquí en adelante denominado como paca, también posee un cierto riesgo de incendio que debe ser controlado. Gay (2003) expone que el grado de humedad del heno tiene un efecto importante en la actividad microbiana, la cual puede provocar incendios de la paca por fermentación. Por lo tanto, se debe empacar considerando el adecuado grado de humedad del producto, con un porcentaje menor al 18% en grandes pacas prismáticas.

1.1.2 Riesgo y propagación de incendio

Se entiende por riesgo a la contingencia o proximidad de un daño, es decir, la probabilidad de que se sufra un perjuicio o daño consecuente de la exposición a un peligro (RAE, 2001). En el ámbito que nos compete, el riesgo consiste en la probabilidad de que se inicie una combustión. Una vez iniciada, existe el riesgo de que se consolide si no es posible controlarla y sofocarla. Posteriormente, el riesgo consistiría en la evolución a un incendio. En este trabajo, se estudiará el riesgo más primitivo, el inicio de la combustión en función de los peligros foco caliente y combustible.

Una vez iniciada la combustión, para que ésta se propague son fundamentales las condiciones ambientales y del cultivo, las cuales pueden favorecer o dificultar el

proceso. Principalmente son cuatro los factores que condicionarán dicha propagación: la humedad relativa, la temperatura ambiente, la velocidad del viento, y el tipo y condición de cultivo. La temperatura ambiente, según diferentes estudios se puede considerar la más influyente (Quick, 2010; Cardil et al., 2014).

Debido a la necesidad del control mencionado, en distintos países han ido surgiendo diferentes índices de riesgo de incendio en función de las condiciones ambientales. Mediante estos índices se pretende tener una pauta preventiva basada en los factores ambientales de cara a la propagación de los incendios. En España se utiliza el FWI (*Fire Weather Index*). La página web de AEMET publica diariamente el índice de riesgo de incendio para toda España. El FWI valora el riesgo de inicio de incendio y su posible comportamiento, a partir de la temperatura, el viento y la humedad de los combustibles. El nivel de riesgo se determina a partir de una escala con 5 categorías (bajo, moderado, alto, muy alto y extremo). Por ejemplo, en el caso de Aragón se calcula un índice de riesgo diario clasificándolo en 4 categorías (baja, media, alta y extrema). Este riesgo de incendio puede ser máximo si se cumple la *regla del 30*, es decir, cuando se dan a la vez las siguientes condiciones meteorológicas: temperatura > 30 °C, viento > 30 km/h, humedad relativa del aire < 30%.

1.1.3 Maquinaria agrícola e incendio

Algunos tipos de maquinaria agrícola son más susceptibles a sufrir incendios debido a su modo de trabajo y época del año en la que realizan su actividad. Principalmente, dos de las máquinas más afectadas son las cosechadoras de cereal y las empacadoras.

Para el caso de las cosechadoras de cereal, Quick (2010) enumera una serie de zonas potenciales para la generación del incendio. En resumen, estas zonas son: el motor y los conductos de salida de gases de combustión, las transmisiones, los cojinetes, los frenos, los cortocircuitos eléctricos y otros elementos. La introducción de objetos extraños en la máquina puede ser otro posible riesgo de incendio.

En este mismo tipo de máquinas, Val-Aguasca et al. (2019) concluyeron que la acumulación de superficie cosechada por la máquina tiene una influencia estadísticamente significativa sobre el riesgo de incendio, siendo a partir de las 6.000 ha acumuladas cuando el riesgo de incendio aumenta considerablemente. El perfil de máquinas con mayor riesgo correspondería a máquinas con más de 6.000 ha acumuladas, potencia media de 254 CV, antigüedad de 17 años y 492 ha trabajadas

al año. En cuanto a las zonas de mayor riesgo dentro de la cosechadora, se realizó una encuesta a usuarios de este tipo de máquinas que habían experimentado casos de incendios, según la cual, un 32% de los incendios tuvieron su origen en la zona del motor, frente a un 31% en la barra de corte y un 18% en los cojinetes y correas. Según los autores, el uso del picador no tiene una influencia significativa sobre el riesgo de incendio. En pruebas realizadas *in situ* por los mismos autores sobre las tres zonas clave mencionadas, se detectaron temperaturas de hasta 300 °C en la zona del motor, más concretamente en el colector de escape. En la barra de corte, una cuchilla trabajando en condiciones de rozamiento alcanzó temperaturas superiores a los 400 °C. Dichas temperaturas, junto con la acumulación de residuo agrícola procedente de la cosecha de cereales, supondrían un alto riesgo de inicio de combustión.

En Estados Unidos, el grupo de Shutske (Shutske y Field, 1988; Shutske et al., 1990), investigaron más de 4.000 incendios en cosechadoras y tractores, pudiendo acceder en 265 casos a las máquinas incendiadas para realizar sobre ellas un estudio detallado. En base a los datos obtenidos, los autores concluyeron que el 74% de los incendios se originaron en la zona del motor por diferentes causas (calentamiento de superficies, salida de gases de combustión y componentes eléctricos). También llegaron a la conclusión de que el material que inició el incendio generalmente fueron los residuos del cultivo recolectado, por delante de los restos de combustible y aceite.

En máquinas empacadoras los estudios realizados sobre el riesgo de incendio son escasos. Posiblemente debido a que trabajan en la misma época que las cosechadoras, pero sus condiciones de trabajo se realizan con mayor humedad relativa y por tanto con situaciones menos extremas, además de no ser máquinas autopropulsadas y por lo tanto carecer de motores de combustión. En el caso de los tractores agrícolas y los aperos utilizados para la recogida de la paja ocurre lo mismo que con el resto de máquinas, es decir, los elementos que trabajan con mayor rozamiento son los que, con más probabilidad, van a generar calentamientos u otros eventos, como la emisión de chispas, que pueden ocasionar incendio (Calderón-Cortés y Mateo-Fernández, 2017). En otro artículo, Inshakov (2012) expone la importancia de revisar los cojinetes de la maquinaria agrícola. Las condiciones de trabajo de estos componentes se caracterizan por una velocidad variable y diferentes regímenes de carga y temperatura. Esto supone una alta probabilidad de aparición de tensión de contacto máxima. Además, el funcionamiento de la maquinaria agrícola se lleva a cabo bajo la influencia de la humedad atmosférica y del suelo, además de gran cantidad de polvo. Esto puede provocar acumulaciones de impurezas en los

cojinetes o afectar a sus lubricaciones que conducirán a un desgaste abrasivo e intensivo.

Del mismo modo, en un estudio de Mickan (2013) se puede consultar información del riesgo de incendio en empacadoras atendiendo a diferentes consideraciones. Entre las principales consideraciones cita la importancia de cambiar los conjuntos de cojinetes cuando uno muestra signos de desgaste, ya que el cojinete en el extremo opuesto del eje al cojinete desgastado habrá sufrido también un mayor desgaste, aunque no presente síntomas. En este mismo estudio aborda otro riesgo importante derivado de una negligencia del operador cuando se constata un incendio en la cámara de pacas, o un cojinete humeante, sugiriendo no arrojar la paca de la cámara. Mientras se expulsa, la paca se expone repentinamente a mucho más aire y el material suelto en el interior y alrededor de la empacadora puede combustionar una vez que la paca se libera del canal de compresión y de la restricción de aire.

1.2 Empacadoras agrícolas

Las empacadoras agrícolas son máquinas diseñadas para la recogida y empaquetado de residuos de cereal secos o de forraje bien en verde bien henificado, durante las tareas de recolección. Existen tres tipologías principales, empacadoras de pistón de pequeñas pacas (pacas prismáticas), empacadoras rotativas (pacas cilíndricas) y empacadoras de macropacas (grandes pacas prismáticas).



Figura 1. De izquierda a derecha, empacadora de pistón, empacadora rotativa y empacadora de macropacas. Fuente: Massey Ferguson (2021); Krone (2021); New Holland (2021).

1.2.1 Componentes de una macroempacadora

Estas máquinas trabajan sobre el material a empacar previamente hilerado en un cordón. La base de la máquina es el canal de compresión, de sección cuadrada o rectangular, que se alimenta lateralmente y que es recorrido por un pistón en

movimiento alternativo, actuando como cierre posterior la fricción del forraje en las paredes de la cámara. Esta fricción se regula mediante cilindros hidráulicos, actuando sobre las paredes del canal de compresión electrónicamente, para mantener constante la densidad de la paca.

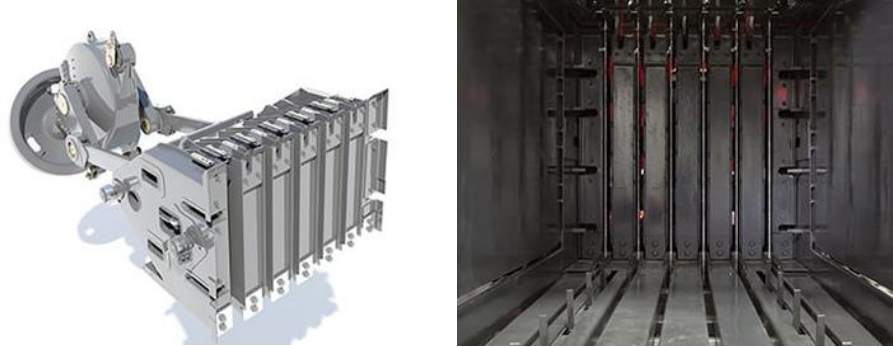


Figura 2. Izquierda, pistón encargado del prensado del material a empacar. Derecha, canal de compresión de la empacadora. Fuente: Massey Ferguson (2021).

El pistón es accionado por una biela unida a un volante que estabiliza por inercia el movimiento del conjunto. La alimentación se realiza desde un recogedor de dedos (pick-up) que eleva el material desde el suelo hasta la pre-cámara del canal de compresión. El objeto de la pre-cámara es acumular suficiente material para que se llene una capa completa de la cámara de compresión y la paca resulte con mayor homogeneidad y densidad uniforme. Esto es posible mediante el bloqueo del material hasta alcanzar la densidad suficiente. En ese momento, cierto mecanismo (habitualmente horquillas) hace que pase el material a la cámara de compresión por la que se desliza el pistón. Existen empacadoras sin pre-cámara, donde el llenado de la cámara de compresión es continuo directamente mediante el mecanismo desde el pick-up. La alimentación de la cámara se sincroniza con el movimiento del pistón.

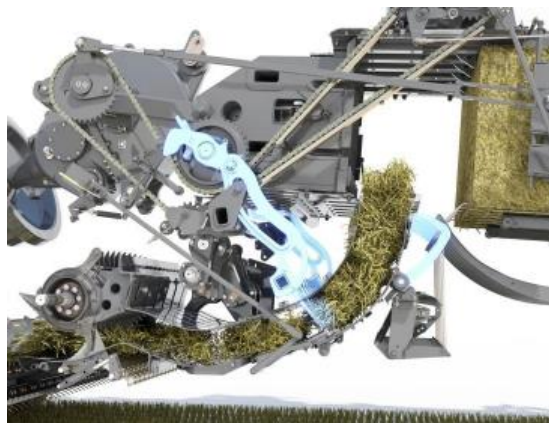


Figura 3. Cuerpo de la empacadora con grupo mecánico, precámara y cámara de compresión. Resaltado el detalle de las horquillas de alimentación desde precámara a cámara de compresión. Fuente: Massey Ferguson (2021).

Del mismo modo, existen máquinas con picador del residuo. Mediante este elemento se consigue reducir el tamaño del residuo y conseguir una homogeneidad y densidad mayor de la paca, aumentando su peso por el mejor aprovechamiento del espacio.

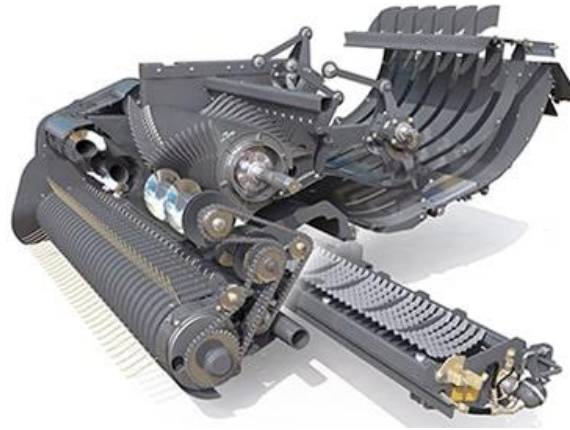


Figura 4. Alimentador pick-up con picador. Fuente: Massey Ferguson (2021).

El atado del paquete se realiza mediante hilo de alta resistencia alimentado por bobinas en el lateral de la máquina. El número de anudadores es variable en función de las dimensiones de la paca (4 a 6 hilos). Estos atadores pueden hacer un nudo doble o simple, según fabricantes. Las agujas con el hilo actúan para atravesar el canal de compresión hasta los anudadores que se encuentran en la parte superior. La longitud del atado de la paca se controla mediante una rueda dentada que apoya en la paca y desencadena el movimiento de los atadores a unas determinadas revoluciones de la misma.

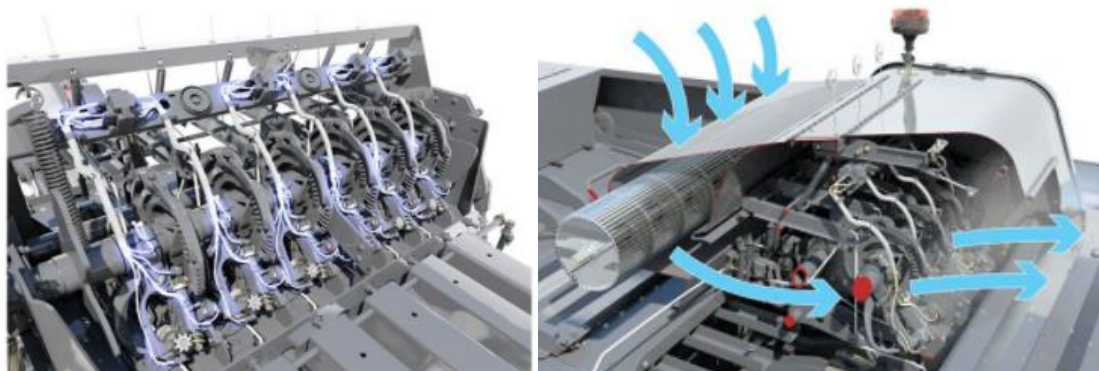


Figura 5. (Izquierda) Sistema de anudado compuesto por seis atadores. (Derecha) Sistema de soplado para limpieza constante de los atadores, mediante ventilador radial. Fuente: Massey Ferguson (2021).

El accionamiento de la empacadora se realiza con la toma de fuerza del tractor. La lubricación es habitualmente automática. El enganche, debido a la considerable masa de la empacadora, debe estar homologado por el marcado de la Comunidad Europea (CE), incluyendo la máquina frenos de estacionamiento y marcha. Cuentan

con monitores en cabina para permitir el control de la máquina desde el puesto de conducción del tractor, siguiendo el protocolo ISO-BUS, norma ISO 11783.

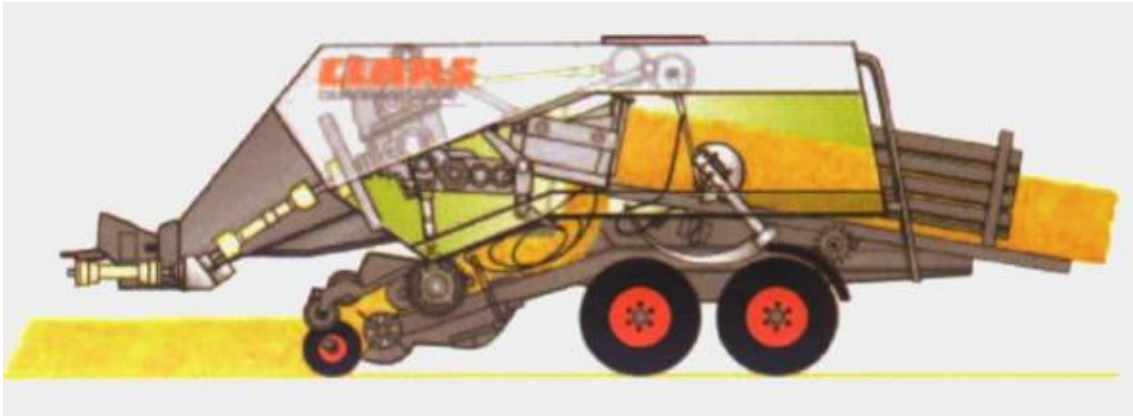


Figura 6. Esquema general con los componentes principales de una empacadora de grandes pacas prismáticas. Fuente: Márquez (2009).

1.2.2 Mantenimiento de una macroempacadora

Las macroempacadoras exigen un mantenimiento adecuado para poder optimizar su rendimiento y evitar la aparición de problemas que puedan ocasionar diferentes consecuencias en función del riesgo del mecanismo a mantener. Además, autores como Almonacid (2016), ponen de manifiesto que un correcto mantenimiento de la empacadora tiene una influencia muy marcada en la calidad de la paca, en su caso de estudio, para el posterior aprovechamiento energético del residuo empacado.

Según García-Ramos y Boné-Garasa (2007), cada 30.000 pacas realizadas, aproximadamente, una macroempacadora sería susceptible de realizar una revisión integral. Los principales elementos a revisar para realizar un mantenimiento adecuado serían:

- ✚ Pick-up: componente con un desgaste importante; es necesario revisar sus dedos y controlar la altura de trabajo respecto al suelo. De esta manera la recogida de producto por la empacadora será la correcta (Figura 7.a).
- ✚ Volante de inercia: se debe revisar el embrague y el freno del volante, así como el perno de seguridad (Figura 7.b).
- ✚ Alimentador cámara de compresión: se debe analizar desgaste de los dedos para impedir que el producto se quede alojado en la precámara (Figura 7.c).
- ✚ Elementos de transmisión: se deben revisar tanto las cadenas o correas de transmisión, como las ruedas dentadas. Se inspeccionan posibles desgastes que no permitan trasladar la fuerza desde el grupo a los diferentes mecanismos de la empacadora.

- ✚ Cojinetes: se supervisa que se encuentran en condiciones óptimas para evitar posibles riesgos como se ha comentado anteriormente (Figura 7.d).
- ✚ Sistema de atado: se comprueba el ajuste de las agujas y los dedos del hilo que realizan el movimiento del hilo hasta el pajarito anudador del atador. También se debe inspeccionar el brazo que se encarga de posicionar el hilo superior para ser recogido por las agujas y realizar el nudo.
- ✚ Sistemas hidráulicos y electrónicos: se debe comprobar que cada sistema actúa y está realizando su función correctamente.

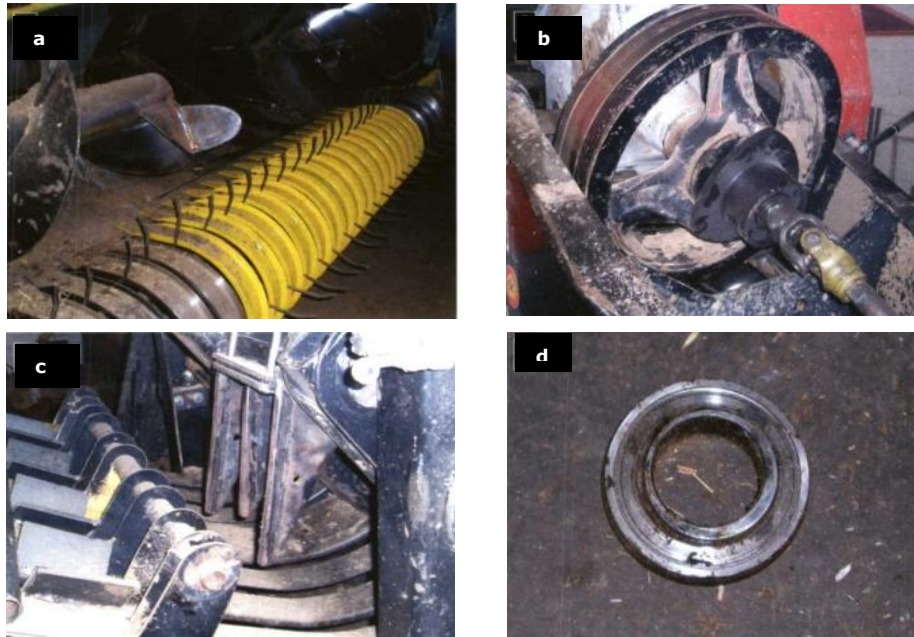


Figura 7: a) Pick-up tras revisión y reparación; b) Volante de inercia y embrague; c) Dedos del alimentador revisados; d) Detalle de un cojinete. Fuente: (García-Ramos y Boné-Garasa, 2007).

1.2.3 Condicionantes de las empacadoras relacionados con la seguridad

La seguridad en empacadoras no está exenta de normativas de distinta índole. Los fabricantes deben cumplir diferentes regulaciones relacionadas con la seguridad de la máquina. Concretamente, las siguientes:

- ✚ Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de mayo de 2006 relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 95/16/CE. También denominada "Directiva Máquinas".
- ✚ Norma UNE-EN ISO 4254-11:2018. Maquinaria agrícola. Seguridad. Parte 11: Empacadoras. (ISO 4254-11:2018).

La Directiva 2006/42/CE tiene el doble objetivo de armonizar los requisitos de salud y seguridad que se aplican a las máquinas sobre la base de un nivel elevado de protección de la salud y de la seguridad y, al mismo tiempo, garantizar la libre

circulación de las máquinas en el mercado de la UE. Los riesgos de seguridad y salud han sido estudiados y documentados por autores como Charlwood y Byard (2014), quienes citan tres casos de accidentes dramáticos con empacadoras, donde los sucesos ocurrieron cuando se intentó corregir un mal funcionamiento en la empacadora. Por esta razón la prevención es fundamental para evitar este tipo de sucesos. Langer et al. (2015) analizaron la influencia de la vibración longitudinal que crea el movimiento del pistón de la empacadora sobre el conductor del tractor. Un riesgo que ocasiona problemas físicos principalmente en la zona lumbar del operario. Concluyendo que una reducción de la velocidad o la activación de la tracción total del tractor pueden ser estrategias adecuadas para reducir este riesgo.

La Norma UNE-EN ISO 4254-11 especifica los requisitos de seguridad y su verificación para el diseño y fabricación de empacadoras. Esta norma describe los métodos para la eliminación o reducción de riesgos derivados del uso previsto y del mal uso razonablemente previsto de estas máquinas por una persona en el curso de las labores normales de trabajo y reparación. Adicionalmente, la norma especifica el tipo de información relativa a las prácticas de trabajo seguras que debe suministrar el fabricante.

Más concretamente en materia de prevención de incendios, en Aragón, está vigente la ORDEN AGM/112/2021, (BOA, 2021). Esta orden, prorroga el articulado de la Orden de 20 de febrero de 2015, del Consejero de Agricultura, Ganadería y Medio ambiente, sobre prevención y lucha contra los incendios forestales en la Comunidad Autónoma de Aragón para la campaña 2015/2016, (BOA, 2015). Los requisitos normativos se rigen por el artículo 15, maquinaria agrícola, forestal o de usos diversos. Dice así:

- ✚ “Los tractores, cosechadoras y demás máquinas agrícolas o forestales que trabajen en las zonas comprendidas en el ámbito de aplicación de esta orden, especialmente durante la época de peligro, deberán ir provistas de extintores u otros medios auxiliares que puedan colaborar en evitar la propagación del fuego durante una primera intervención” (BOA, 2015).
- ✚ “Idénticas precauciones deberán adoptarse con aquellas máquinas o equipos de otra índole (sierras, soldadoras, etc.), que puedan generar chispas con motivo de su utilización” (BOA, 2015).

Como puede observarse, la legislación en referencia a los incendios en máquinas es muy simple, la única obligación es la colocación de extintores, sin ningún tipo de especificidad ni regulación al respecto. Autores como Fike et al. (2014) exponen que

el calor originado en empacadoras por el desgaste de los mecanismos, cojinetes, correas o engranajes defectuosos, puede provocar que el residuo comience la ignición por el contacto con el foco caliente. Esto supone un riesgo tanto de incendio para la maquinaria y la zona donde esté trabajando la empacadora, como para el usuario. Por esa razón, es importante llevar un extintor químico seco (ABC) de 10 libras en el tractor o en la empacadora.

1.3 Parque actual de empacadoras en España y Aragón

A partir de los datos publicados en el Registro Oficial de Maquinaria Agrícola (ROMA), del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, correspondiente a máquinas empacadoras, se realizó al análisis del parque de maquinaria existente en España y en la comunidad autónoma de Aragón.

La información analizada incluye los siguientes campos: tipología de las máquinas (pistón, rotativa o macroempacadora), el fabricante y modelo, fecha de inscripción, motivo de alta, provincia, municipio, etc. El periodo de tiempo correspondiente al análisis descriptivo de empacadoras (apartado 1.3.1.), comprende desde 1950 hasta 2019. El análisis paramétrico del parque de empacadoras (apartado 1.3.2.), corresponde al periodo desde 1980 hasta 2019. Este censo se consideró como el "censo real" de empacadoras para el citado periodo y, por tanto, no se corresponde de manera directa con el número de empacadoras que trabajan en la actualidad, también denominado "censo vivo", ya que parte de las máquinas que ya no trabajan en las explotaciones, no han sido dadas de baja del censo.

1.3.1 Análisis descriptivo del parque de empacadoras

En España, el número total de máquinas empacadoras registradas en la base de datos es de 33.415 máquinas, de las cuales el 20% se corresponde con empacadoras de macropacas, el 47% son rotativas y el 33% restante empacadoras de pequeñas pacas prismáticas, denominadas como empacadoras de pistón de aquí en adelante. La comunidad autónoma con mayor número de máquinas es Castilla y León con 7.471 máquinas censadas (22% del total), distribuidas de forma equitativa para cada tipología de máquina. Galicia es la segunda comunidad con mayor número de máquinas registradas, en concreto 7.127 empacadoras (21% del total) de las cuales

el 87% son rotativas. Aragón cuenta con 2.725 empaadoras (8% del total), de las cuales 834 son de macropacas, 637 son rotativas y 1.254 de pistón.

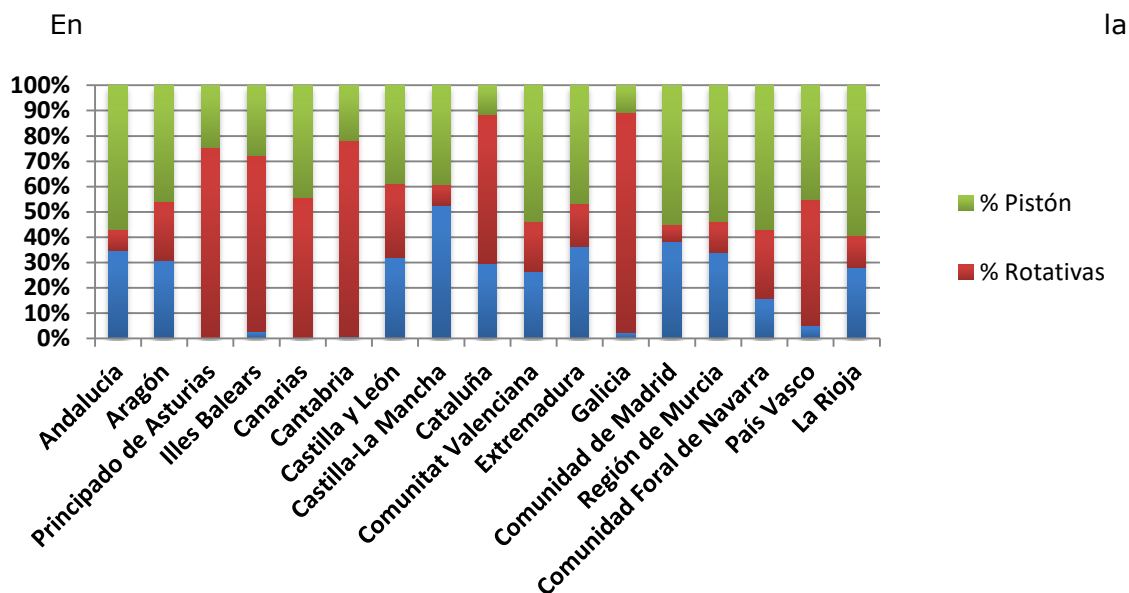


Figura 8 se puede observar la distribución por tipologías en cada comunidad autónoma.

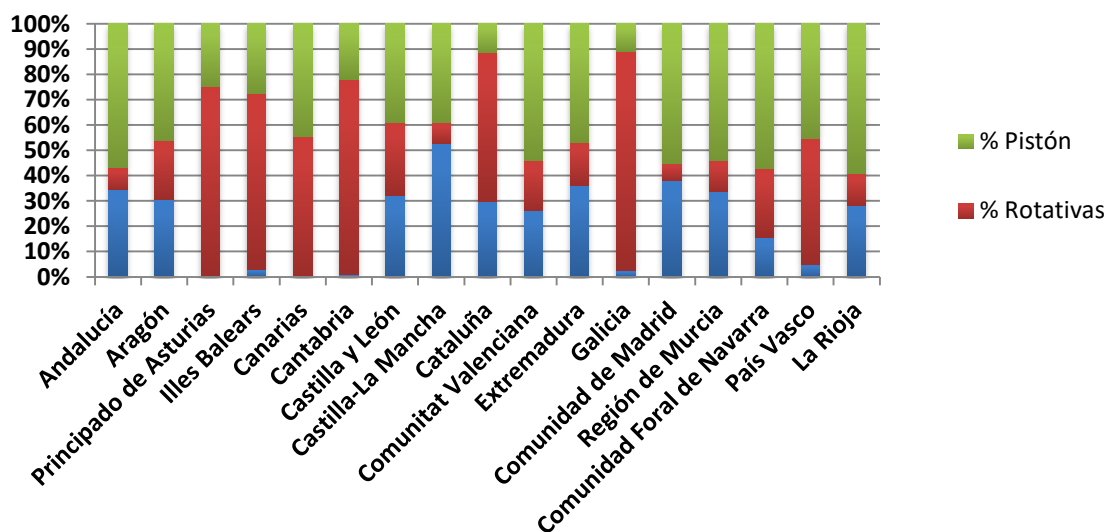


Figura 8. Distribución de empaadoras por tipologías y comunidad autónoma en España durante el periodo 1950-2019. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del ROMA.

La Figura 9 muestra la distribución de macroempaadoras registradas en cada comunidad autónoma y el censo específico por provincias en Aragón. Canarias, no representada en el mapa, cuenta con un total de 18 empaadoras de las cuales ninguna es de macropacas.



Figura 9. Censo real de macroempacadoras en España y Aragón durante el periodo 1950-2019. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del ROMA.

Respecto a la comunidad autónoma de Aragón, Huesca es la provincia con mayor número de máquinas, exactamente 403 máquinas macroempacadoras, seguida por Zaragoza con 313 máquinas y, por último, Teruel con 118 máquinas.

En relación a las marcas comerciales o fabricantes de macroempacadoras, New Holland es el fabricante con mayor presencia entre los usuarios de empacadoras de macropacas con 3.153 máquinas, seguido de Claas con 915 máquinas y Case, en tercer lugar, con 687 máquinas. Las empacadoras rotativas presentan una diversidad de fabricantes comerciales mucho mayor que los otros tipos, ya que 3.790 máquinas no pertenecen a ningún fabricante con representación en la base de datos. No obstante, el fabricante mayoritario es John Deere con 2.867 máquinas y Claas con 2.057 empacadoras rotativas. Por último, respecto a las empacadoras de pistón, John Deere, con 3.252 máquinas, ha sido la marca más utilizada por los usuarios durante el periodo representado en la base de datos, seguida por las máquinas de Batlle con 2.260 empacadoras de pistón.

En la Figura 10 se muestra la distribución en porcentaje por tipologías para cada fabricante en España.

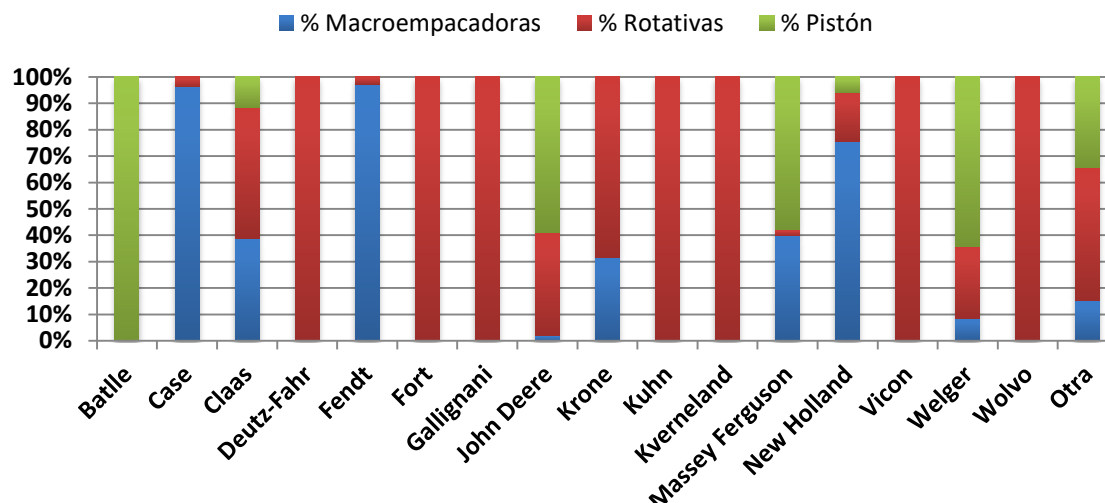


Figura 10. Distribución por tipología y fabricante de empacadoras en España durante el periodo 1950-2019. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del ROMA.

En Aragón, y en relación a las macroempacadoras objeto de estudio, el fabricante mayoritario es de nuevo New Holland, con el 58% del total. En la figura 11 se muestra el gráfico de la distribución por fabricantes, la leyenda muestra de menor a mayor la distribución de cada uno en la comunidad.

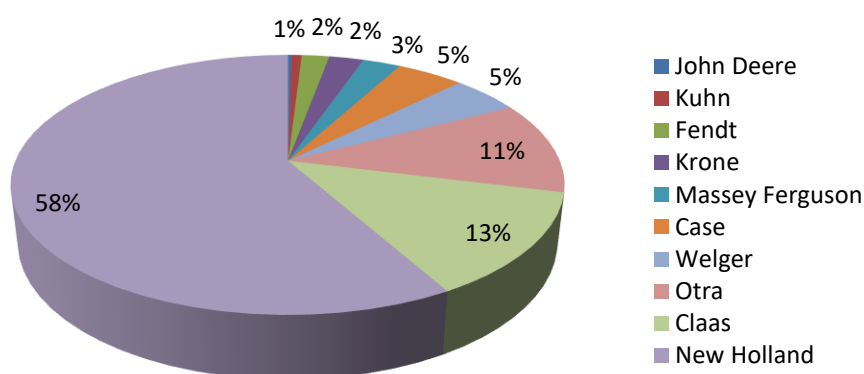


Figura 11. Distribución de fabricantes de macroempacadoras en Aragón durante el periodo 1950-2019. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del ROMA.

La Figura 12 representa la evolución temporal de estas máquinas en España, se puede apreciar como las empacadoras más antiguas son las de pistón de pequeñas pacas prismáticas, las cuales han ido sustituyéndose con el paso del tiempo por las macroempacadoras, fruto de la modernización de la maquinaria agrícola y del aumento del tamaño de las explotaciones. Las empacadoras rotativas, más demandadas para usos de abastecimiento forrajero a nivel particular, son las más abundantes pese a encontrarse significativamente por debajo del máximo alcanzado hace 20 años.

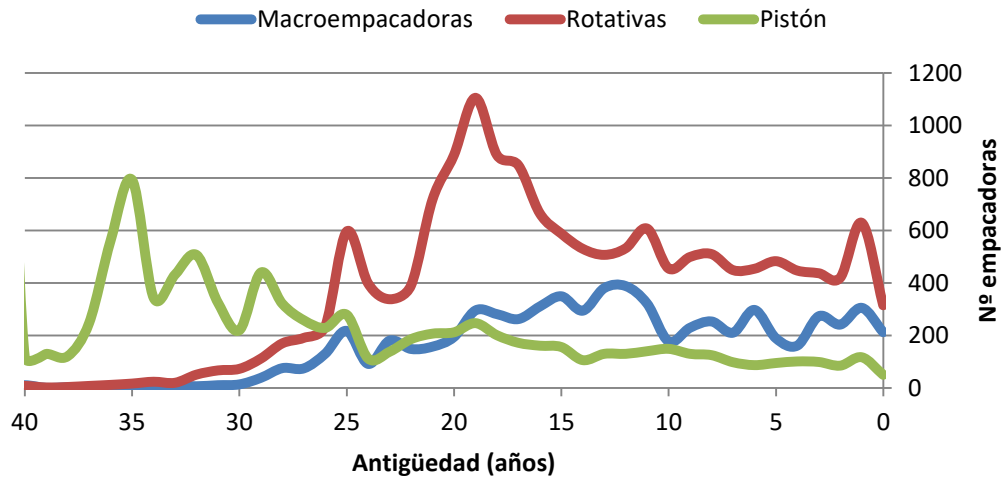


Figura 12. Evolución temporal del tipo de empacadoras en España durante el periodo 1950-2019.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del ROMA.

1.3.2 Análisis paramétrico del parque de empacadoras

Con el objetivo de estudiar posibles diferencias en la antigüedad de las máquinas censadas en las distintas comunidades autónomas, se realizó un análisis estadístico de los datos reflejados en el ROMA con el software SPSS Statistics 26.0 (IBM, Chicago, IL, EEUU). El análisis de los datos se desarrolló a través del modelo lineal generalizado, asumiendo una distribución de Poisson para los valores de antigüedad y un nivel de significación del 95%.

La antigüedad media de una empacadora en España es de 18 años (ver Anexo I), pero a nivel estatal existen diferencias muy claras en la antigüedad de las máquinas, determinadas por su tipología. Como puede observarse en la Figura 13, la antigüedad de las empacadoras de pistón, con un valor medio de 25,8 años difiere significativamente ($p < 0,0001$) de la antigüedad de las empacadoras rotativas y de las macroempacadoras, con valores medios de antigüedad de 15,4 y 13,8 años respectivamente, y entre las que también ésta diferencia es significativa ($p < 0,0001$), asumiendo como unidad de referencia la antigüedad de las macroempacadoras en la aplicación de la Regresión de Poisson (ver Anexo I).

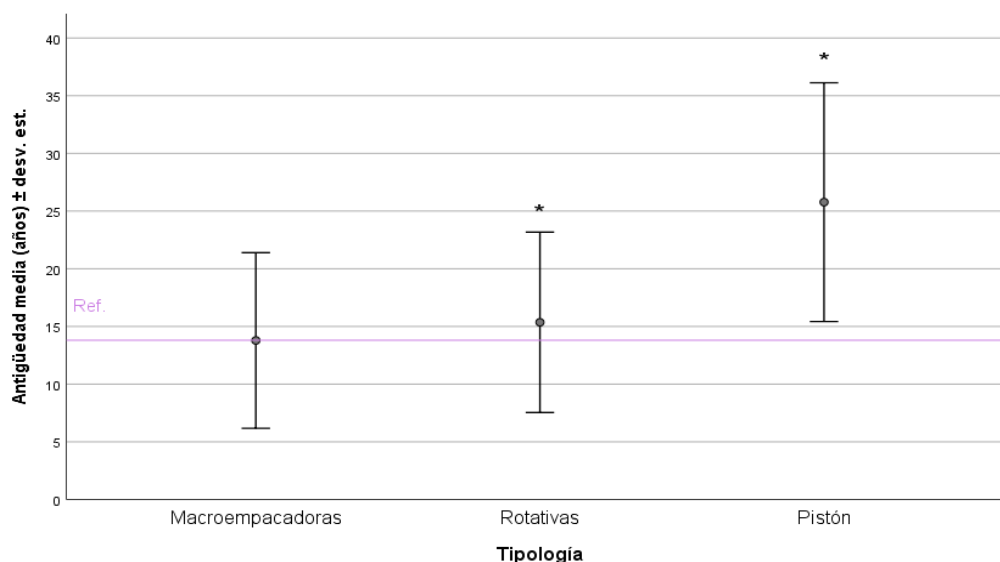


Figura 13. Antigüedad media (años) y desviación estándar de las empacadoras censadas en España para el periodo 1980-2019. Valores con asterisco muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a la tipología macroempacadoras en base a la Regresión de Poisson. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del ROMA.

Considerando estas diferencias determinadas por la tipología de las máquinas, resulta de interés mostrar las diferencias entre comunidades autónomas, analizando en este caso exclusivamente las empacadoras de macropacas en las que se centra este estudio (el análisis del resto de tipologías puede consultarse en el Anexo I). La Figura 14 muestra la antigüedad media de las macroempacadoras por comunidad autónoma.

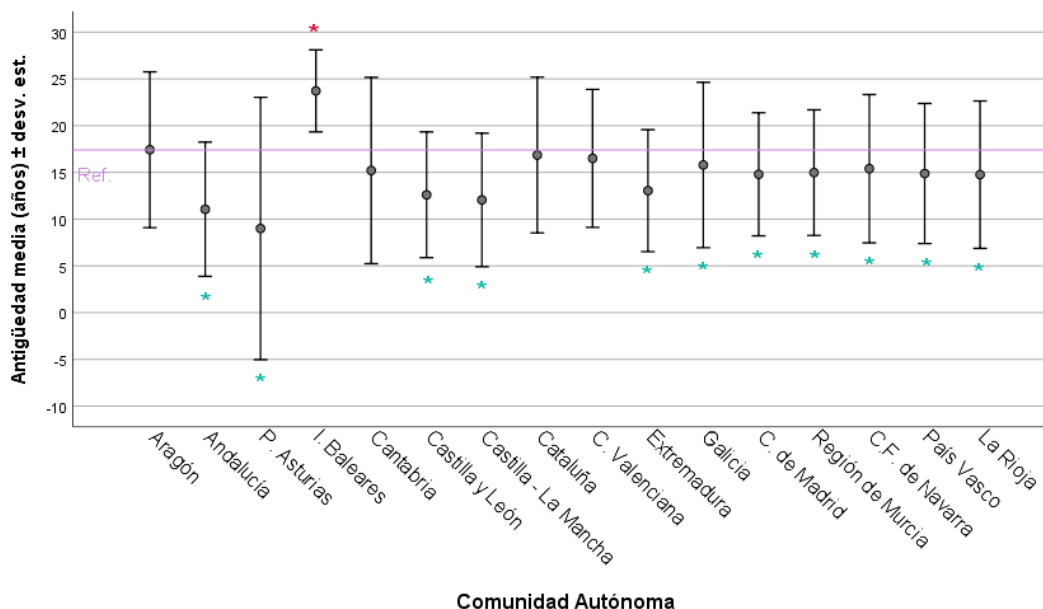


Figura 14. Antigüedad media (años) y desviación estándar de las macroempacadoras censadas por comunidad autónoma en España para el periodo 1980-2019. Valores con asterisco muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a la comunidad de Aragón en base a la Regresión de Poisson (rojo: valores significativamente superiores; verde: valores significativamente inferiores). Fuente: Elaboración propia a partir de datos del ROMA.

Tomando como referencia la antigüedad de las macroempacadoras en Aragón, y según la regresión de Poisson aplicada en el análisis de los datos, encontramos en nuestra comunidad un parque de macroempacadoras significativamente más antiguo que en la mayoría de comunidades, con excepción de Cataluña, Comunidad Valenciana y Cantabria (que únicamente cuenta con 7 máquinas de esta tipología). Cabe destacar la baja representatividad del dato del Principado de Asturias, donde únicamente hay censadas 4 máquinas de este tipo.

Si nos fijamos en el fabricante (ver Figura 15), y tomando como referencia el fabricante más representativo a nivel estatal (New Holland), se pueden observar diferencias significativas en la antigüedad ($p < 0,0001$) con el resto de fabricantes, encontrándose New Holland en un valor medio de antigüedad inferior a Claas, Welger y el grupo denominado "otras"; sin embargo cuenta con valores medios de antigüedad superiores al resto de fabricantes del mercado, dato relacionado con el potente histórico de ventas de este fabricante.

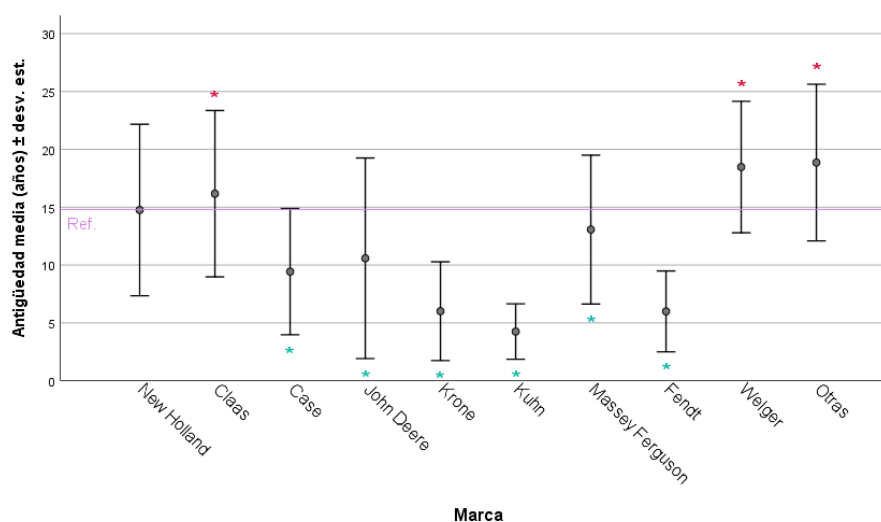


Figura 15. Antigüedad media (años) y desviación estándar de las marcas de macroempacadoras en España para el periodo 1980-2019. Valores con asterisco muestran diferencias significativas ($p < 0,0001$) con respecto a la marca más representativa (New Holland) en base a la Regresión de Poisson (rojo: valores significativamente superiores; verde: valores significativamente inferiores). Fuente: Elaboración propia a partir de datos del ROMA.

Analizando los datos de Aragón (Figura 16), la antigüedad media de las empacadoras se sitúa en 24 años. Teniendo en cuenta el análisis de regresión de Poisson para los datos del periodo 1980-2019, se observan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las empacadoras rotativas y de pistón (antigüedad media de 16,4 años y 32,9 años respectivamente) con respecto a las macroempacadoras, cuyo valor de antigüedad media es de 17,4 años (Anexo I).

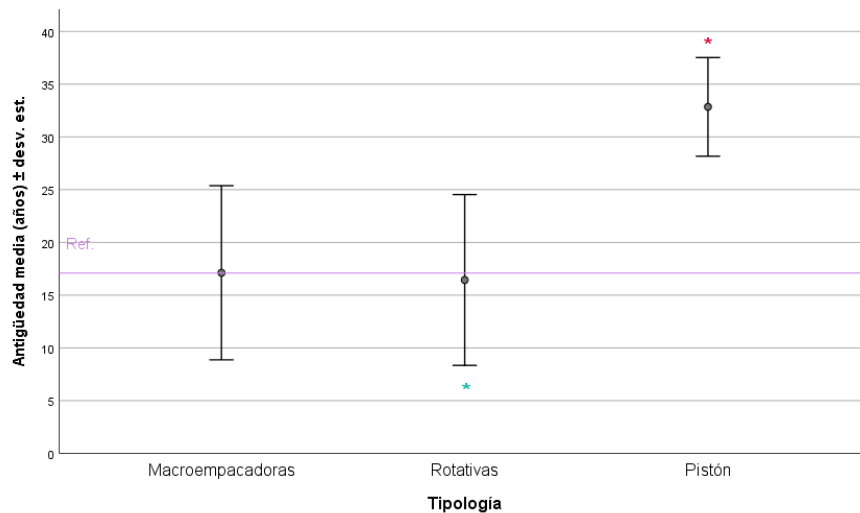


Figura 16. Antigüedad media (años) y desviación estándar de las empacadoras censadas en Aragón para el periodo 1980-2019. Valores con asterisco muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a la tipología macroempacadoras en base a la Regresión de Poisson (rojo: valores significativamente superiores; verde: valores significativamente inferiores). Fuente: Elaboración propia a partir de datos del ROMA.

El análisis de la antigüedad media de las macroempacadoras por provincias (Figura 17) indica valores similares para Zaragoza (17,4 años) y Huesca (17,7 años); los cuales difieren, en base a la Regresión de Poisson, del valor de Teruel (16,6 años) aunque la diferencia es reducida.

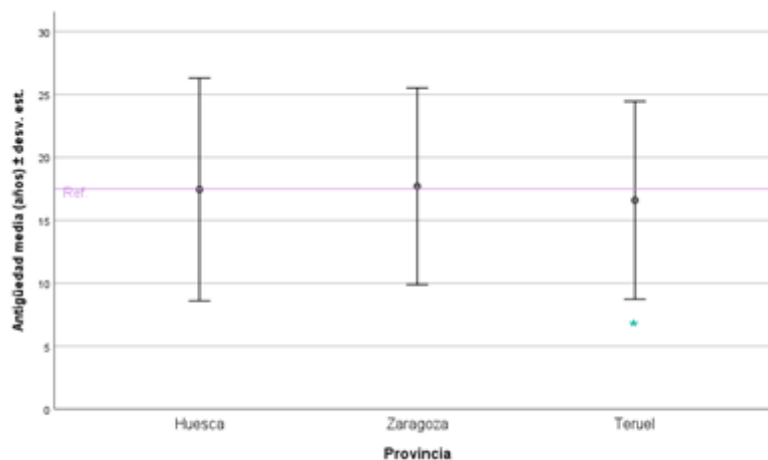


Figura 17. Antigüedad media (años) y desviación estándar de las macroempacadoras censadas en Aragón por provincias para el periodo 1980-2019. Valores con asterisco muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a la antigüedad en base a la Regresión de Poisson (verde: valores significativamente inferiores). Fuente: Elaboración propia a partir de datos del ROMA.

El análisis de fabricantes de macroempacadoras en Aragón refleja diferencias similares a las obtenidas a nivel estatal (Figura 18). Se aprecian antigüedades significativamente superiores ($p < 0,05$) para las marcas Claas, Welger y el grupo "otras" en relación a la marca de referencia New Holland. Cabe mencionar la baja representatividad del dato correspondiente a John Deere, ya que cuenta con 4

máquinas en Aragón, dato que modifica el intervalo de confianza para el valor medio de antigüedad.

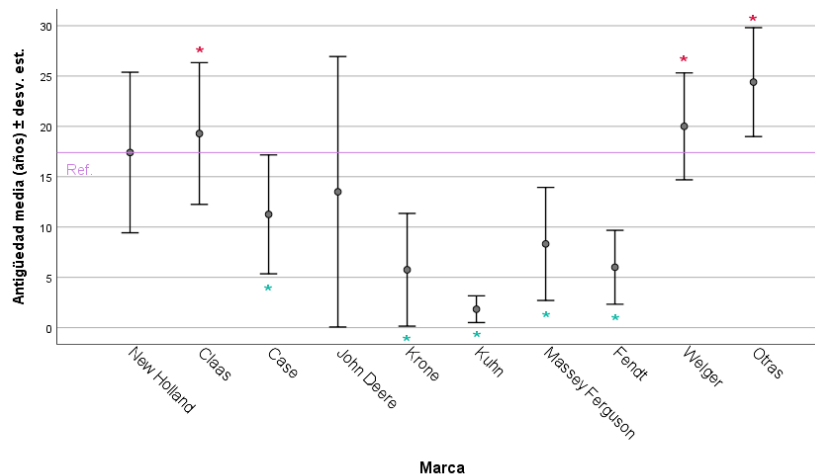


Figura 18. Antigüedad media (años) y desviación estándar de las marcas en Aragón para el periodo 1980-2019. Valores con asterisco muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a la marca más representativa (NH) en base a la Regresión de Poisson (rojo: valores significativamente superiores; verde: valores significativamente inferiores). Fuente: Elaboración propia a partir de datos del ROMA.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Encuesta a usuarios y propietarios de empacadoras

Se realizó una encuesta entre diferentes usuarios de empacadoras con el objetivo de recopilar información basada en su experiencia, identificar puntos críticos de la maquinaria y caracterizar el perfil de las máquinas con mayor riesgo de incendio. Se distribuyó principalmente en Aragón, a través de la Asociación Agraria de Jóvenes Agricultores (ASAJA) y la Asociación Aragonesa de Agricultura de Conservación (AGRACON), entre los socios de dichas asociaciones, así como a otros usuarios no englobados en las asociaciones anteriores. Se mantuvo abierta desde el mes de febrero hasta el mes de diciembre del año 2020.

La estructura de la encuesta se dividió principalmente en dos secciones:

- ✚ **Características técnicas de la empacadora:** con información relativa a los fabricantes, potencia del tractor que arrastra la empacadora, antigüedad de la empacadora, número de pacas realizadas, utilización de rastrillo de hilerado, etc.
- ✚ **Características del incendio en la empacadora (en su caso):** con información relativa a antigüedad de la empacadora en el momento de incendio, zona de la máquina donde se originó el incendio, franja horaria del suceso, producto que se estaba empacando, etc.

Las preguntas de la encuesta realizadas a los usuarios y propietarios de las máquinas empacadoras se incluyen en el Anexo II.

2.2 Registros de temperatura de empacadoras en condiciones de campo

Se obtuvieron registros de temperaturas en seis empacadoras diferentes, a lo largo de dos campañas de empacado de residuos de trigo y cebada (cinco empacadoras en la primera campaña y tres empacadoras en la segunda, dos de ellas

las mismas empacadoras que en la primera). También se monitorizó una empacadora en dos campañas consecutivas de maíz.

Para poder obtener los registros de temperatura, se instalaron sondas de temperatura (termopares tipo K) en diferentes zonas de cada máquina, además de una sonda de temperatura/humedad ambiental en el exterior, modelo HOB0 Pro v2 Ext Temp/RH (Onset Computer Corp., Bourne, MA, EE.UU.).

2.2.1 Sensores utilizados

Los termopares tipo K instalados (Figura 19), cuentan con las siguientes características:

- Vaina de acero inoxidable AISI 310. Diámetro 1,5 mm y longitud 100 mm.
- Unión aislada. Aislamiento mineral.
- Temperatura máxima en la punta 1.100 °C.
- Casquillo inoxidable. Diámetro de 6,3 mm y longitud de 29 mm.
- Temperatura máxima del casquillo: 235 °C.
- Cable aislado con resina perfluoroalcóxido (PFA) de 2×0,5 mm.
- Temperatura máxima del cable: 250 °C.

En cada máquina se instalaron cuatro sondas conectadas a un datalogger portátil (Data Logger THERMOMETER SE-520; TC-Direct, Madrid). El datalogger (Figura 19) cuenta con las siguientes características:

- Entrada multicanal (4 canales) para termopares tipo K, T, J, N, E, R o S mediante un conector mini macho.
- Hasta 32.000 lecturas por canal.
- Intervalo de registro configurable desde 1 s a 23 h, 59 min y 59 s.
- Valor de la temperatura en °C, °F y K.
- Comunicación por Bluetooth o USB a través de un software ejecutable en sistema operativo Windows.
- Resolución de 0,1 °C.
- Precisión $\pm 0,1\%$ de la lectura $+0,7$ °C.
- Alimentación mediante 4 baterías tamaño AAA.



Figura 19. (Izquierda) Indicador/datalogger portátil. (Derecha) termopar tipo K de aislamiento mineral.

Para determinar la temperatura y humedad exterior se utilizaron sondas HOBO Pro v2 Ext Temp/RH, se trata de un dispositivo programable que toma datos de temperatura ambiente y humedad relativa en el intervalo de tiempo deseado por el usuario, pudiendo programarse mediante un puerto USB-óptico con ordenador con el software HOBOWare 3.0, que también permite la descarga de los datos registrados.

✚ Características y especificaciones de la sonda:

- Puerto USB óptico para transferir los datos de forma rápida y segura.
- Memoria: 42.000 observaciones.
- Intervalo de medida: de 1 segundo a 18 horas. Intervalos fijos o múltiples de registro de datos, con hasta 8 intervalos de medida y duraciones definidas por el usuario.
- Vida de la batería: 3 años. Batería de Litio 3.6 Volt 1/2 AA intercambiable.

✚ Temperatura:

- Rango de medida: -40—100 °C.
- Precisión: ± 0.2 °C en el rango 0—50 °C.
- Resolución (12 bit): 0,02—25 °C.

✚ Humedad relativa:

- Rango de medida: 0—100% HR.
- Precisión: ± 10 —90%.
- Resolución (12 bit): 0,03% HR.



Figura 20. (Izquierda) Software Hoboware Pro y Puerto USB óptico. (Derecha) Sonda de temperatura y humedad (Hobo Pro v2).

2.2.2 Campaña de paja de trigo y cebada

Para la monitorización de las empacadoras en la campaña de empacado de paja de trigo y de cebada, se seleccionó un grupo de máquinas heterogéneo. Por esta razón, se monitorizaron empacadoras con diferentes diseños de fabricación, diferentes metodologías de trabajo (particulares, empresa de servicios, usuarios) y diferentes antigüedades. Además, se seleccionaron empacadoras con diferentes características técnicas (antigüedad, pacas realizadas al año, pacas acumuladas, etc..). De esta manera, fue posible caracterizar las temperaturas que alcanzan las diferentes empacadoras de macropacas existentes en el parque de maquinaria.

Las características de las seis empacadoras seleccionadas fueron:

🚧 Empacadora#1:

- CLAAS QUADRANT 5200 FC.
- Pertenece a una empresa de servicios.
- Máquina adquirida en el 2020.
- Pacas realizadas al inicio de los registros: 40 pacas (02/07/2020).
- Pacas realizadas al finalizar los registros: 18.020 pacas (04/08/2020).
- Utiliza rastrillo de hilerado.
- Tractor que arrastra la empacadora: John Deere 8245R.

🚧 Empacadora#2:

- FENDT 1270 N.
- Pertenece a una empresa de servicios.
- Máquina adquirida en el 2018.
- Pacas realizadas al inicio de los registros: 8.100 pacas (09/07/2020).

- Pacas realizadas al finalizar los registros: 19.000 pacas (22/09/2020).
- Utiliza rastrillo de hilerado.
- Tractor que arrastra la empacadora: Massey Ferguson 7724.
 - Registros misma empacadora, en la campaña 2021:
- Pacas realizadas al inicio de los registros: 26.200 pacas (21/06/2021).
- Pacas realizadas al finalizar los registros: 40.950 pacas (08/10/2021).

🚦 Empacadora#3:

- NEW HOLLAND BIG BALER 1270 PLUS.
- Máquina adquirida en el 2018.
- Pertenece a un particular.
- Pacas realizadas al inicio de los registros: 8.900 pacas (06/07/2020).
- Pacas realizadas al finalizar los registros: 17.000 pacas (27/07/2020).
- No utiliza rastrillo de hilerado.
- Tractor que arrastra la empacadora: New Holland T7.

🚦 Empacadora#4:

- NEW HOLLAND BB9070.
- Pertenece a un particular.
- Pacas realizadas al inicio de los registros: 84.970 pacas (22/07/2020).
- Pacas realizadas al finalizar los registros: 87.954 pacas (18/08/2020).
- Utiliza rastrillo de hilerado.
- Tractor que arrastra la empacadora: Fendt 700.

🚦 Empacadora#5:

- NEW HOLLAND BIG BALER 1270 PLUS.
- Máquina adquirida en el 2019.
- Pertenece a un particular.
- Pacas realizadas al inicio de los registros: 5.033 pacas (29/07/2020).
- Pacas realizadas al finalizar los registros: 8.580 pacas (02/09/2020).
- Utiliza rastrillo de hilerado.
- Tractor que arrastra la empacadora: Massey Ferguson 7724 S.
 - Registros misma empacadora, en la campaña 2021:
- Pacas realizadas al inicio de los registros: 11.000 pacas (23/06/2021).
- Pacas realizadas al finalizar los registros: 18.200 pacas (16/09/2021).

Empacadora#6:

- CLAAS QUADRANT 2200.
- Pertenece a un particular.
- Máquina adquirida en el 2005.
- Pacas realizadas al inicio de los registros: 146.000 pacas (23/06/2021).
- Pacas realizadas al finalizar los registros: 157.898 pacas (07/09/2021).
- Utiliza rastrillo de hilerado.
- Tractor que arrastra la empacadora: John Deere 6195 R.

En la **iError! No se encuentra el origen de la referencia.2**, se resumen las características de las empacadoras.

Tabla 2. Características de las empacadoras monitorizadas en la campaña 2020 y 2021.

EMPACADORA	FABRICANTE	RASTRILLO	Nº PACAS INICIO	Nº PACAS FINAL	PERIODO MONITORIZACIÓN (DD/MM/AA)
#1	CLAAS	Sí	40	18.020	02/07/20-04/08/20
#2	FENDT	Sí	8.100	19.000	09/07/20-22/09/20
#3	NH*	No	8.900	17.000	06/07/20-27/07/20
#4	NH	Sí	84.970	87.954	22/07/20-18/08/20
#5	NH	Sí	5.033	8.580	29/07/20-02/09/20
#6	FENDT	Sí	26.200	40.950	21/06/21-08/10/21
#7	CLAAS	Sí	146.000	157.898	23/06/21-07/09/21
#8	NH	Sí	11.000	18.200	23/06/21-16/09/21

*NH: New Holland.

Las sondas de temperatura se colocaron en puntos seleccionados en función de las zonas de riesgo detectadas en la encuesta inicial, y de la viabilidad de colocar las sondas dependiendo de la tipología del chasis de los diferentes modelos. En la Tabla 3 se detallan los puntos de sondeo seleccionados en cada máquina.

Tabla 3. Localización de las sondas de temperatura en los 9 registros realizados en las empacadoras.

LOCALIZACIÓN SONDA	Nº EMPACADORA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
(1) CANAL COMPRESIÓN	X	X	X		X		X	
(2) COJINETE EJE FUERZA CONJUNTO PICK-UP	X	X	X	X		X		
(3) BOMBA HIDRÁULICA	X	X	X			X	X	
(4) COJINETE EJE VENTILADORES	X			X				
(5) FRENO HORQUILLA ALIMENTACIÓN CÁMARA COMPRESIÓN		X	X	X	X	X		X
(6) GRUPO MECÁNICO EMPACADORA	X				X			X
(7) COJINETE CARDAN TRANSMISIÓN A GRUPO MECÁNICO				X				
(8) FRENO TAMBOR RUEDA EMPACADORA					X		X	X
(9) COJINETE LADO IZQUIERDO EJE ALIMENTACIÓN PICK-UP						X		
(10) MULTIPLICADOR TRANSMISIÓN CARDAN T.D.F								X

(11) TRANSMISIÓN FUERZA PICK-UP

| X

X

En la Figura 21 se puede apreciar una sonda de temperatura termopar tipo K instalada en un mecanismo y la sonda de temperatura y humedad exterior instalada en la empacadora. En el Anexo IV, se incluyen imágenes de cada una de las sondas en la posición citada en la Tabla 3.

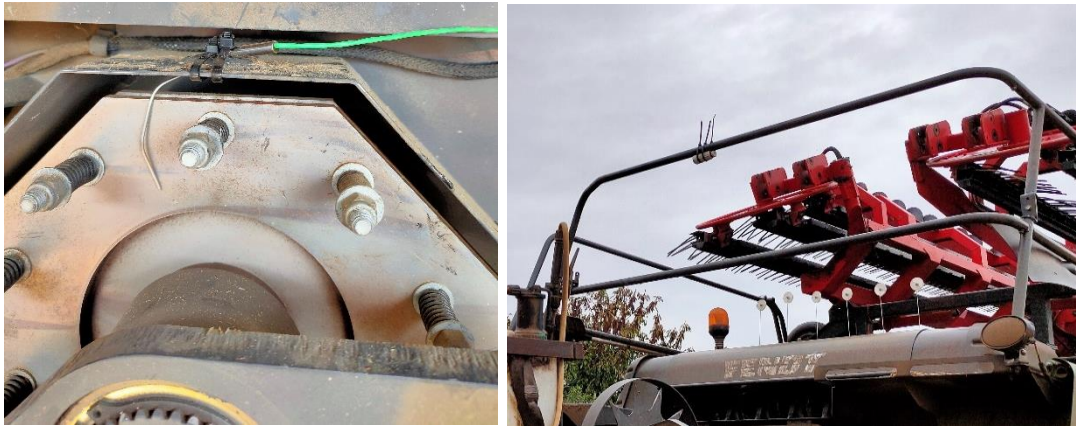


Figura 21. (Izquierda) Detalle termopar tipo K situado en el freno de la horquilla de alimentación. (Derecha) Colocación sonda HOBO en el exterior de la empacadora.

Todas las sondas se programaron de forma sincronizada para que registraran datos cada 5 min. Posteriormente se realizó el pre-procesado de los datos, consistente en la eliminación de los datos de temperatura obtenidos durante el tiempo que no trabajaba la máquina. Por último, se analizaron estadísticamente las diferencias de temperatura entre las diferentes sondas y zonas de las máquinas utilizando el software SPSS v.26 (IBM, Chicago, IL, EE.UU.).

2.2.3 Campaña de paja de maíz

Para poder determinar si existe variación en las temperaturas de los mecanismos en función del material que se empaca, se instalaron sondas de temperatura en la campaña de empacado de paja de maíz. Las sondas fueron las mismas que las utilizadas para la monitorización de la campaña de trigo y cebada, sondas de temperatura (termopares tipo K, Figura 19), y una sonda de temperatura/humedad ambiental en el exterior, modelo HOBO Pro v2 Ext Temp/RH (Onset Computer Corp., Bourne, MA, EE.UU., Figura 20). La empacadora elegida fue la Fendt 1270 N, monitorizada también en dos campañas de cereal de invierno. Se eligió esta empacadora por la accesibilidad de la misma para el estudio y por la campaña de maíz que realiza.

✚ Empacadora campaña de maíz:

- FENDT 1270 N.
- Pertenece a una empresa de servicios.
- Máquina adquirida en el 2018.
- Campaña maíz:
 - Pacas realizadas al inicio de los registros: 19.000 pacas (16/10/2020).
 - Pacas realizadas al finalizar los registros: 21.200 pacas (15/01/2021).
- Campaña 2021:
 - Pacas realizadas al inicio de los registros: 40.950 pacas (13/10/2021).
 - Pacas realizadas al finalizar los registros: 42.740 (14/11/2021).
- Tractor que arrastra la empacadora: Massey Ferguson 7724.

Los puntos seleccionados para colocar las sondas de temperatura se duplicaron durante la primera campaña, es decir, se instalaron ocho sondas de temperatura. El motivo principal de esta duplicidad consiste en poder catalogar más focos calientes en la empacadora y, del mismo modo, comprobar si existen diferencias entre las temperaturas de dos mecanismos similares. Los puntos de medición se eligieron en función de las zonas de riesgo analizadas en el estudio inicial, de las campañas de cereal de trigo y cebada. Se dejaron las sondas que estaban ya instaladas como se encontraban, y se instalaron las nuevas en mecanismos que se encuentran correlacionados con el punto de medición. Esta correlación podía ser por proximidad (canal de compresión), por transmisión de potencia común (conjunto pick-up) o por cometidos similares (hidráulicos). También se tuvo en cuenta la viabilidad de colocar las sondas en función de la tipología del chasis de los diferentes modelos. Estos puntos fueron:

1. *Bomba hidráulica.*
2. *Freno horquilla alimentación cámara compresión.*
3. *Cojinete eje pick-up.*
4. *Pared inferior canal compresión.*
5. *Cojinete apoyo toma de fuerza tractor al grupo mecánico empacadora.*
6. *Distribuidores hidráulicos del rastrillo.*
7. *Cojinete grupo transmisión del pick-up.*
8. *Pared lateral del canal de compresión.*

La sonda instalada en el cojinete de apoyo de la toma de fuerza no cumple ninguna duplicidad de las anteriormente mencionadas, esto se debe a la imposibilidad de obtener otro registro duplicado de las horquillas de la alimentación, por razones referentes al tipo de chasis de la máquina. Por este motivo se decidió estudiar un cojinete del que no se tenían registros hasta el momento.

En la Figura 22 se puede ver la empacadora Fendt, realizando una paca de maíz. En el Anexo III, se incluyen imágenes de cada una de las sondas en la posición citada.



Figura 22. Empacadora Fendt 1270 N empacando paja de maíz.

El tiempo de programación para la recogida de datos de cada sonda (termopares tipo K y sonda HOBO) fueron los mismos que para los registros de la paja y el trigo, cada 5 min.

2.3 Análisis de la influencia de la cantidad de producto procesado sobre el riesgo de incendio

Mediante los registros realizados en las empacadoras fue posible conocer que temperaturas alcanzan los distintos componentes de las empacadoras. No obstante, no se conoce bajo qué condiciones se dieron las temperaturas máximas, a expensas de las condiciones de temperatura ambiental y humedad relativa que sí se registraron en el mismo momento que se tomaban los registros de la máquina. Por esta razón, es conveniente determinar qué factores condicionan la variación de las temperaturas en la máquina.

Uno de los posibles factores es la carga de trabajo a la que se somete la empacadora, dicho de otro modo, la mayor o menor cantidad de pacas que realiza durante un intervalo de tiempo. Analizar el efecto de este factor fue el objetivo del ensayo, donde se estudió el comportamiento de las temperaturas registradas en una macroempacadora según la cantidad de paja que procesa. El ensayo se realizó con una empacadora Fendt 1270 N, registrando temperaturas en tres puntos de la máquina. Concretamente en el freno de la horquilla, bomba hidráulica y en la carcasa del cojinete en el que apoya el eje que transmite la fuerza al conjunto del pick up.

2.3.1 Localización del ensayo

Para poder variar la cantidad de paja que procesa la empacadora se eligieron tres velocidades de avance del tractor denominadas como baja, media y alta, a las cuales la velocidad de giro de la toma de fuerza es la misma. Por tanto, la empacadora trabajó en el mismo régimen de potencia para las tres velocidades, procesando mayor cantidad de paja en la velocidad más alta y menor en la velocidad baja. Para que sean posibles estas condiciones es fundamental realizar el ensayo en una parcela donde la cantidad de paja sea lo más homogénea posible, así como que tenga unas dimensiones considerables para que las hileras de paja sean de una longitud adecuada, favoreciendo que la empacadora se encuentre la mayor parte del tiempo posible bajo carga. Existen otros factores a nivel de parcela que escaparon del control del ensayo y que afectan a los resultados obtenidos para la carga de trabajo: heterogeneidad intraparcelar derivada de la variabilidad en las propiedades del suelo o de posibles problemas fitosanitarios.

El ensayo se realizó en una parcela circular de trigo en regadío bajo pívot, con una longitud de diámetro de 940 m. Según se observa en la Figura 23, la parcela estaba dividida en dos cultivos, trigo y maíz, siendo suficiente la superficie de cultivo de trigo anexa a la de maíz para el desarrollo del ensayo.



Figura 23. Ortofoto de la parcela circular en la que se ha realizado el ensayo.

2.3.2 Metodología del ensayo

Para la realización del ensayo se mantuvo constante la velocidad de avance del tractor durante un intervalo de tiempo aproximado de 20 min. Transcurrido un tiempo suficiente como para que la máquina alcanzase las temperaturas habituales de trabajo, se inició el ensayo con la velocidad media (5,5 km/h), posteriormente la baja (3,5 km/h) y por último la más alta (7,5 km/h). El proceso se repitió para las tres velocidades.

Para poder determinar la carga de trabajo a la que se somete la empacadora, mientras se llevaban a cabo los registros de temperatura, se contabilizó el número de pacas realizadas en cada intervalo de tiempo. El peso medio de las pacas se obtuvo mediante la media de peso de las pacas en cada intervalo, contabilizando el peso de una paca de cada cinco realizadas por la empacadora. De esta manera es posible determinar la cantidad (kg) de paja procesada en el intervalo de tiempo (min), obteniendo la variable kg/min.

Una vez obtenidos los registros, se analizaron estadísticamente mediante el software IBM SPSS v.26.

2.4 Análisis de los residuos en las empacadoras

Se recogieron manualmente muestras de residuo en diferentes zonas de tres empacadoras donde se realizó un estudio previo de temperaturas. El objetivo fue conocer el tamaño del residuo en función de la zona de la empacadora, ya que la

temperatura de inicio de combustión está condicionada por este parámetro. Las empacadoras tenían residuo de cereal (trigo y cebada) y residuos de forraje en dos de las máquinas, mayoritariamente alfalfa.

2.4.1 Recogida de muestra

Las máquinas de las que se recogió el residuo fueron una Claas Quadrant 5200 FC, una New Holland BIG BALER 1270 Plus y una New Holland BB 9070. Las muestras se recogieron en distintas zonas de la empacadora como la bomba hidráulica, transmisión del pick-up, freno de la horquilla de alimentación, y juntas de la transmisión cardan (Figura 24), con el objetivo de caracterizar la granulometría del residuo generado por la macroempacadora en las diferentes partes de la máquina. Una de las muestras analizadas y denominada como residuo general, se corresponde a residuos de diferentes partes aleatorias de la empacadora.

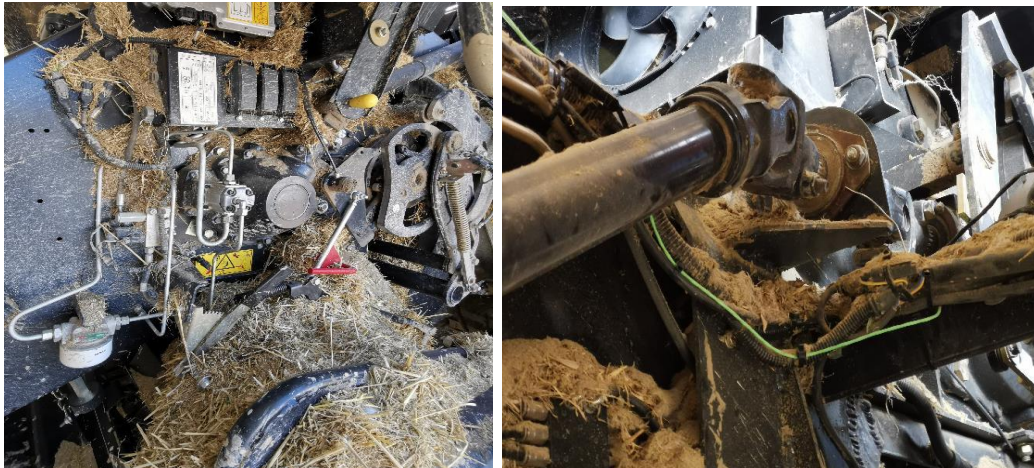


Figura 24. (Izquierda) Acumulación de residuo en el chasis de la empacadora. (Derecha) Acumulación de residuo en una junta de cardan para transmisión de potencia a los sopladores de los atadores.

2.4.2 Evaluación de la distribución del tamaño de partícula.

Para poder determinar el tamaño de las partículas que componen el residuo con el objetivo de clasificarlos, se realizó un cribado en laboratorio mediante tamices de malla. Para ello se utilizaron 5 tamices con una apertura de malla de 250 μm , 500 μm , 1 mm, 2 mm y 4 mm (Figura 25).



Figura 25. De izquierda a derecha, tamices con apertura de malla 4 mm, 2 mm, 1 mm, 500 µm y 250 µm con sus respectivos residuos y resto de residuo inferior a 250 µm.

La agitación de los tamices se realizó de manera manual, intentando realizar todas las muestras con la misma cantidad, intensidad y duración del proceso, para así minimizar el error humano en el proceso y obtener la muestra homogénea. En la Figura 26 se muestra el resultado de las 6 granulometrías obtenidas tras el proceso de tamizado, para una cantidad estándar de residuo en el tamiz.



Figura 26. Muestras de los 6 tamaños tamizados. a) <250 µm; b) 250 µm; c) 500 µm; d) 1 mm; e) 2 mm; f) 4 mm.

Para determinar el poder comburente de las granulometrías obtenidas, se utilizan los resultados del ensayo de ignición realizado por Val-Aguasca et al. (2019). Realizado según la norma UNE-EN ISO/IEC 80079-20-2:2016. "Atmósferas explosivas. Parte 20-2: Características del material. Métodos de ensayo de polvos inflamables".

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados de la encuesta

En total se obtuvieron 83 respuestas, donde se reflejan datos de 133 máquinas debido a la presencia de usuarios con más de una máquina. La Tabla 1 muestra los resultados de la encuesta referentes al número de máquinas, al número de incendios sufridos y la zona de origen de los mismos.

Tabla 4. Resultados obtenidos en la encuesta.

	Nº respuestas
Número de encuestas respondidas	83
Propietario de empacadora	60
Usuario de empacadora	23
Número total de empacadoras	133
1 empacadora	54
2 empacadoras	15
3 empacadoras	7
> 3 empacadoras	7
Encuestas en las que las máquinas han sufrido incendios	25
Encuestas en las que las máquinas no han sufrido incendio	58
Número total de incendios	51
1 incendio	6
2 incendios	12
3 incendios	3
>3 incendios	4
Zonas encuestadas de origen incendio	5
Cojinetes	16
Pick up	7
Embrague	15
Transmisión	8
Otras	5
Máquinas con incendio y constancia del cereal empacado	24
Cebada	9
Trigo	15
Máquinas con sistemas antincendios	127
Extintor	93
Depósito de agua	21
Extintor y depósito	12
Otro	3

3.1.1 Representación de los fabricantes en las encuestas

En la Figura 27 se refleja el porcentaje de máquinas correspondiente a cada fabricante, de las 133 empacadoras que aparecen en la encuesta. Al igual que en los resultados del análisis de los datos del ROMA, New Holland es el fabricante con más representación entre los usuarios.

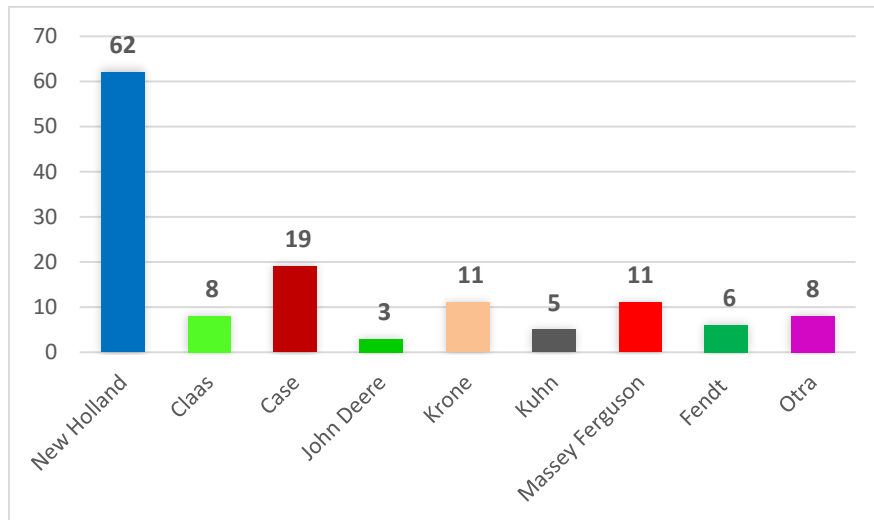


Figura 27. Fabricantes de empacadoras registradas en la encuesta.

En la Figura 28, se reflejan las empacadoras que sufrieron incendios en función del fabricante. Los 51 incendios que se registraron, no se corresponden específicamente con las máquinas utilizadas por los usuarios en el momento de responder la encuesta (Figura 27), sino que pueden ser incendios en empacadoras anteriores a las utilizadas en la actualidad por los encuestados debido a la renovación de máquinas. Las marcas con mayor representación en el parque de maquinaria son también las que más incendios registraron.

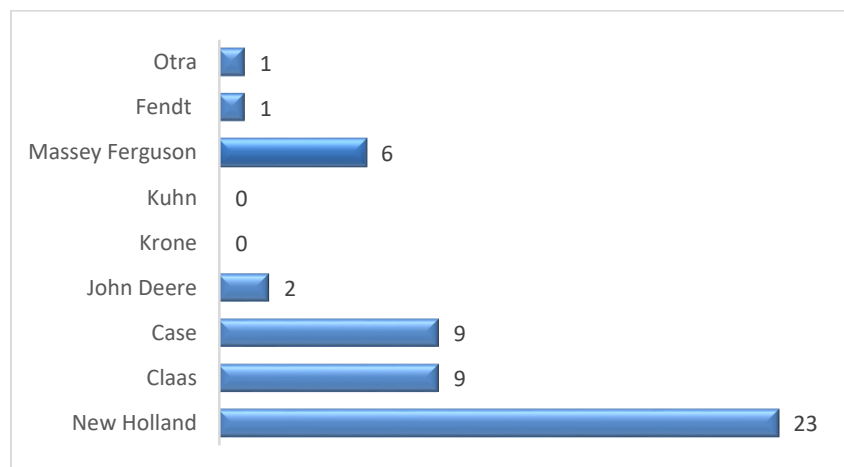


Figura 28. Fabricantes de empacadoras con registro de incendio en la encuesta.

3.1.2 Determinación de las zonas de origen de incendio

En la Figura 29 se muestran las zonas de origen de incendio según los datos de la encuesta realizada en este estudio. La zona donde más incendios se originan es en los cojinetes (31%), seguido del embrague (25%). Otras zonas destacables en el origen de incendio son el pick-up (18%) y la transmisión de la toma de fuerza (14%). El 12% restante pertenece a otras zonas de la máquina (cableados de sistemas eléctricos, rotura de algún componente menos común, etc.).

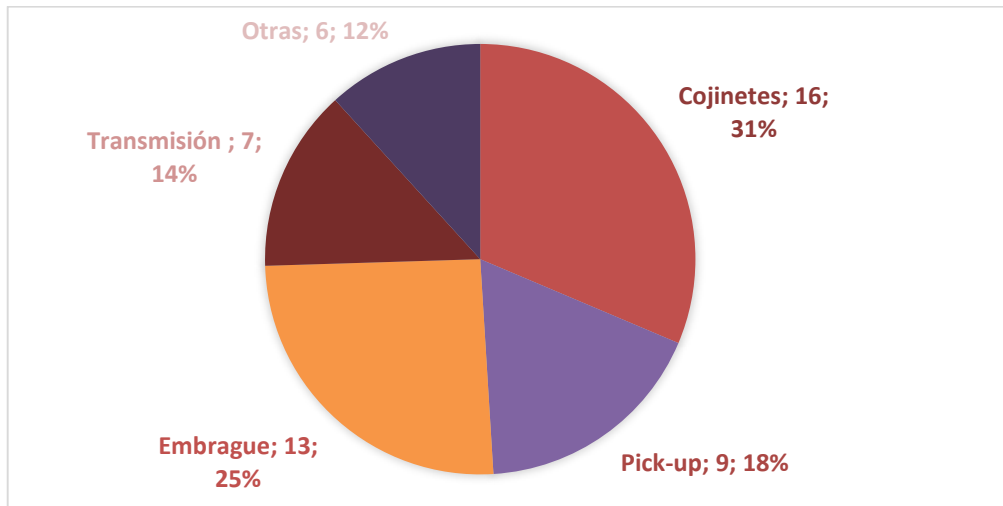


Figura 29. Zonas de origen de incendio registradas en la encuesta (zona, nº de máquinas, % respecto al total).

3.1.3 Análisis del desgaste de la máquina en función de las pacas realizadas por la empacadora

En las Figuras 30 y 31 se muestra la relación entre la variable pacas/año con la antigüedad y las pacas acumuladas, partiendo de la hipótesis de que las máquinas que más pacas realizan al año estarán más expuestas y sufrirán un mayor desgaste, por lo que podrían tener más probabilidades de sufrir un incendio. En la Figura 31 se refleja que las empacadoras que realizan más pacas al año son menos antiguas.

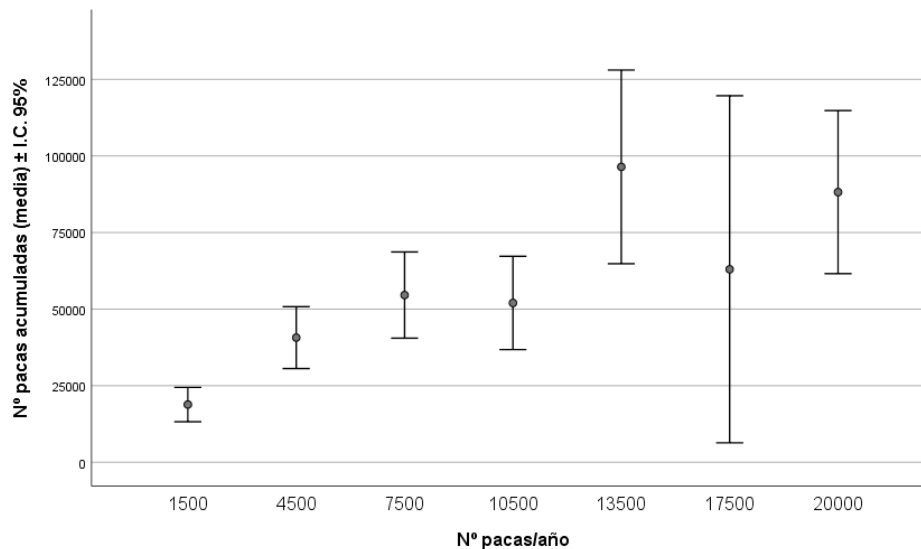


Figura 30. Número de pacas acumuladas e intervalo de confianza 95% en función del número de pacas al año que realiza la empacadora.

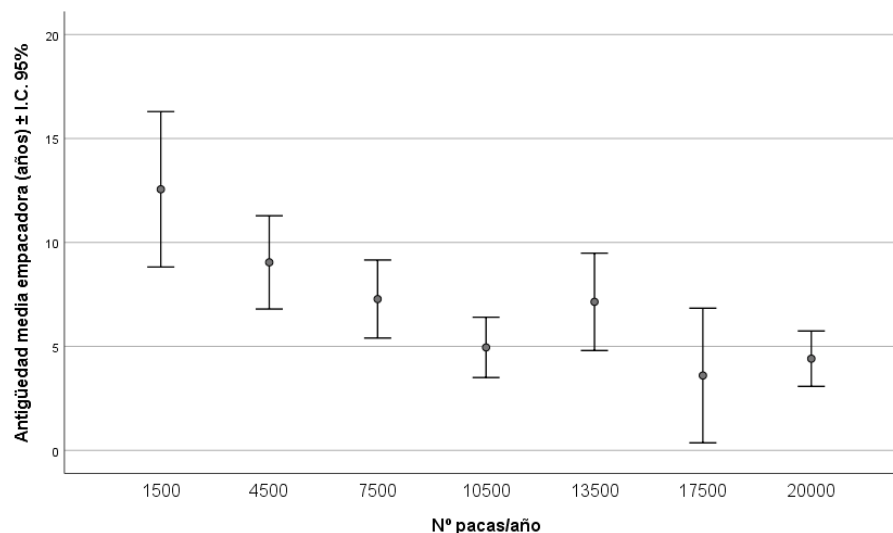


Figura 31. Antigüedad media de la empacadora (años) e intervalo de confianza 95% en función del número de pacas al año que realiza.

3.1.4 Análisis de la relación entre variables e incendio

En este apartado se estudia la relación de determinadas variables de la encuesta con el incendio. Es decir, se determina qué variables guardan relación estadística con los incendios que se registraron en la encuesta. Estas variables son: la antigüedad de la empacadora, las pacas que realiza al año, las pacas acumuladas que tiene, el mantenimiento que realiza el usuario en la empacadora y si las máquinas que más incendios sufren usan rastrillo.

A partir de las tablas de contingencia de cada variable y el test Chi-cuadrado respecto al incendio (Anexo II), se obtuvo que la antigüedad ($\chi^2=0,574$), el número

de pacas anuales ($\chi^2=0,065$) y el mantenimiento realizado sobre la empacadora ($\chi^2=0,334$) no mostraron una relación estadística con los incendios, aunque el valor de χ^2 para el número de pacas está muy cerca del nivel de significancia. Las variables pacas acumuladas ($\chi^2=0,030$) y uso de rastrillo ($\chi^2=0,003$), sí mostraron una relación significativa con el número de incendios.

Respecto al uso de rastrillo en las empacadoras, en la Figura 32 se muestra la distribución de incendios en función de las máquinas que usan rastrillo o no lo usan. Se puede observar que la tendencia a sufrir incendio se da principalmente en las empacadoras que usan rastrillo. El 22% de las máquinas sin rastrillo sufrieron algún incendio, frente al 48% de las máquinas que usan rastrillo y sufrieron incendio.

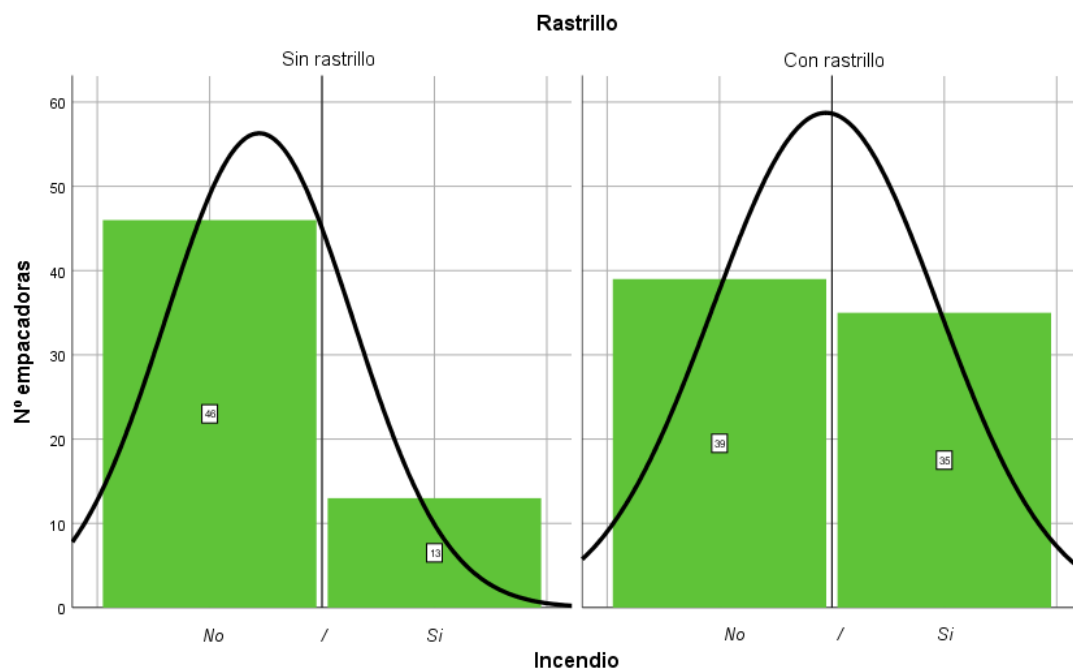


Figura 32. Nº empacadoras que han sufrido incendio en función del uso de rastrillo

Se estudió la relación del rastrillo con las pacas mediante el test Chi cuadrado, obteniendo un valor ($\chi^2<0,0001$). Por tanto, existe una fuerte correlación entre las variables suponiendo el uso de rastrillo una mayor cantidad de pacas realizadas al año, así como una mayor cantidad de pacas acumuladas a lo largo de su vida útil. De este modo, el riesgo de incendio asociado al uso del rastrillo se puede asignar al de las pacas acumuladas, así como a una mayor exigencia mecánica de la empacadora. En la Figura 33 se muestra la distribución de las empacadoras que usan rastrillo o no, en función de las pacas acumuladas.

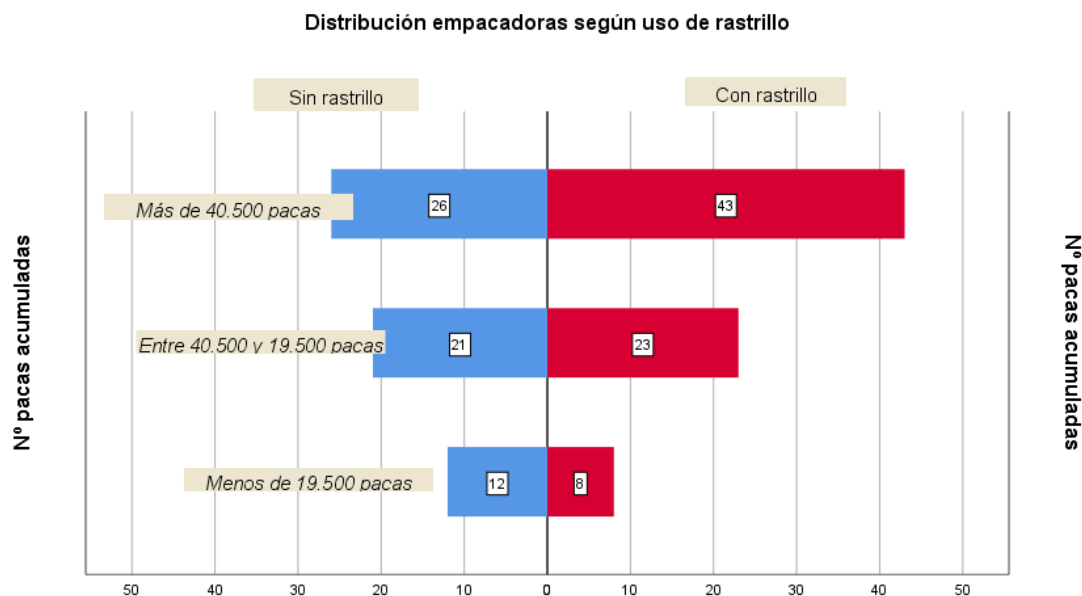


Figura 33. Distribución de las pacas acumuladas en las empacadoras según el uso de rastrillo.

En la Figura 34 se puede observar como las empacadoras que mayor número de pacas realizan al año, y mayor número de pacas acumulan, usan rastrillo.

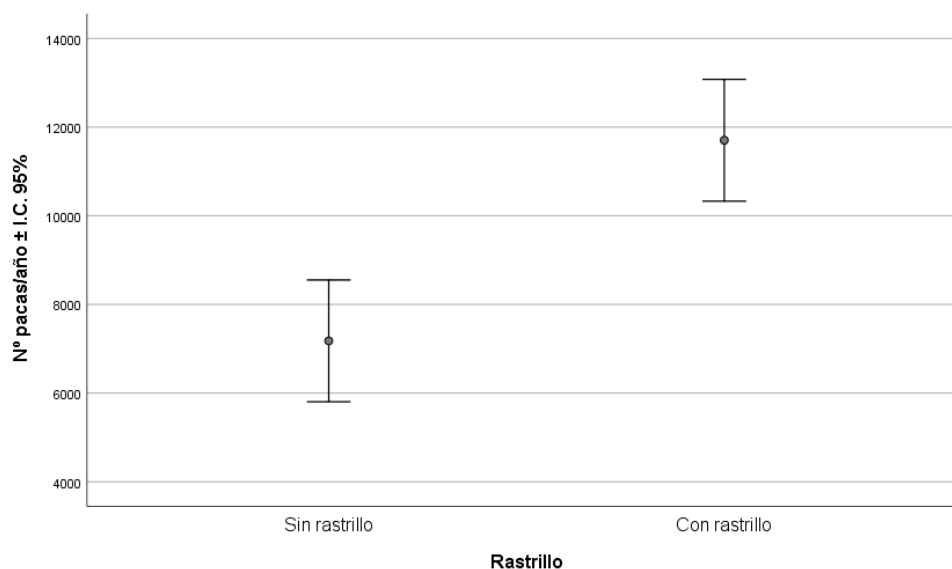


Figura 34. Promedio de pacas realizadas al año e intervalo de confianza 95%, en función del uso del rastrillo en la empacadora.

Si se estudia el riesgo de incendio en función de la cantidad de pacas realizadas por la empacadora, en las Figuras 35 y 36 se pueden observar las pirámides de población para poder comparar visualmente las variables "nº de pacas/año" y "pacas acumuladas" con los incendios declarados en las encuestas.

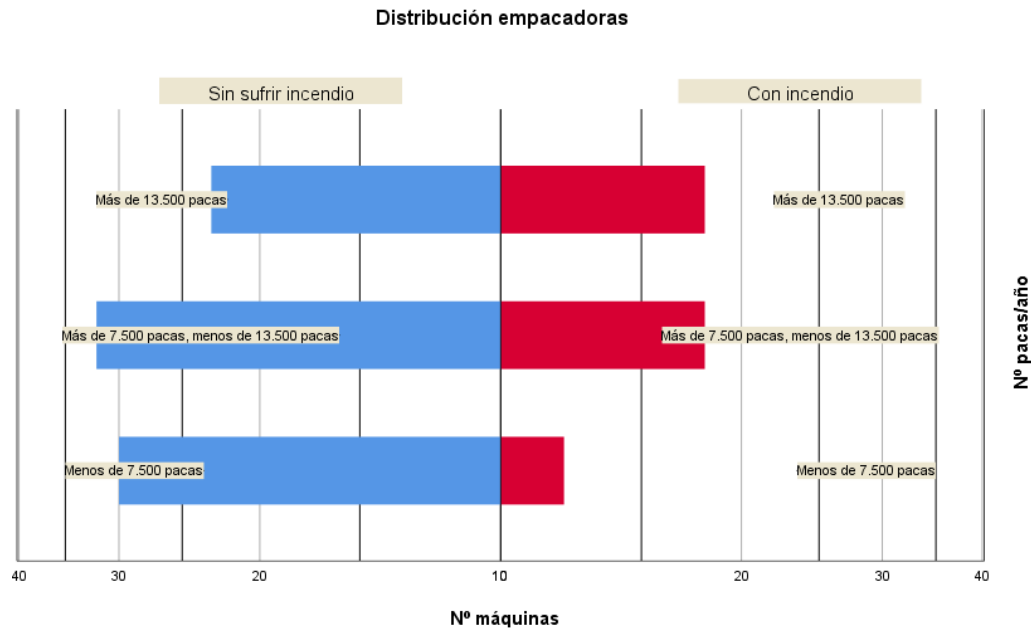


Figura 35. Distribución de máquinas que no han sufrido incendio frente a las máquinas que sí lo han sufrido en función de las pacas que realizan al año.

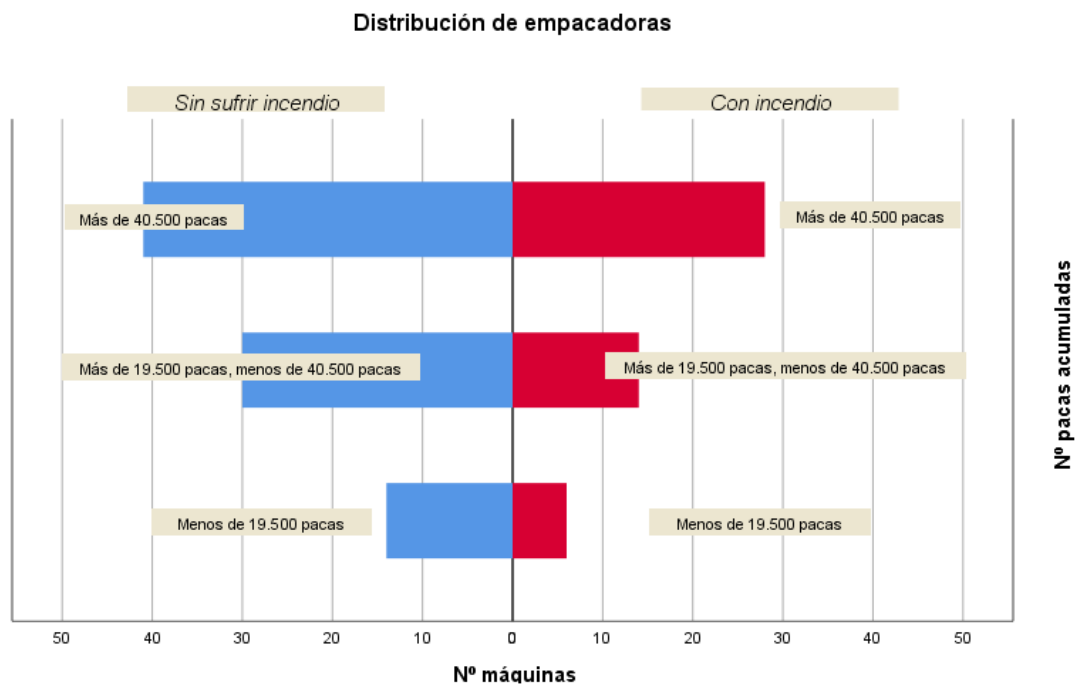


Figura 36. Distribución de máquinas que no han sufrido incendio frente a las máquinas que sí lo han sufrido en función de las pacas acumuladas durante su vida útil.

Por tanto, las empacadoras que registraron un mayor número de incendios, son las que más pacas realizan al año o que más pacas acumuladas tienen. En la Tabla 5 se muestran los datos numéricos.

Tabla 5. Tabla de frecuencias para las variables pacas/año y pacas acumuladas.

	<i>pacas/año</i> <i>< 7.500</i>	<i>7.500</i> <i>≤ pacas/año</i> <i>< 13.500</i>	<i>13.500</i> <i>≤ pacas</i> <i>/año</i>	<i>pacas</i> <i>acumuladas</i> <i>< 19.500</i>	<i>19.500 ≤ pacas</i> <i>acumuladas <</i> <i>40.500</i>	<i>40.500</i> <i>≤ pacas</i> <i>acumuladas</i>
<i>Nº máq. sin incendio</i>	30	32	23	14	30	41
<i>Porcentaje</i>	71%	64%	56%	70%	68%	60%
<i>Nº máq. sufrido incendio</i>	12	18	18	6	14	28
<i>Porcentaje</i>	29%	36%	44%	30%	32%	40%

Tras el análisis de los datos aportados por los encuestados, se confirmó que las empacadoras con mayor riesgo de incendio son las que más pacas acumuladas tienen. Este hecho podría deberse al mayor número de horas que la empacadora se encuentra expuesta al riesgo de incendio, por realizar mayor cantidad de pacas, o debido a un mayor desgaste de sus componentes por la mayor cantidad de pacas realizadas.

3.1.1 Análisis del mantenimiento realizado en las empacadoras en función de las pacas realizadas al año

En la Figura 37 se muestra relación existente entre las revisiones de mantenimiento que realizan los encuestados en las empacadoras, en función de las pacas anuales que realizan. Se puede observar que, según los datos medios, a medida que aumenta el número de pacas que realizan, más exhaustivos son los mantenimientos.

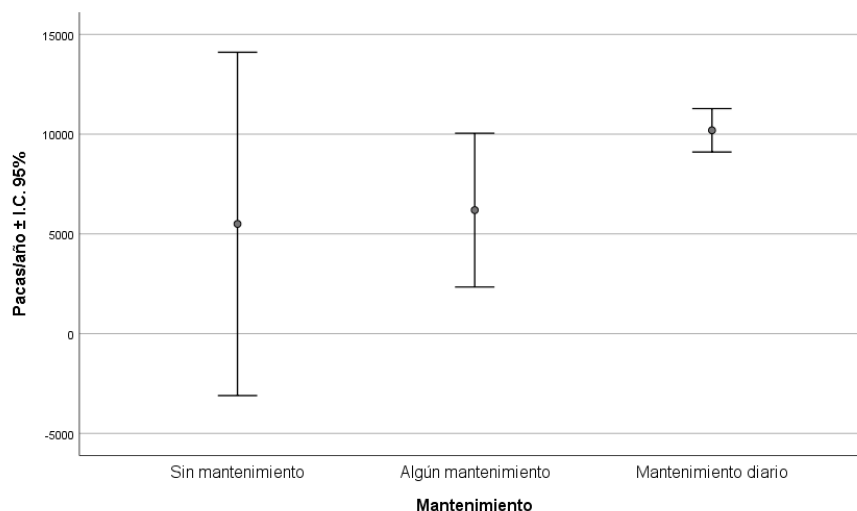


Figura 37. Promedio de pacas realizadas al año e intervalo de confianza 95%, en función del mantenimiento realizado en la empacadora.

Mediante el test Chi-Cuadrado, se estudió la relación entre el nº de pacas realizadas al año y la frecuencia del mantenimiento. El resultado del test mostró una alta correlación ($\chi^2 = 0,001$) entre las variables. Considerando la falta de

mantenimiento adecuado en la empacadora como un factor de riesgo de incendio, las máquinas que menos pacas realizan al año se podrían considerar como las más expuestas al riesgo de incendio por falta de mantenimiento. Sin embargo, como se aprecia en la Figura 37, el intervalo de confianza para el número de máquinas sin mantenimiento es muy amplio. Por esta razón podría haber máquinas que realicen un número elevado de pacas al año y escaso mantenimiento, aumentando el riesgo de incendio en estas máquinas notablemente.

3.2 Resultados de los registros de temperatura de la campaña de trigo y cebada

3.2.1 Resultados descriptivos

En la Tabla 6 se presentan los valores de temperatura media, incluida la desviación estándar y el valor de temperatura máxima. También se incluyen las condiciones ambientales en el momento de registro de la temperatura máxima.

Tabla 6. Temperaturas registradas durante las campañas de 2020 y 2021 en las empacadoras monitorizadas en condiciones de campo. Las condiciones ambientales se refieren a la temperatura máxima.

Máquina	Localización de la sonda	Temperatura empacadora		Condiciones ambientales	
		T _{op} (°C)	T _{máx} (°C)	T (°C)	HR (%)
Empacadora #1 Claas	Canal compresión	33,9 ± 6,8	47,3	40,3	16,2
	Rodamiento pick-up	37,1 ± 8,1	55,4	41,4	15,9
	Bomba hidráulica	47,1 ± 16,6	95,9	32,9	38,8
	Rodamiento ventilador	37,8 ± 10,2	64,5	32,5	28,4
	Transmisión fuerza pick-up	44,0 ± 10,3	58,4	41,4	17,8
	Grupo mecánico	40,7 ± 8,1	58,6	40,2	20,0
Empacadora #2 Fendt	Canal compresión	33,4 ± 7,1	51,5	38,4	33,7
	Bomba hidráulica	58,4 ± 14,5	86,2	33,0	36,8
	Freno horquilla	83,1 ± 42,3	190,6	30,4	38,8
	Rodamiento eje pick-up	32,3 ± 5,8	46,7	36,4	31,0
	Rodamiento izq eje pick-up	31,2 ± 6,0	45,6	37,7	32,1
Empacadora #3 New Holland	Canal compresión	37,7 ± 7,9	58,3	41,0	19,7
	Bomba hidráulica	47,2 ± 12,9	75,5	33,9	37,1
	Freno horquilla	63,9 ± 26,1	113,7	37,0	37,1
	Rodamiento eje pick-up	36,8 ± 7,8	54,7	41,4	20,5

Empacadora #4 New Holland	Rodamiento eje ventilador	34,0 ± 5,6	51,8	41,6	18,8
	Rodamiento cardan tdf	37,6 ± 5,8	52,4	39,7	21,5
	Freno horquilla	55,2 ± 13,3	79,1	23,2	39,2
	Rodamiento eje pick-up	34,3 ± 5,0	47,3	33,7	20,9
Empacadora #5 New Holland	Canal compresión	36,7 ± 10,6	62,1	41,9	19,1
	Freno rueda	31,4 ± 4,4	44,2	42,0	18,8
	Freno horquilla	40,9 ± 13,2	95,1	34,2	29,4
	Grupo mecánico	45,8 ± 13,0	97,7	35,3	30,1
	Multiplicador tdf	39,3 ± 11,2	73,1	39,8	29,0
Empacadora #6 Claas	Canal compresión	34,3 ± 5,2	46,7	35,7	31,1
	Bomba hidráulica	66,3 ± 29,6	128,7	35,5	41,8
	Freno rueda	32,2 ± 5,1	43,8	42,8	19,6
	Transmisión fuerza pick-up	40,1 ± 5,1	58,2	40,3	18,7

T_{op}: Temperatura de media operativa (± desviación estándar).

T_{máx}: Temperatura máxima registrada.

La temperatura más elevada se registró en el freno de la horquilla, alcanzando los 190,6 °C. Este mecanismo, junto con la bomba hidráulica, son los puntos más calientes de las empacadoras, con mayor riesgo de incendio. Ambos mecanismos muestran diferentes temperaturas según el modelo de empacadora, sin embargo, en los mismos modelos las temperaturas también muestran diferencias. De este modo, las temperaturas son variables en función de la metodología de trabajo que cada usuario de empacadora desarrolla, las condiciones climáticas de la situación geográfica donde la empacadora trabaja u otras posibles razones como el mantenimiento o la supervisión de los mecanismos.

En la Figura 38 se muestran las temperaturas medias registradas en los diferentes mecanismos agrupados para cada una de las empacadoras estudiadas.

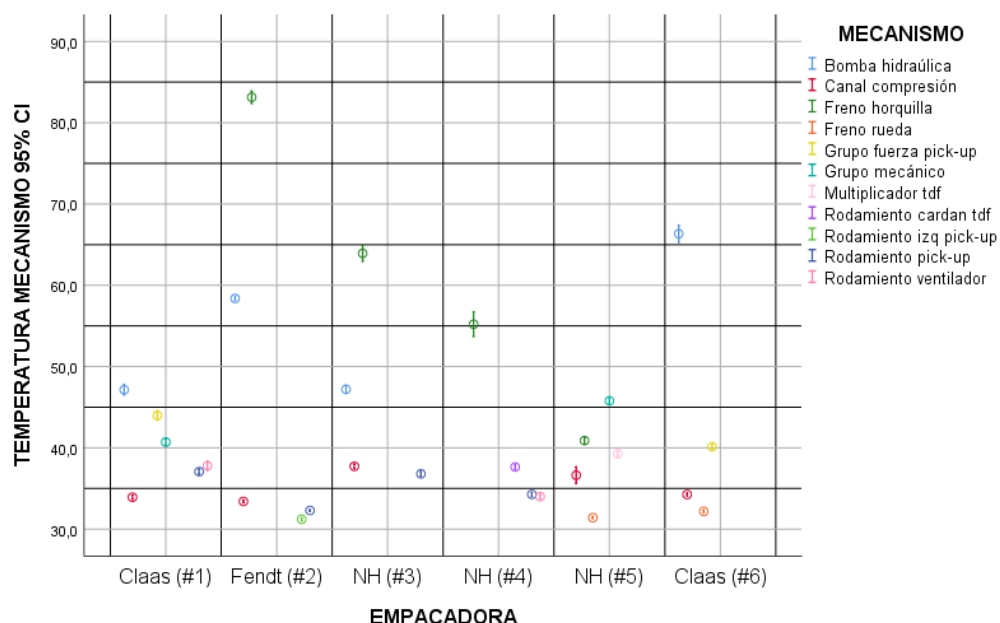


Figura 38. Temperatura media (°C) \pm I.C. 95%, de los diferentes mecanismos registrados en cada una de las empacadoras monitorizadas.

Es importante tener en cuenta que el riesgo de incendio aumenta cuando las condiciones climáticas son adversas (Shutske et al., 1990). Venem y Shutske (2002) concluyeron que el 48,5% de los incendios originados por maquinaria agrícola coincidieron con las horas de temperaturas más altas (2:00 PM-4:00 PM). En consonancia con estas conclusiones, en la Tabla 6 se puede observar que las temperaturas máximas en los mecanismos se corresponden con valores de temperatura ambiental alta, así como valores de humedad relativa baja.

El número anual de días de alta temperatura (HTD, es decir, días con temperaturas medias superiores a 20,0, 22,5 y 25,0 °C) está aumentando en el sur de Europa, como lo demuestran Cardil et al. (2014) para los datos de temperatura en el periodo de junio a septiembre de 1978 a 2012 en el sur de Francia, el interior de España y el noroeste de la Península Ibérica. Teniendo en cuenta los datos aportados por estos autores, se espera que la probabilidad de situaciones de riesgo de incendio en función de las condiciones ambientales continúe aumentando.

3.2.2 Análisis paramétrico de los resultados

Se analizaron las diferencias entre las temperaturas de cada componente o mecanismo en diferentes empacadoras, con el objetivo de determinar si existen diferencias entre fabricantes. Asimismo, se registraron temperaturas en empacadoras del mismo fabricante, pero con salida al mercado en años diferentes. Por esta razón, se comparó también la variación de las temperaturas entre modelos

de empacadoras del mismo fabricante. Principalmente, para estudiar si existen diferencias entre modelos más modernos, que varíen las temperaturas en los mismos componentes monitorizados, en empacadoras con mayor número de pacas acumuladas o más antiguas. Estas empacadoras son las de la marca Claas y New Holland. Del fabricante Claas, la empacadora más antigua es la Claas Quadrant 2200, con 146.000 pacas acumuladas. La Claas Quadrant 5200 FC, se estrenó la campaña en la que se instalaron las sondas. Para New Holland, la empacadora más antigua es la New Holland Bb 9070, con 85.000 pacas acumuladas. Las empacadoras más actuales son las New Holland Big Baler 1270 Plus, se monitorizaron dos empacadoras del mismo modelo, la primera (#3) con 8.900 pacas acumuladas y la segunda (#5) con 5.000 pacas acumuladas.

En primer lugar, se realizó la prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov para comprobar la distribución normal de los datos. Se comprobó que las temperaturas no siguen una distribución normal, tampoco sometidas a transformaciones, por lo que se optó por analizar los datos a través de un análisis de varianza no paramétrico (ANOVA de Kruskal-Wallis). Posteriormente se analizaron las temperaturas alcanzadas por los distintos mecanismos y componentes de cada empacadora. En el Anexo III, se presentan las tablas obtenidas de las pruebas estadísticas realizadas como complemento de la información.

3.2.2.1 Análisis de las temperaturas de componentes analizados en diferentes empacadoras

Se analizó el efecto del modelo de empacadora sobre la temperatura obtenida en los mecanismos comunes a varias empacadoras. Estos mecanismos son: el canal de compresión, el cojinete del eje de fuerza del pick-up, la bomba hidráulica, el freno de la horquilla del alimentador y la transmisión de potencia al conjunto pick-up.

El canal de compresión se monitorizó en un total de cinco empacadoras, siendo las empacadoras New Holland Big Baler las que registraron las temperaturas más altas en esta zona (37,7 °C; 36,7 °C). Siendo la empacadora con más pacas acumuladas (#3), la que registró una temperatura media mayor. La prueba de Kruskal-Wallis muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre todas las empacadoras, exceptuando las empacadoras Claas (Empacadoras 1 y 6, $p = 0,292$). Las temperaturas del canal de compresión en estas empacadoras son prácticamente iguales, ya que su diferencia de temperatura media varía de 34,25 °C, a 33,93 °C en la empacadora más moderna (5200 FC). Una variación menor a medio grado. En la Figura 39 se presentan las temperaturas medias alcanzadas en el canal de compresión en cada una de las empacadoras analizadas.

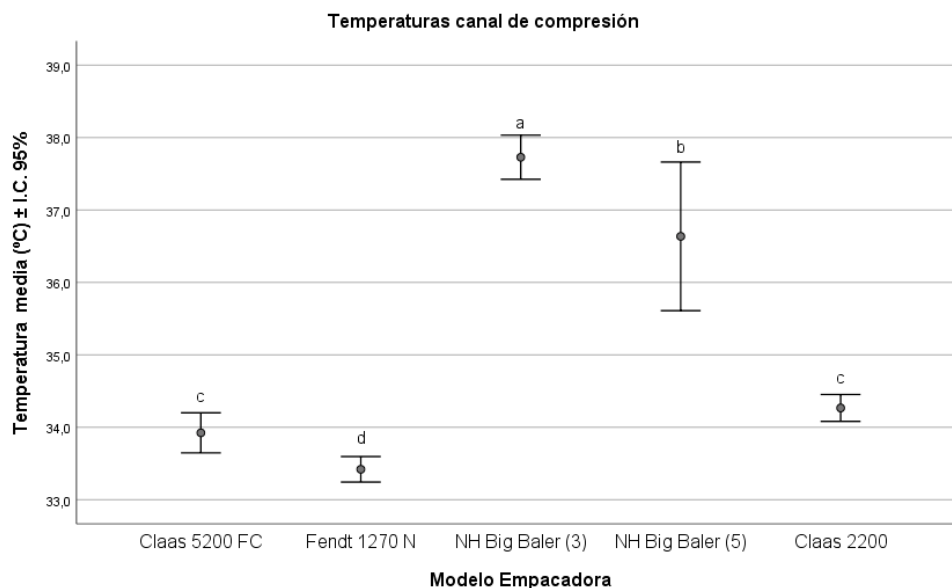


Figura 39. Temperatura media (°C) e intervalo de confianza 95% registrada en el canal de compresión de los modelos de empacadoras monitorizadas. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre temperaturas ($p < 0,05$; ANOVA de Kruskal-Wallis).

El cojinete del eje de fuerza del conjunto del pick-up se monitorizó en cuatro empacadoras. Todas las empacadoras muestran diferencias estadísticamente significativas entre sí ($p < 0,0001$), siendo la empacadora Claas (37,1 °C) y la New Holland Big Baler (36,8 °C), las que registraron las temperaturas más altas con valores medios muy próximos entre sí (Figura 40). En las empacadoras del mismo fabricante (New Holland), se registró temperaturas medias 2,5 °C mayores en la empacadora más moderna (36,8°C), frente a los 34,3 °C registrados en la NH Bb 9070.

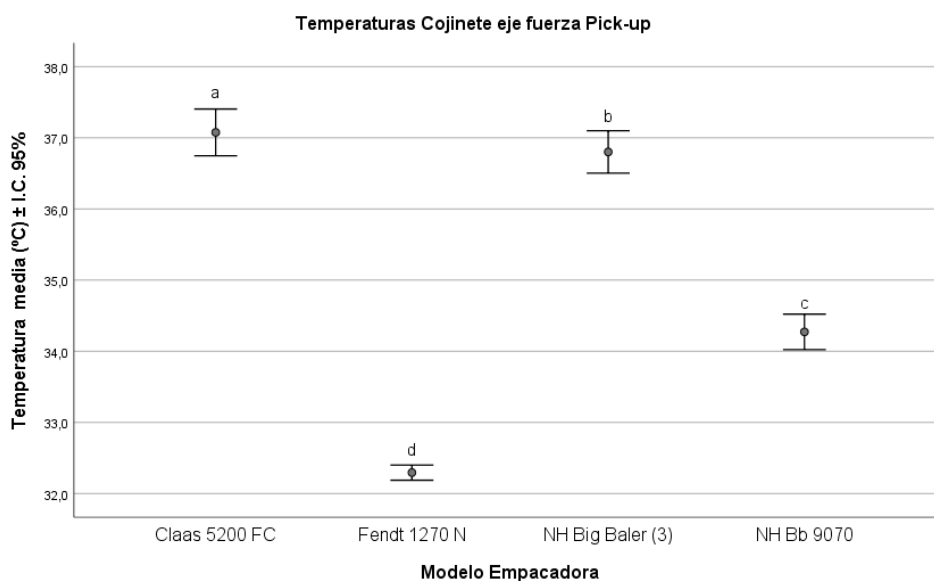


Figura 40. Temperatura media (°C) e intervalo de confianza 95% registrada en el cojinete del eje de fuerza del pick-up de los modelos de empacadoras monitorizadas. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre temperaturas ($p < 0,05$; ANOVA de Kruskal-Wallis).

La bomba hidráulica se monitorizó en cuatro empacadoras. Entre las empacadoras Claas, la bomba hidráulica es el mecanismo que mayor diferencia presenta, siendo la Quadrant 2200 la que mayor temperatura registró entre todas las máquinas (66,3 °C). Por el contrario, la Quadrant 5200 FC, registró temperaturas medias de 47,1 °C. Este hecho posiblemente se deba a la doble bomba hidráulica con la que cuenta esta empacadora, en lugar de una única para la más antigua. Esta última empacadora y la New Holland Big Baler (#3) no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre sí (Figura 41).

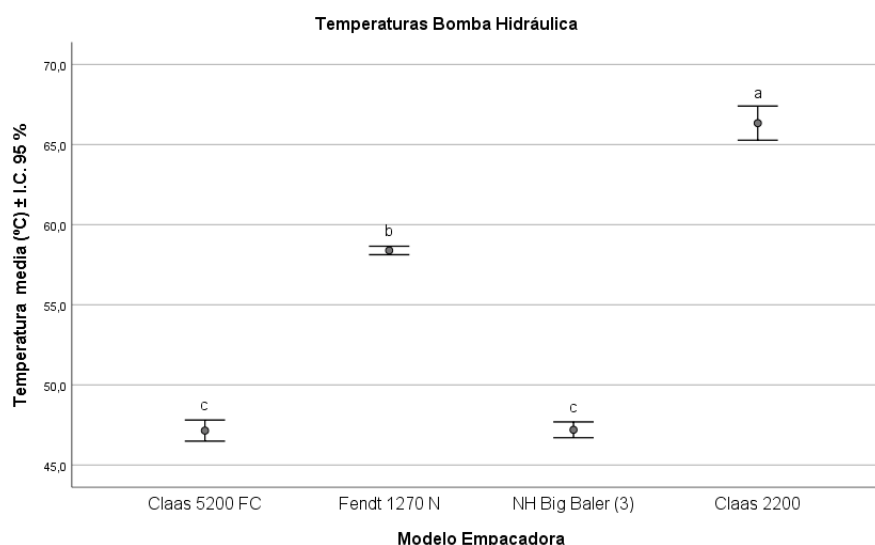


Figura 41. Temperatura media (°C) e intervalo de confianza 95% registrada en la bomba hidráulica de los modelos de empacadoras monitorizadas. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre temperaturas ($p < 0,05$; ANOVA de Kruskal-Wallis).

El freno de la horquilla de la empacadora se monitorizó en cuatro empacadoras. Según la prueba de Kruskal-Wallis, el resultado fue $p < 0,0001$ para todos los casos. Por tanto, todas las empacadoras han presentado diferencias estadísticamente significativas entre sí. El valor más alto lo registró la empacadora Fendt (83,1 °C). En las New Holland, la temperatura más alta, con diferencia sobre el resto, se registró en la Big Baler 1270 (#3) con 62°C de media. Tras esta, se encuentra la empacadora Bb 9070 con 49,6 °C, y por último la Big Baler (#5) con 41,3 °C. Son diferencias claras, que no responden a un patrón claro respecto la antigüedad o las pacas acumuladas, ya que la tecnología del mecanismo es común a las tres empacadoras. Podría ser motivado por el reglaje del mecanismo, encontrándose más ajustado en la empacadora #3, por lo que su rozamiento sería mayor y su temperatura más alta. El valor de la empacadora 5, podría verse condicionado por la temperatura media

ambiente, siendo está la menor de las otras dos empacadoras del mismo fabricante, 5 °C por debajo (**iError! No se encuentra el origen de la referencia.2).**

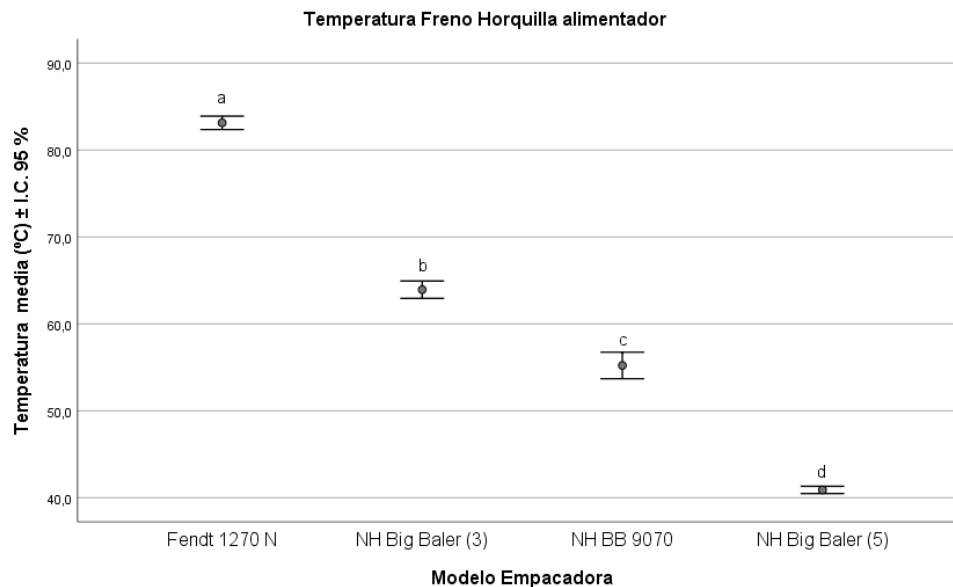


Figura 42. Temperatura media (°C) e intervalo de confianza 95% registrada en el freno de la horquilla de los modelos de empacadoras monitorizadas. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre temperaturas ($p < 0,05$; ANOVA de Kruskal-Wallis).

La transmisión de fuerza al grupo del pick-up se registró únicamente en las empacadoras Claas. Este fabricante es el único entre las máquinas monitorizadas, que transmite la potencia hasta el conjunto del pick-up mediante transmisión cardan. La temperatura más elevada se registró en la empacadora más moderna, Quadrant 5200 FC. La media fue de 44,0 °C, respecto a los 40,1 °C que registró la más antigua, Quadrant 2200. Posiblemente este hecho se encuentre motivado por un mayor requerimiento de potencia en la empacadora 5200 FC, por su mayor capacidad de trabajo. No obstante, las diferencias de temperatura son pequeñas (Figura 43).

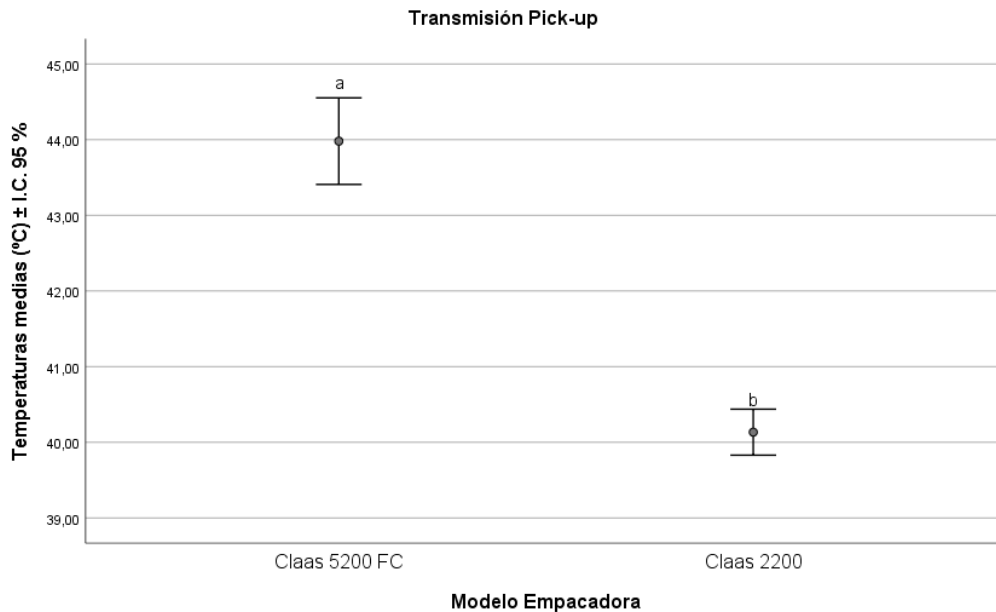


Figura 43. Temperatura media (°C) e intervalo de confianza 95% registrada en la transmisión al pick-up de los modelos de empacadoras monitorizadas. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre temperaturas ($p < 0,05$; ANOVA de Kruskal-Wallis).

3.2.2.2 Análisis de temperaturas en componentes analizados en la misma empacadora

A continuación, se presenta el análisis estadístico de los diferentes mecanismos monitorizados en cada una de las empacadoras. El objetivo es detectar diferencias significativas entre las temperaturas medias de trabajo de los distintos mecanismos.

En la empacadora Claas Quadrant 5200 FC, con un total de seis mecanismos monitorizados, se obtuvo que las sondas de los cojinetes del ventilador (37,8 °C) y del eje de alimentación del pick-up (37,1 °C) muestran temperaturas similares estadísticamente ($p = 0,064$). La bomba hidráulica fue el valor más alto obtenido (47,1 °C). En la Figura 44 se presentan las temperaturas medias registradas en los diferentes componentes con los resultados de la comparación estadística.

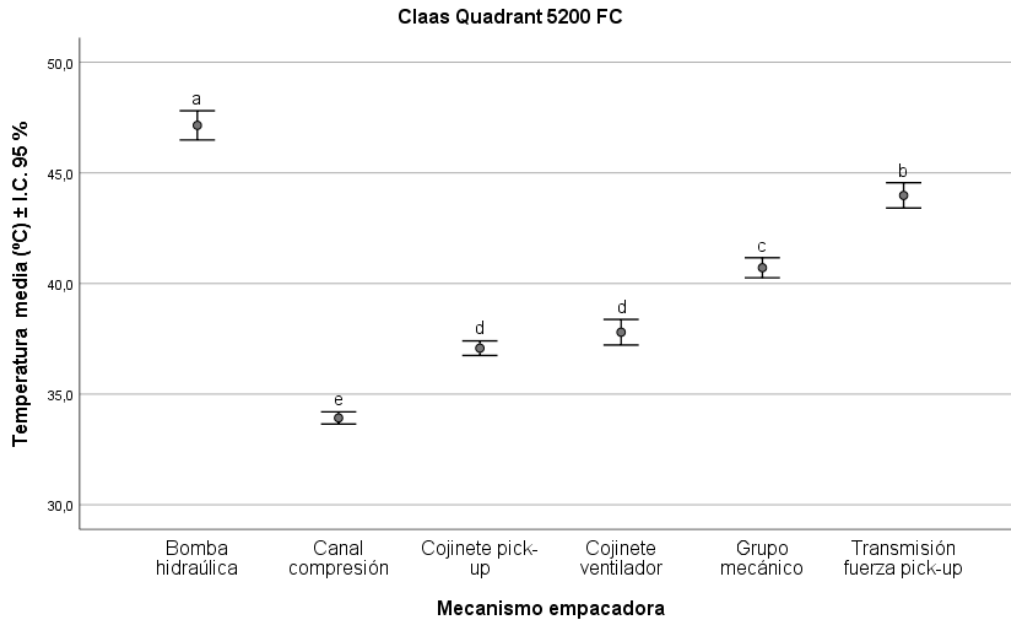


Figura 44. Temperatura media (°C) e intervalo de confianza 95% registrada en los mecanismos de la empacadora Claas Quadrant 5200 FC. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre temperaturas ($p < 0,05$; ANOVA de Kruskal-Wallis).

En la empacadora Fendt 1270 N, con cinco mecanismos monitorizados, se encontraron diferencias significativas entre las temperaturas de todos los mecanismos ($p < 0,0001$). En esta empacadora, la temperatura más alta es la del freno de la horquilla (83,1 °C) destacando claramente sobre las temperaturas medias del resto de mecanismos (Figura 45).

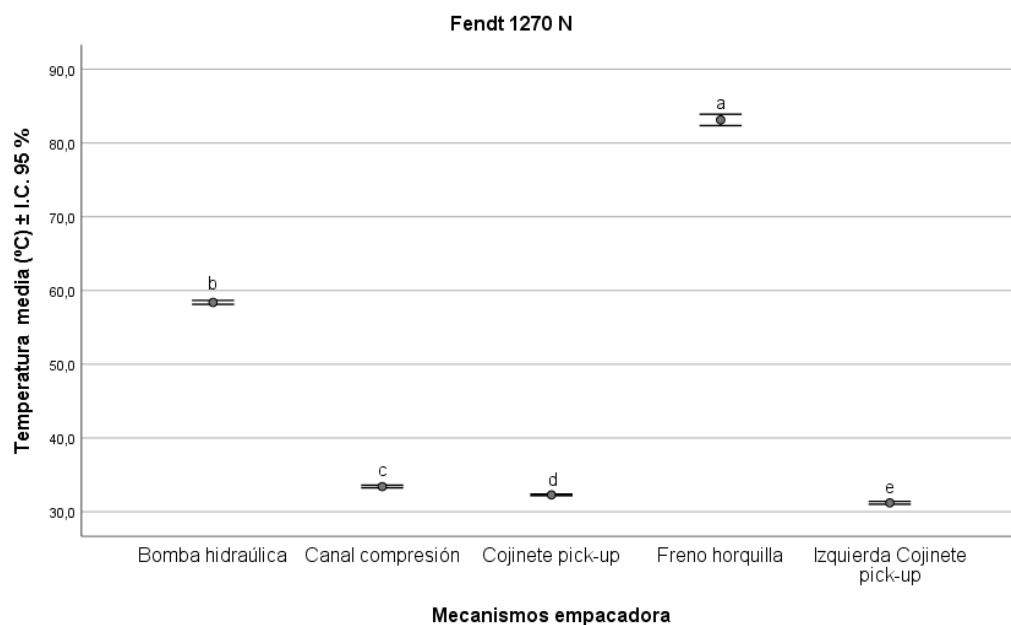


Figura 45. Temperatura media (°C) e intervalo de confianza 95% registrada en los mecanismos de la empacadora Fendt 1270 N. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre temperaturas ($p < 0,05$; ANOVA de Kruskal-Wallis).

En la empacadora New Holland Big Baler 1270 Plus, con cuatro mecanismos monitorizados, según puede observarse en la Figura 46, se han obtenido diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,0001$) entre las temperaturas de todos los mecanismos monitorizados. En esta empacadora, el freno de la horquilla también alcanzó la temperatura media más alta (55,2 °C).

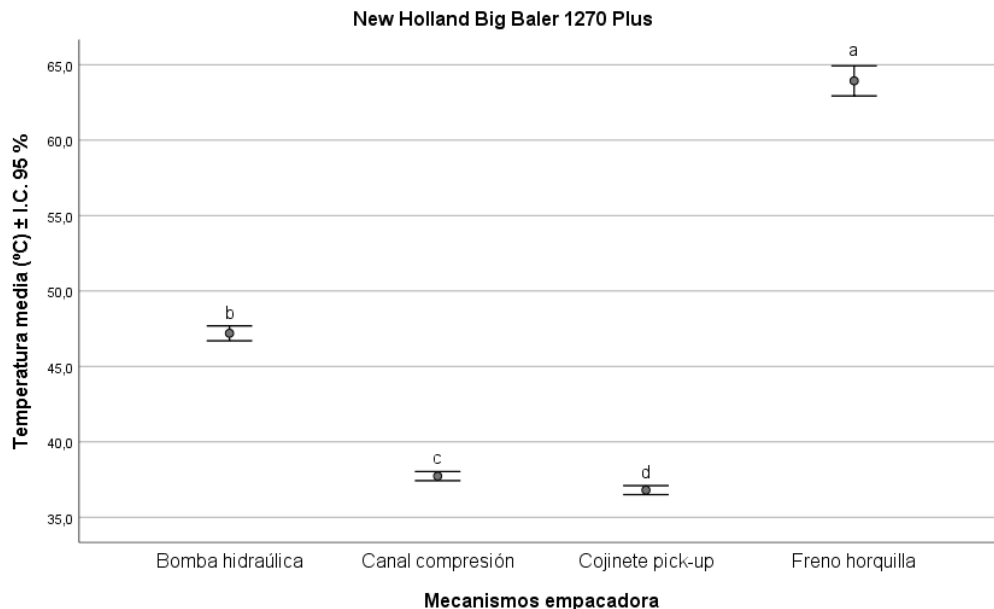


Figura 46. Temperatura media (°C) e intervalo de confianza 95% registrada en los mecanismos de la empacadora NH Big Baler 1270 Plus. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre temperaturas ($p < 0,05$; ANOVA de Kruskal-Wallis).

En la empacadora New Holland Bb 9070, con un total de cuatro mecanismos monitorizados, las sondas de los cojinetes del ventilador (34,0 °C) y del eje de alimentación del pick-up (34,3 °C) mostraron las temperaturas más bajas y estadísticamente similares, aunque se obtuvo un valor muy próximo al nivel de significancia ($p = 0,051$). Nuevamente, en esta empacadora, la temperatura media de trabajo en el freno de la horquilla alcanzó el valor más alto (55,2 °C), como se muestra en la Figura 47.

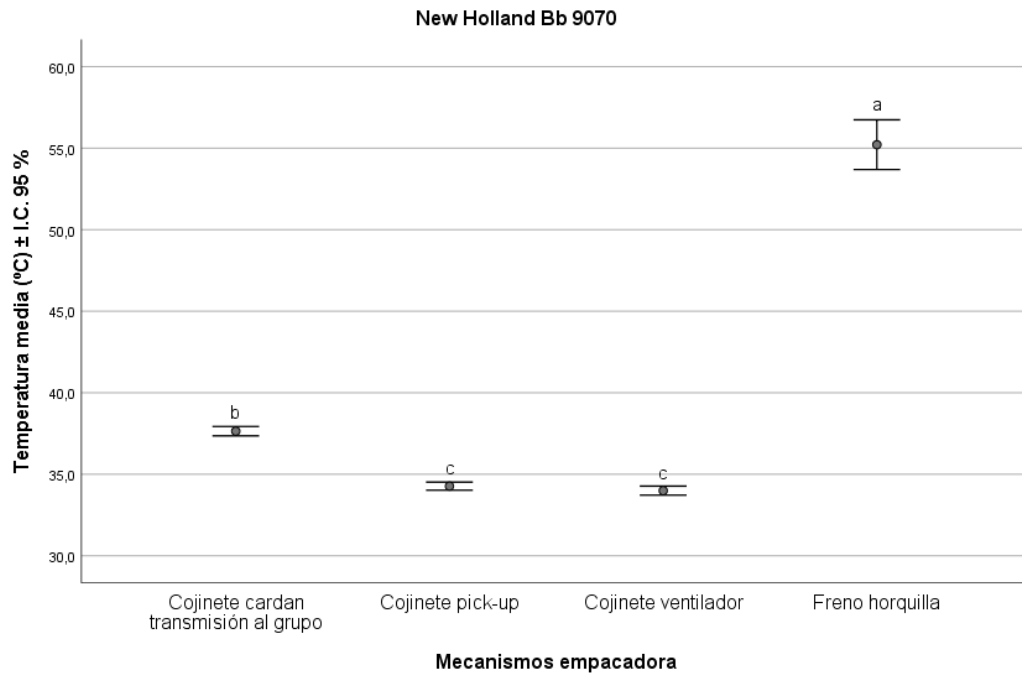


Figura 47. Temperatura media (°C) e intervalo de confianza 95% registrada en los mecanismos de la empacadora NH Bb 9070. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre temperaturas ($p < 0,05$; ANOVA de Kruskal-Wallis).

Los cinco mecanismos que se monitorizaron en la empacadora New Holland Big Baler 1270 Plus (Figura 48) mostraron diferencias significativas entre sí. El grupo mecánico de la empacadora fue el componente con el valor medio de temperatura más alto (45,8 °C).

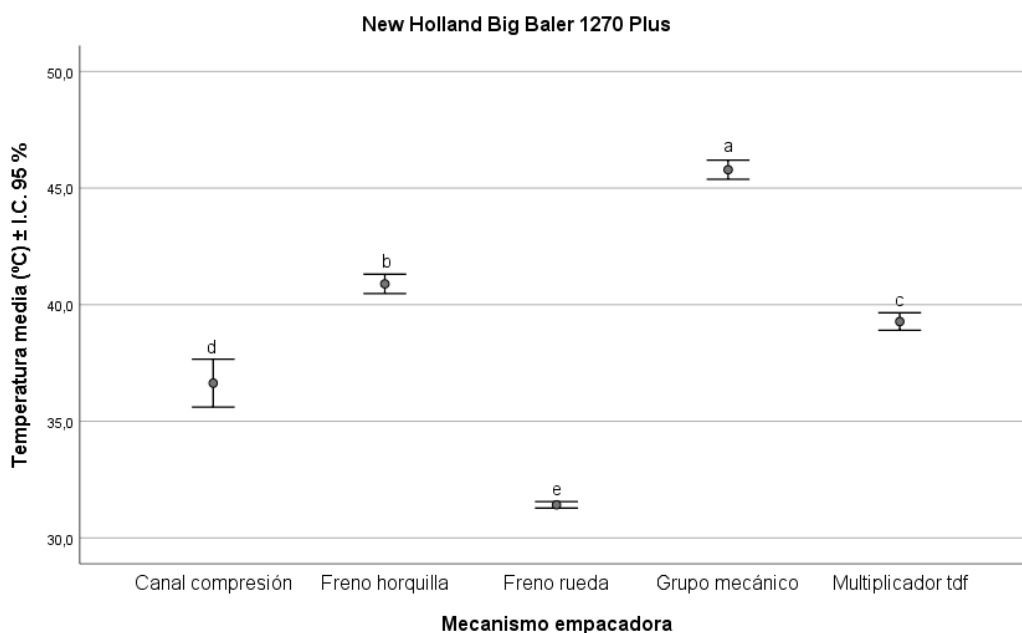


Figura 48. Temperatura media (°C) e intervalo de confianza 95% registrada en los mecanismos de la empacadora Big Baler 1270 Plus. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre temperaturas ($p < 0,05$; ANOVA de Kruskal-Wallis).

Por último, respecto a la empacadora Claas Quadrant 2200, las temperaturas medias de los cuatro mecanismos monitorizados mostraron diferencias significativas entre sí ($p < 0,0001$). La bomba hidráulica fue el mecanismo con mayor temperatura registrada (66,3 °C, Figura 49).

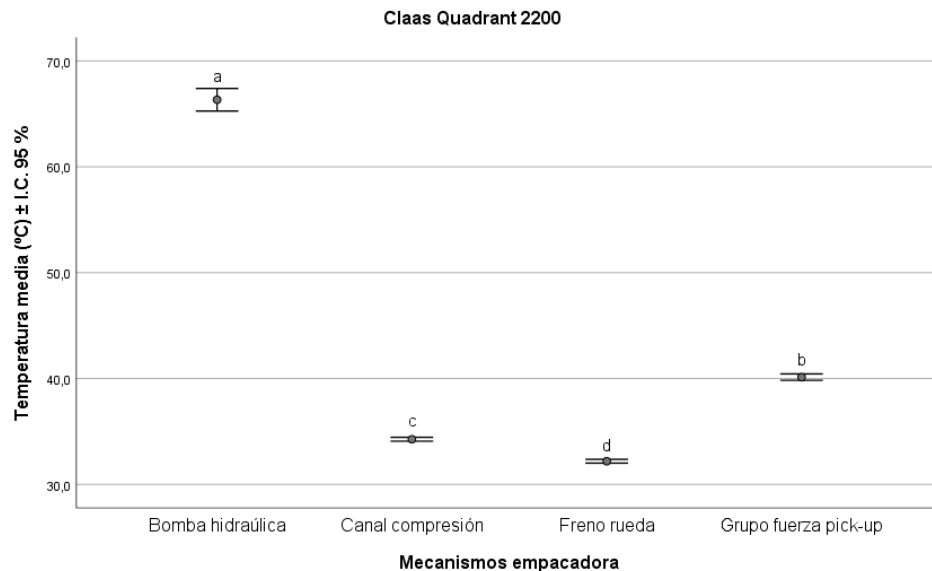


Figura 49. Temperatura media (°C) e intervalo de confianza 95% registrada en los mecanismos de la empacadora Claas Quadrant 2200. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre temperaturas ($p < 0,05$; ANOVA de Kruskal-Wallis).

3.2.1 Análisis de los registros de la misma empacadora en dos campañas

Mediante el análisis de las encuestas, se demostró la influencia del número de pacas acumuladas por la empacadora sobre el riesgo de incendio. Con los registros obtenidos en dos campañas consecutivas, se puede comprobar si las temperaturas de los mecanismos aumentan conforme la empacadora posee un mayor número de pacas realizadas. Al finalizar una campaña y comenzar la siguiente, en ambas empacadoras se realizó el mantenimiento y revisión de sus componentes habitual, sin necesidad de cambiar ninguno de ellos. En las siguientes figuras se pueden observar las temperaturas medias registradas en los componentes de dos empacadoras durante dos años consecutivos (Figura 50 y 51).

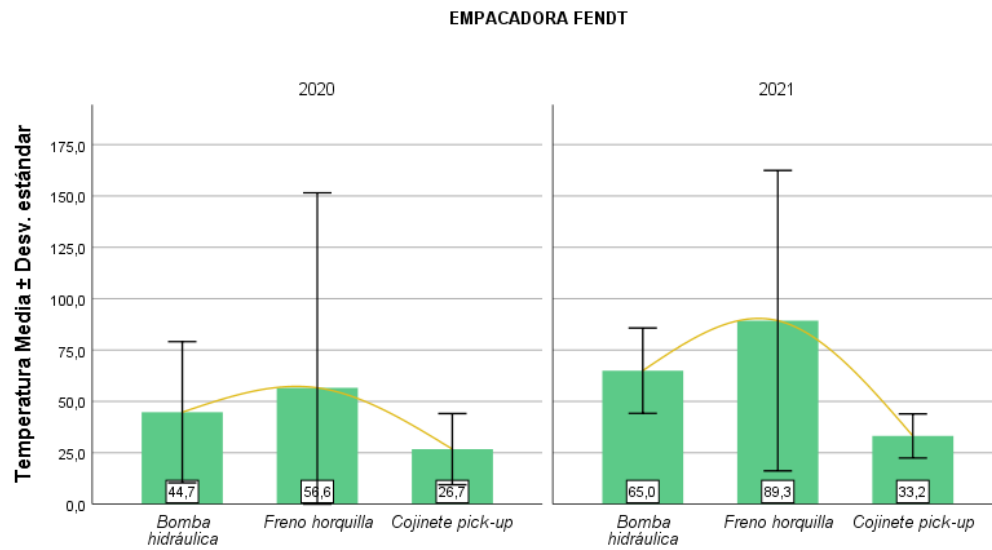


Figura 50. Temperaturas medias \pm desviación estándar registradas en los diferentes mecanismos de la empacadora Fendt durante las dos campañas de monitorización.

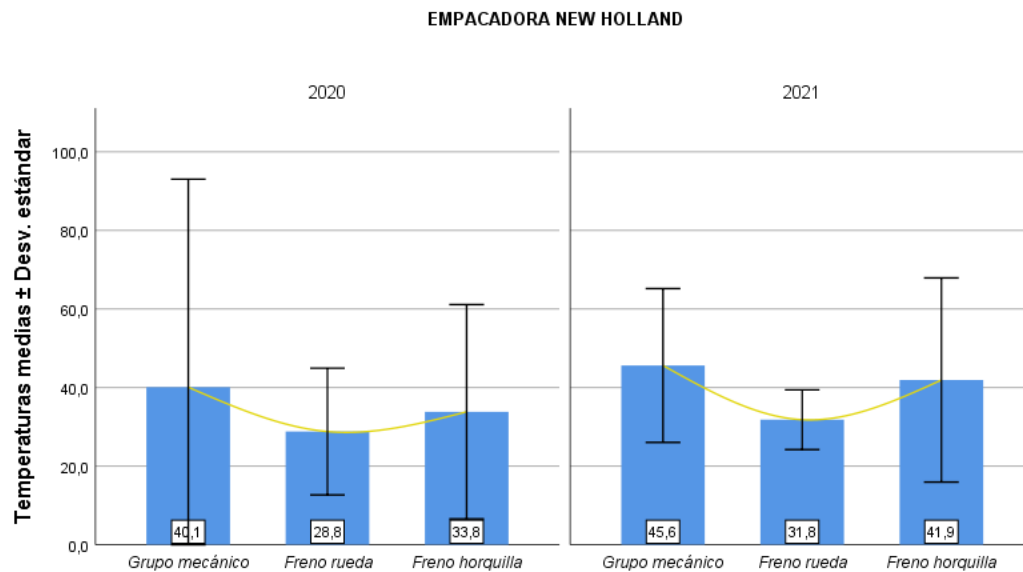


Figura 51. Temperaturas medias \pm desviación estándar registradas en los diferentes mecanismos de la empacadora New Holland durante las dos campañas de monitorización.

Se observa como la media de las temperaturas alcanzadas durante la segunda campaña es mayor que en la primera campaña. Se presenta también la evolución de las temperaturas ambientales entre las dos campañas (Figura 52), donde se puede observar como en la segunda campaña fue más elevada que en la primera.

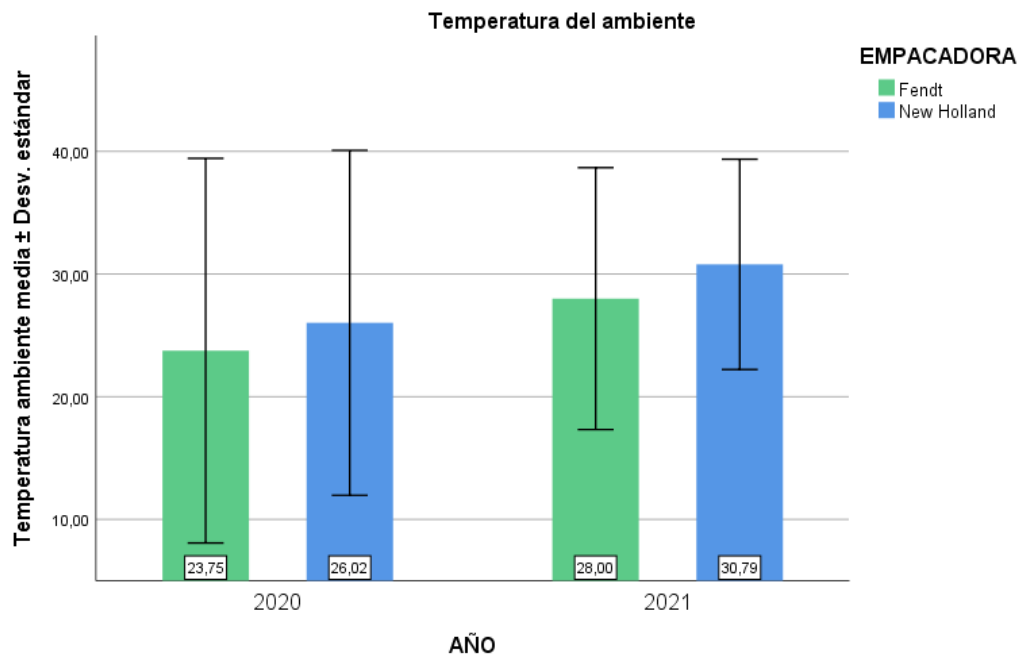


Figura 52. Temperaturas ambientales medias \pm desviación estándar registradas por las sondas exteriores de las empacadoras durante las dos campañas de monitorización.

3.2.1.1 Correlación entre las temperaturas registradas y la temperatura ambiente

Según se ha comentado en apartados anteriores y como argumentan Shutske et al. (1990) y Venem et al. (2002), la temperatura ambiente influye en las temperaturas alcanzadas por los diferentes componentes de las máquinas y, de forma muy significativa, junto con la humedad relativa, sobre el riesgo de inicio y propagación del incendio. En las gráficas de evolución de las temperaturas registradas en los días donde se dieron las temperaturas máximas, incluidas en el Anexo IV, es posible observar como las temperaturas aumentan conforme la temperatura ambiente aumenta.

Para analizar la posible correlación se realizó el análisis de correlación de Pearson entre ambas variables. Este análisis comprueba la dependencia lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas. Los resultados obtenidos se pueden ver en la Tabla 7. El nivel de significación resultante ($p < 0,0001$) demuestra que las temperaturas están correlacionadas. Sin embargo, aunque la prueba de hipótesis es positiva al 1% según la tabla 8, la medida de correlación reflejada por el coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0,072$) muestra que la correlación entre las variables analizadas es muy débil.

Tabla 7. Correlación de Pearson entre las temperaturas obtenidas de los registros de los mecanismos de las empacadoras y la temperatura ambiente en el momento del registro.

		TEMPERATURA	TEMP_AMBIENTE
TEMPERATURA	Correlación de Pearson	1	,072**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	98033	98033
TEMP_AMBIENTE	Correlación de Pearson	,072**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	98033	98033

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

3.3 Resultados de los registros de temperatura de la campaña de maíz

Obtenidos y procesados los datos de temperatura recogidos en la empacadora durante la campaña del maíz, en la Tabla 8 se presentan los valores de temperatura media, incluida la desviación estándar y el valor de temperatura máxima. También se incluyen los valores relativos a las condiciones ambientales en el momento de registro de la temperatura máxima.

Tabla 8. Temperaturas registradas durante las campañas de 2020 y 2021 en las empacadoras monitorizadas en condiciones de campo.

LOCALIZACIÓN DE LA Sonda	TEMPERATURA EMPACADORA		CONDICIONES AMBIENTALES	
	T _{op} (°C)	T _{max} (°C)	T (°C)	HR (%)
CANAL INFERIOR	29,7 ± 6,6	47,3	25,3	52,5
CANAL LATERAL	30,9 ± 6,3	45,2	25,3	51,7
COJINETE EJE PICK-UP	24,2 ± 3,3	32,2	25,4	52,6
COJINETE GRUPO PICK-UP	25,3 ± 3,6	32,2	25,3	51,9
COJINETE APOYO TDF	27,8 ± 4,9	38,9	25,6	52,0
BOMBA HIDRÁULICA	49,8 ± 9,6	67,0	21,8	52,8
DISTRIBUIDOR HIDRÁULICO	44,9 ± 10,8	61,1	25,3	52,0
FRENO HORQUILLA	69,8 ± 33,9	148,1	25,1	52,4

T_{op}: Temperatura de media operativa (desviación media- estándar).

T_{max} Temperatura máxima registrada.

La temperatura más elevada se registró en el freno de la horquilla, alcanzando 148,1 °C. Este mecanismo también fue el mayor foco de temperatura de la máquina en las campañas de trigo y cebada. La bomba hidráulica de la empacadora y el distribuidor hidráulico del rastrillo son los siguientes mecanismos que mayor

temperatura registraron, pero en un valor inferior al de la temperatura máxima registrada por el freno de la horquilla.

La distribución de las temperaturas no se corresponde con una curva normal (test de Kolmogorov-Smirnov), por lo que se realizó un análisis de varianza a través del test no paramétrico de Kruskal-Wallis. En el análisis por parejas, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los siguientes mecanismos.

- ✚ Cojinete del eje de fuerza del pick-up y del grupo del pick-up.
- ✚ Cojinete apoyo toma de fuerza del tractor con la sonda del canal de compresión en la pared inferior.
- ✚ La pared lateral con la pared inferior del canal de compresión.
- ✚ Freno de la horquilla con la bomba hidráulica.

En la figura 53, se pueden observar los valores medios de temperatura que se registraron en los distintos componentes de la máquina.

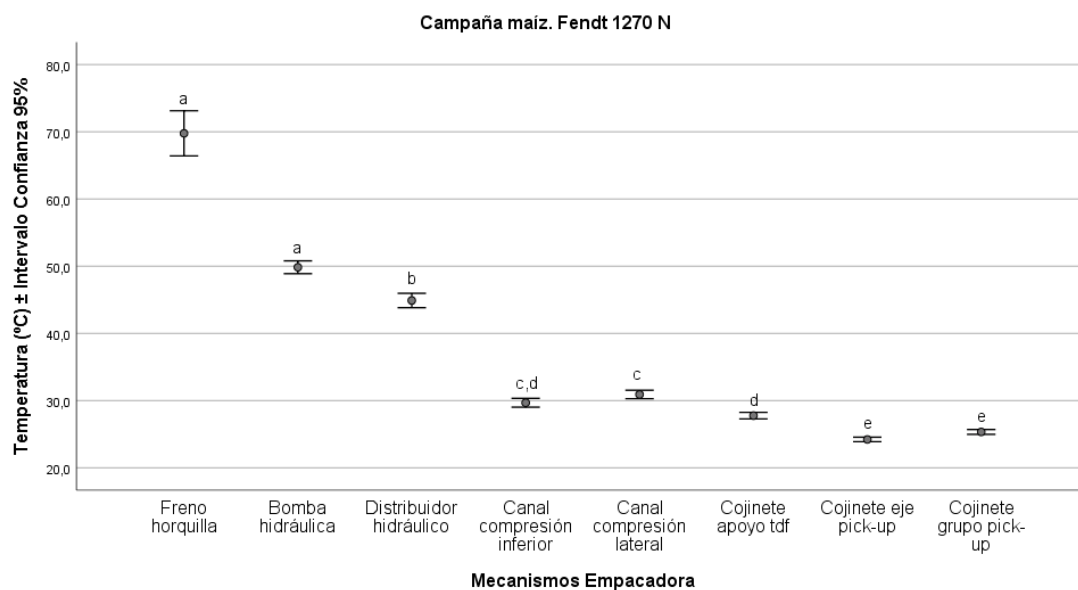


Figura 53. Temperatura medias e intervalo de confianza 95% de los mecanismos de la empacadora Fendt 1270 N, en la campaña del maíz. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre temperaturas ($p < 0,05$; ANOVA de Kruskal-Wallis).

Al no existir diferencias significativas entre los componentes en los que se instalaron dos sondas, como por ejemplo en el canal de compresión, para monitorizar su comportamiento sería indiferente en qué punto del mismo se colocase la sonda. Ocurre lo mismo para los cojinetes del grupo del pick-up y del eje de fuerza, donde bastaría con instalar una sonda para monitorizar las temperaturas del conjunto pick-up y poder observar comportamientos anómalos. No es el caso de la bomba hidráulica y el distribuidor hidráulico, aunque presentan distribuciones de temperatura

próximas en cuanto a valores máximos y medios. Se debe tener en cuenta que ambos mecanismos están destinados a circuitos hidráulicos, sin embargo, son independientes el uno del otro. El circuito hidráulico del rastrillo cuenta con bomba hidráulica propia y está conectado al circuito hidráulico del tractor.

Existen diferencias en las condiciones ambientales entre las dos campañas en las que se están realizando registros. Demostrada ya la fuerte influencia de la temperatura ambiental sobre las temperaturas de los mecanismos, las menores temperaturas registradas durante la campaña de maíz se ven influenciadas por este ítem. En las Figuras 54 y 55 se puede observar la distribución de la temperatura media ambiente registrada en ambas campañas.

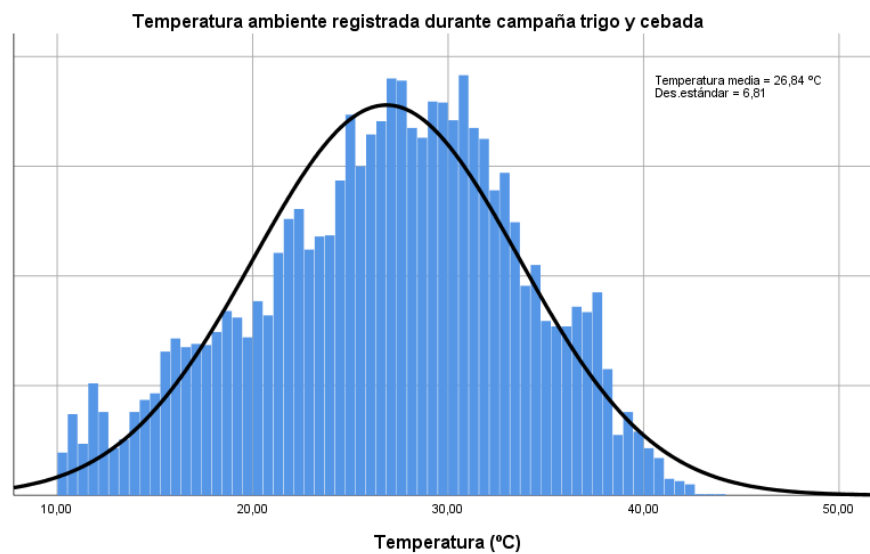


Figura 54. Distribución de la temperatura media ambiental durante las campañas de trigo y cebada.

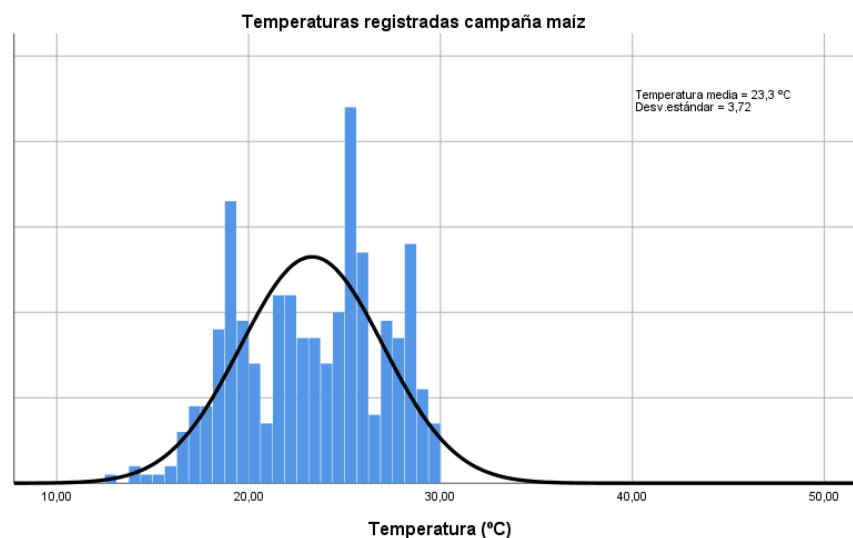


Figura 55. Distribución de la temperatura media ambiental durante las campañas de maíz.

En los registros correspondientes a la campaña de trigo y cebada, la temperatura ambiente media ha sido $26,8 \pm 6,8$ °C. En los registros tomados durante la campaña de maíz, la temperatura media fue de $23,3 \pm 3,7$ °C. Sin embargo, las temperaturas máximas que serán las más influyentes para los máximos registrados en los mecanismos, durante la campaña de verano fue 10,0 °C superior a la de otoño.

3.4 Resultados de la influencia de la cantidad de producto procesado sobre el riesgo de incendio

3.4.1 Análisis descriptivo

Se obtuvieron 144 registros de temperatura en un periodo de tiempo que transcurre entre las 16:17 h y las 18:40 h. En este periodo, la temperatura ambiental registrada fue $31,6 \pm 0,3$ °C, y la humedad relativa $31,2 \pm 0,79$ %, desviaciones mínimas en ambas distribuciones que permiten considerar ambos parámetros constantes durante todo el ensayo.

La carga de trabajo se obtuvo calculando los kilogramos de paja empacados en el intervalo de tiempo en el que se mantuvo constante la velocidad de avance de la máquina. El régimen de la toma de fuerza del tractor se mantuvo constante para las diferentes velocidades de avance de la máquina. En la Tabla 9. **Nº pacas procesadas y carga de trabajo (kg/min) de la empacadora en función de los diferentes rangos de velocidad.** Tabla 9 se muestran los datos obtenidos:

Tabla 9. Nº pacas procesadas y carga de trabajo (kg/min) de la empacadora en función de los diferentes rangos de velocidad.

VELOCIDAD	TIEMPO (min)	Nº PACAS REALIZADAS	PESO UNITARIO/PACA (kg)	CANTIDAD PAJA PROCESADA (kg)	CARGA DE TRABAJO (kg/min)
MEDIA	19	23	349,47	8037,81	423,04
MEDIA	25	29	350,12	10153,48	406,14
BAJA	20	24	318,75	7650,00	382,50
BAJA	23	17	352,14	5986,38	260,28
ALTA	11	17	316,4	5378,80	488,98
ALTA	27	34	347,12	11802,08	437,11

En dos de las mediciones, concretamente la primera de velocidad baja y la primera de velocidad alta que aparecen en la Tabla 9, el peso por paca resultante fue inferior al del resto. Esto se debe a que surgió un problema con uno de los atadores

en el momento de la realización de estas mediciones, siendo necesario disminuir la presión de la empacadora y por tanto disminuir el peso por paca. Debido a esta causa, el tiempo del primer registro a velocidad alta también es inferior al del resto de mediciones por la necesidad de parar la máquina para solventar el problema. No obstante, la segunda medición se ejecutó durante un periodo de tiempo mayor.

Para realizar el análisis, la carga de trabajo se consideró como la media de las dos cargas (kg/min) obtenidas para cada configuración de velocidad del tractor, con el objetivo de agrupar registros. Es decir, los rangos de carga de trabajo en el análisis de resultados son:

- Carga de trabajo baja: 321,29 kg/min.
- Carga de trabajo media: 414,59 kg/min.
- Carga de trabajo alta: 463,05 kg/min.

A continuación, en las Figuras 56, 57 y 58, se representa la evolución de las temperaturas en los tres componentes a lo largo del tiempo para cada carga de trabajo.

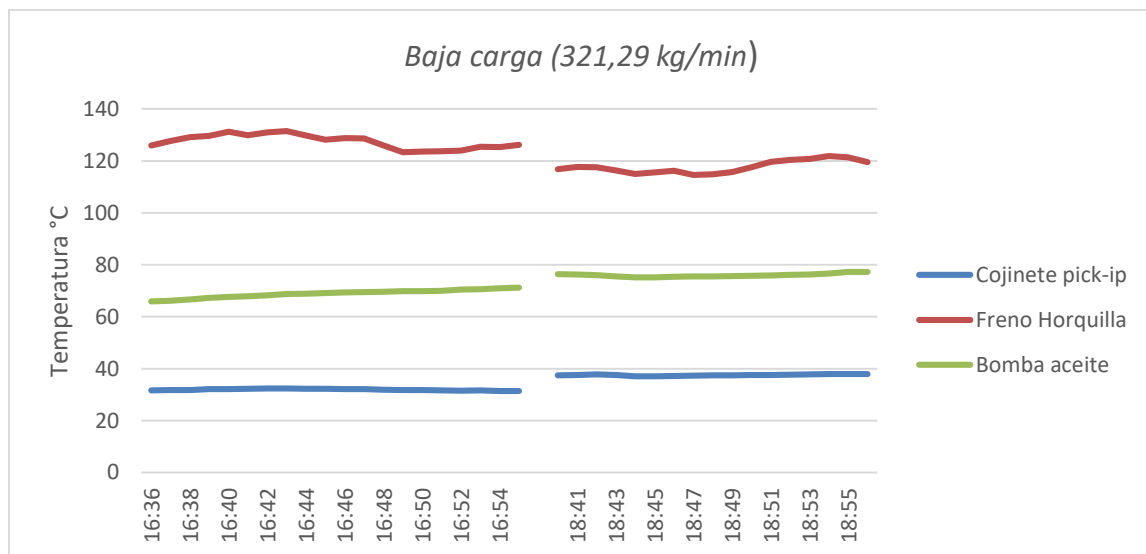


Figura 56. Evolución de la temperatura registrada a lo largo del tiempo en distintos componentes para una carga de trabajo baja.

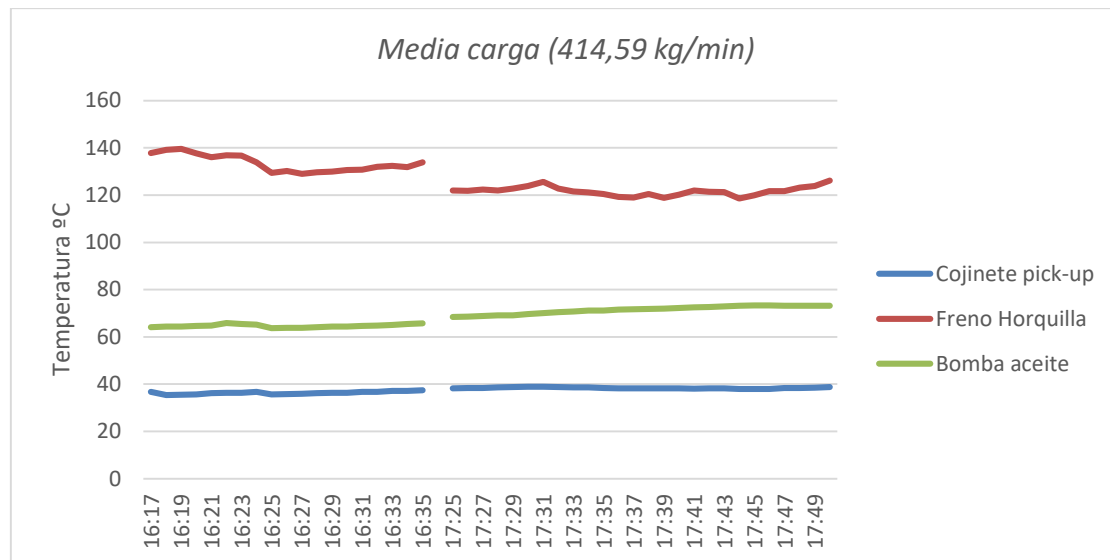


Figura 57. Evolución de la temperatura registrada a lo largo del tiempo en distintos componentes para una carga de trabajo media.

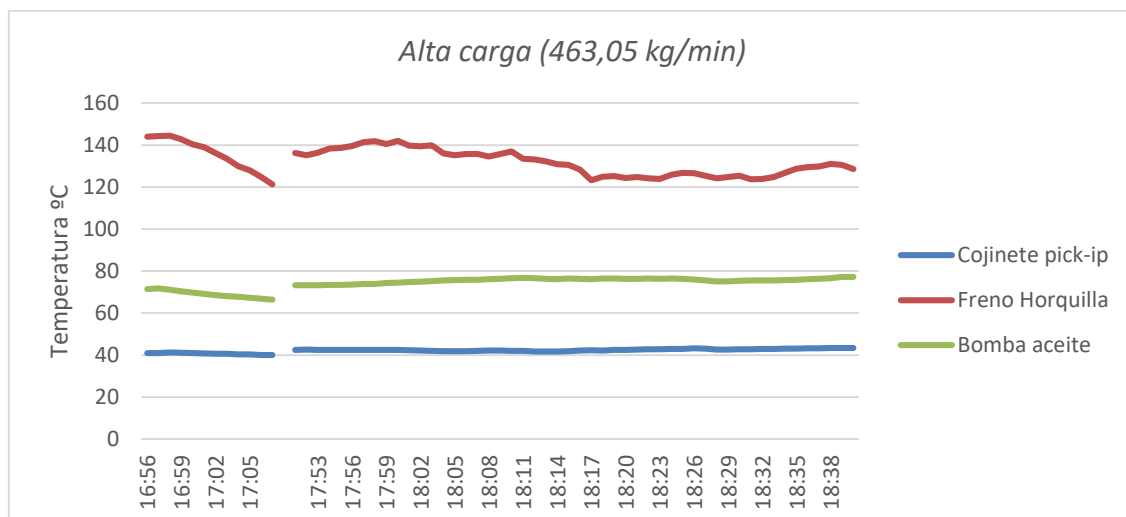





Figura 58. Evolución de la temperatura registrada a lo largo del tiempo en distintos componentes para una carga de trabajo alta.

3.4.2 Análisis estadístico de los resultados

La variable temperatura (T') engloba las temperaturas registradas por las sondas, en la ubicación de los componentes analizados, siendo:

-  T1: Eje motriz del mecanismo del pick-up.
-  T2: Freno horquilla.
-  T3: Bomba hidráulica.

En primer lugar, se realizó la prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov para comprobar la distribución normal de los datos. Se comprobó que las temperaturas no siguen una distribución normal, tampoco sometidas a transformaciones, por lo

que se optó por analizar los datos a través de un análisis de varianza no paramétrico (ANOVA de Kruskal-Wallis). Se analizó si existen diferencias significativas entre las temperaturas registradas por cada sonda. Posteriormente se analizaron las diferencias entre temperaturas, independientemente de las diferentes cargas de trabajo, con el objetivo de encontrar relaciones entre las temperaturas obtenidas para cada carga. No se encontraron diferencias significativas entre ninguna distribución de temperatura registrada entre las sondas ($p < 0,05$).

En el análisis de las temperaturas obtenidas para cada carga de trabajo, por una misma sonda, se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas para cada análisis ($p < 0,0001$). Por tanto, ninguna distribución obtenida para cada carga de trabajo, por la misma sonda, sigue el mismo patrón que las otras dos.

En la Figura 60 se puede observar la temperatura media alcanzada en el pick-up en función de la carga de trabajo. Conforme aumenta la carga de trabajo, la sonda registró un aumento de temperatura, estabilizando los registros para la carga más alta, debido a la reducción del intervalo de confianza.

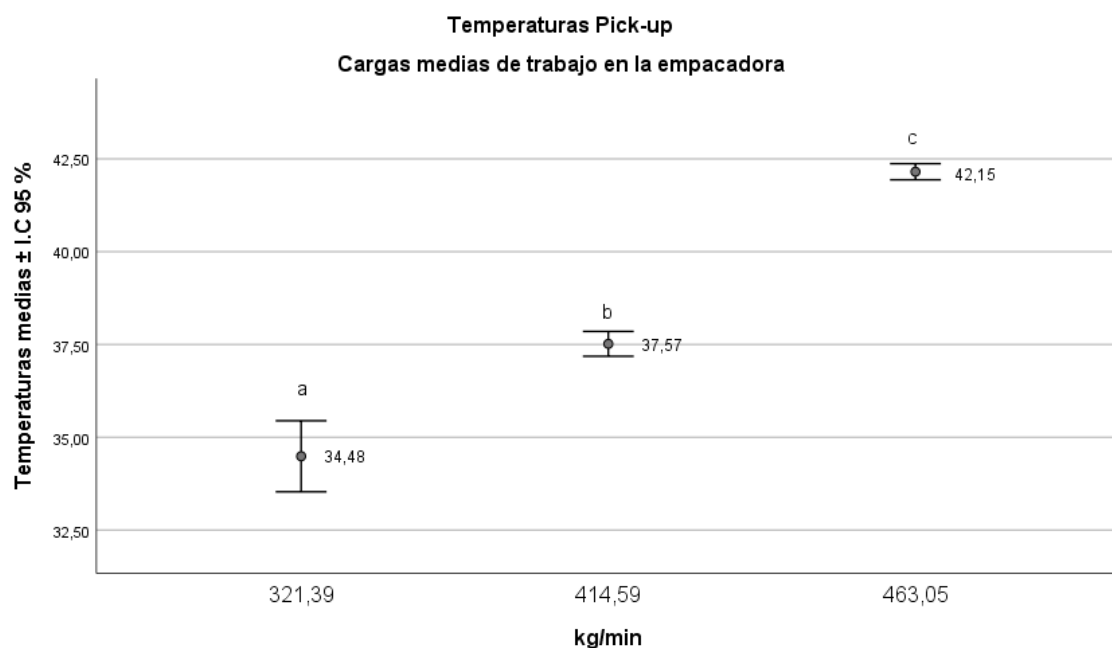


Figura 59. Temperatura media e intervalo de confianza al 95% del grupo del pick-up según las diferentes cargas de trabajo. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre temperaturas ($p < 0,05$; ANOVA de Kruskal-Wallis).

En la Figura 60, se detalla la influencia de las cargas de trabajo en el freno de la horquilla del alimentador. Conforme aumento la carga de trabajo a la que era sometida la empacadora, las temperaturas del mecanismo aumentaron.

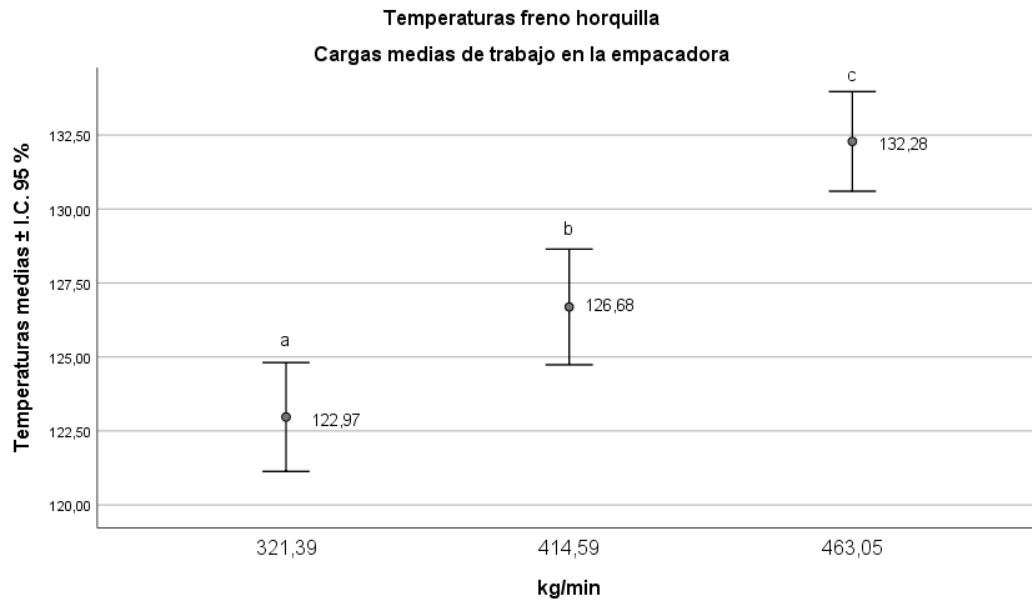


Figura 60. Temperatura media e intervalo de confianza al 95% del freno de la horquilla según las diferentes cargas de trabajo. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre temperaturas ($p < 0,05$; ANOVA de Kruskal-Wallis).

La bomba hidráulica fue el único mecanismo, entre los tres monitorizados en el ensayo, que no aumentó su temperatura conforme se aumentó la carga de trabajo (Figura 61).

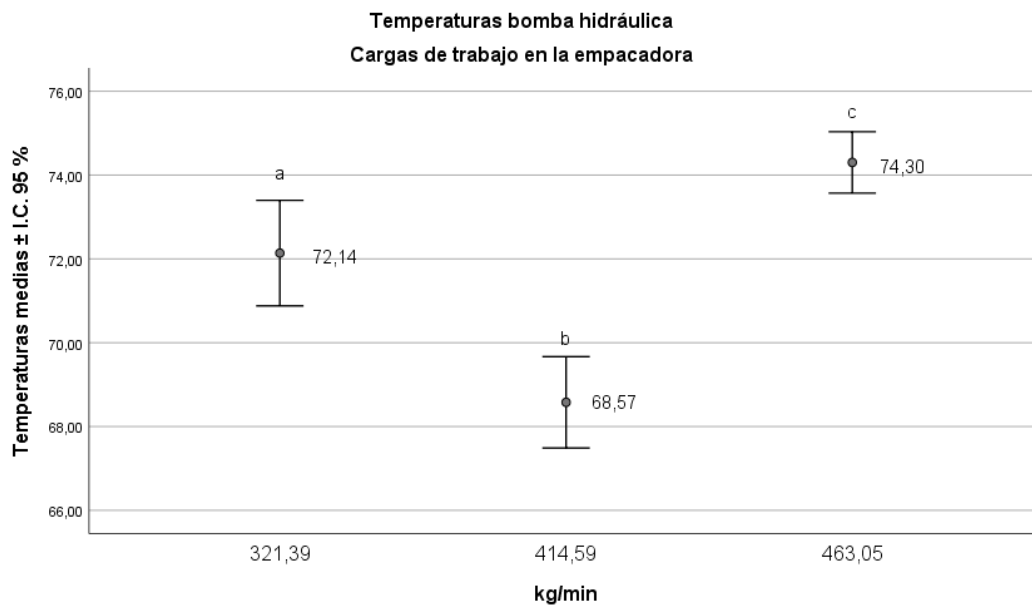


Figura 61. Temperatura media e intervalo de confianza al 95% de la bomba hidráulica según las diferentes cargas de trabajo. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre temperaturas ($p < 0,05$; ANOVA de Kruskal-Wallis).

En la Figura 62, se representa la ecuación de evolución de las temperaturas en los mecanismos estudiados, según los datos obtenidos en el ensayo. Se ha obtenido mediante la línea de tendencia de las temperaturas medias para cada rango,

por esa razón, la constante parte del primer registro con las temperaturas de la empacadora ya puesta a régimen. La pendiente de la recta será el factor más importante de la ecuación, ya que cuanto más elevado sea su valor, mayor variabilidad tendrán las temperaturas para cada carga de trabajo.

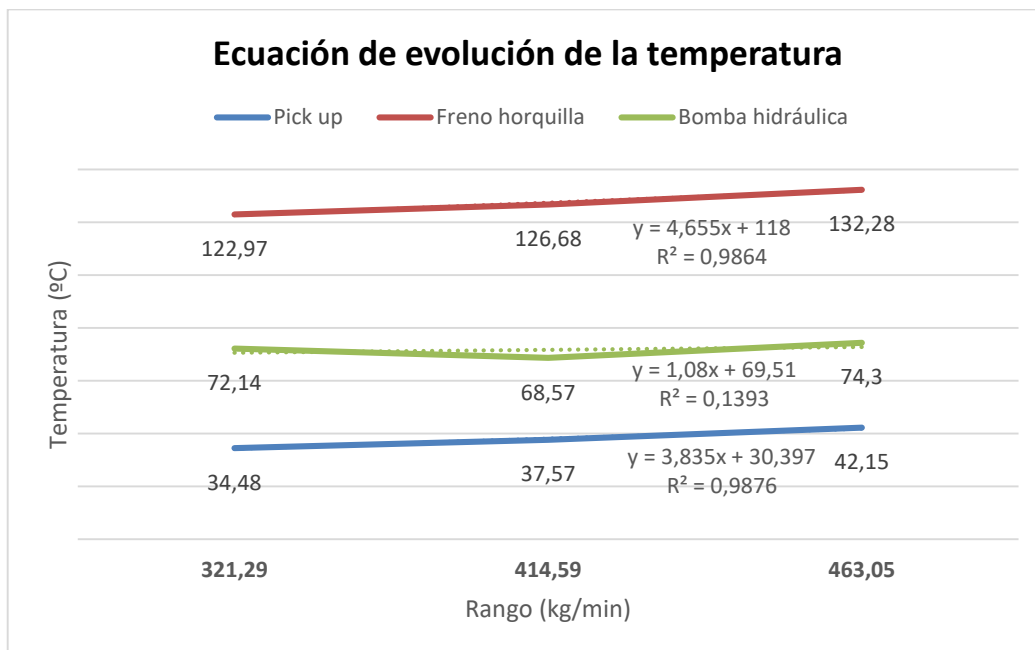


Figura 62. Líneas de tendencia y ecuaciones de evolución de las distribuciones de la temperatura para cada rango.

Según los resultados que se obtuvieron en el análisis de la influencia de la cantidad de producto procesado sobre el riesgo de incendio, se pudo apreciar como la empacadora cuenta con unos rangos de capacidad en los que el requerimiento mecánico de sus componentes es más elevado, aumentando por tanto la temperatura de los mismos. Para superar los rangos más altos es necesario que la potencia del tractor lo permita. Es decir, que tenga simultáneamente la capacidad de arrastre de la empacadora y la potencia a la toma de fuerza suficiente. Por lo que un tractor con elevada potencia, con una empacadora que tenga poco rendimiento de pacas/hora, tiene un mayor riesgo de incendio siempre que el usuario imponga a la empacadora una carga de trabajo excesiva. Individualmente para cada componente monitorizado:

El pick-up aumenta la temperatura conforme aumenta la carga de trabajo. Se debe considerar que el eje trabaja a las mismas revoluciones y potencia independientemente de la cantidad de paja procesada. Sin embargo, la pendiente obtenida en la ecuación es elevada, por lo que se aprecia una influencia de la carga de trabajo sobre la temperatura obtenida. Del mismo modo, con la carga de trabajo más elevada, los valores de temperatura obtenidos tienen un intervalo de confianza mucho más reducido respecto a su media, que los datos obtenidos para la carga de

trabajo baja. En el supuesto de que la carga fuese excesiva, se originarían sobreesfuerzos en los rodamientos que en el peor de los casos, producirían el fallo del rodamiento y la rotura de alguno de sus componentes. Las partes desprendidas del rodamiento a mucha mayor temperatura que la medida en su carcasa, podría ser un foco de origen de incendio.

El freno de la horquilla aumenta la temperatura conforme aumenta la cantidad de paja procesada. Este mecanismo se acciona mecánicamente por presión del material en la precámara de la empacadora, para elevar la paja de la precámara, cuando está llena, a la cámara de compresión. Si la cantidad de paja que procesa la empacadora es mayor, consecuentemente la precámara se llenará con mayor rapidez y por tanto más veces se accionará la horquilla. Por este motivo, el freno de la horquilla trabaja con mayor frecuencia y deberá disipar mayor calor originado en el frenado por fricción, lo que conlleva un aumento de la temperatura del mecanismo. La pendiente resultante en la ecuación es elevada, pero el intervalo de confianza de los registros de temperatura es similar en cada una de las cargas, por lo que tendría un comportamiento de trabajo normal.

La bomba hidráulica no muestra un patrón proporcional a la carga de trabajo. Las temperaturas más bajas se dan para la carga media y la ecuación resultante tiene pendiente positiva con escasa inclinación. El intervalo de confianza de los datos es similar en los tres rangos. Por tanto, estos resultados muestran que el mecanismo realiza su trabajo independiente a la cantidad de paja que procesa la empacadora, sin manifestar modificaciones claras de temperatura.

3.5 Análisis de los residuos en las empacadoras

3.5.1 Distribución del tamaño de partícula

Se debe considerar que cada máquina en la que se recogió residuo tiene un diseño mecánico diferente, puesto que son diferentes modelos. Es decir, ninguna máquina tiene el mismo chasis, ni la misma disposición espacial de sus componentes o sistema de funcionamiento de estos, e incluso ninguna metodología similar de trabajo (producto empacado, horas de trabajo al día, pacas realizadas por día de trabajo...). Estas razones dificultan la comparación de la acumulación de residuos entre empacadoras, ya que en un determinado modelo por su simple emplazamiento en la máquina o su configuración recoge una granulometría concreta. No obstante,

sí es posible obtener resultados genéricos para todos los modelos respecto a los residuos que una macroempacadora genera y acumula.

En la Tabla 10 se muestra la caracterización granulométrica del residuo de las diferentes partes de la empacadora tras su cribado.

Tabla 10. Caracterización granulométrica del residuo de las distintas zonas de la máquina.

Máquina	Zona	Peso(g)	<250µm	250µm	500µm	1mm	2mm	>4mm
Claas Quadrant 5200 FC	General	149,59	14,71%	8,64%	14,47%	19,36%	22,89%	19,93%
	Bomba hidráulica	106,21	22,34%	9,88%	12,99%	14,29%	12,80%	27,69%
	Embrague horquilla	78,08	31,89%	6,99%	10,98%	13,87%	23,14%	13,13%
NH Big Baler 1270 Plus	General	264,92	31,30%	9,62%	9,50%	12,06%	14,40%	23,12%
	Transmisión cardan	216,69	36,20%	12,84%	12,06%	11,02%	13,33%	14,56%
	Bomba hidráulica	109,85	59,91%	9,00%	6,63%	7,66%	7,50%	9,30%
	Freno horquilla alimentación	16,54	45,57%	15,78%	6,71%	3,93%	6,29%	5,93%
NH BB 9070	Distribuidor hidráulico rastrillo	75,2	24,83%	7,49%	9,71%	10,59%	11,22%	36,17%
	Transmisión pick-up	211,57	43,90%	15,05%	13,01%	10,37%	8,97%	8,70%
	Cardan transmisión atadores	145,10	72,90%	11,85%	6,24%	2,36%	2,37%	4,27%
	Freno horquilla alimentación	127,14	52,95%	18,98%	10,59%	5,87%	5,21%	6,40%

Analizando las zonas, se observa una tendencia de acumulación de los tamaños menores (<250 µm y 250 µm) en el mecanismo de la horquilla de alimentación, embrague o freno, según el fabricante de empacadora. En la bomba hidráulica se observan diferentes resultados según la empacadora, en la empacadora Claas los residuos más abundantes fueron los más grandes (>4 mm), por el contrario, en la NH Big Baler, los residuos más abundantes son los menores a 250 µm con gran diferencia sobre el resto. En las transmisiones cardan se observa como los residuos más abundantes fueron los de menores granulometrías, destacando la junta cardan de la transmisión a los sopladores de los atadores de la empacadora NH Bb 9070. En esta empacadora, para la granulometría <250 µm resultó un porcentaje mayor del 50% del peso de la muestra, muy superior a los demás. El único componente donde se recogió residuo exteriormente a la carrocería de la empacadora fue el distribuidor hidráulico del rastrillo. La granulometría más abundante en este componente fueron los tamaños mayores a 4 mm. En la Figura 63, de forma gráfica, se muestra el

promedio de todas las granulometrías obtenidas de las diferentes zonas de la empacadora. Se observa que las partículas menores a 250 μm cuentan con un porcentaje más elevado.

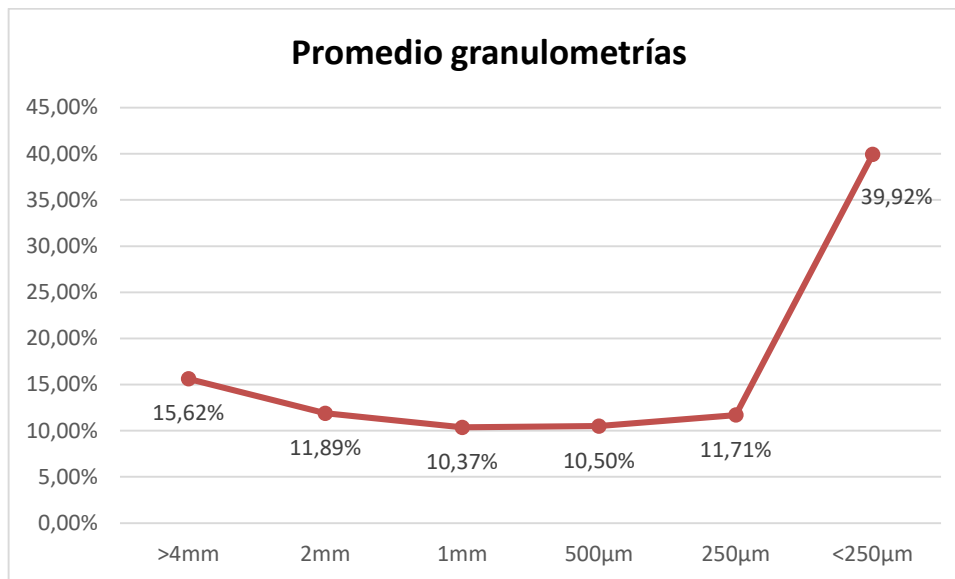


Figura 63. Promedio de los resultados de los 6 tamaños tamizados. a) 4 mm; b) 2 mm; c) 1 mm; d) 500 μm ; e) 250 μm ; f) <250 μm .

En la Figura 64 se presentan los promedios del porcentaje del peso respecto del peso total para las granulometrías obtenidas.

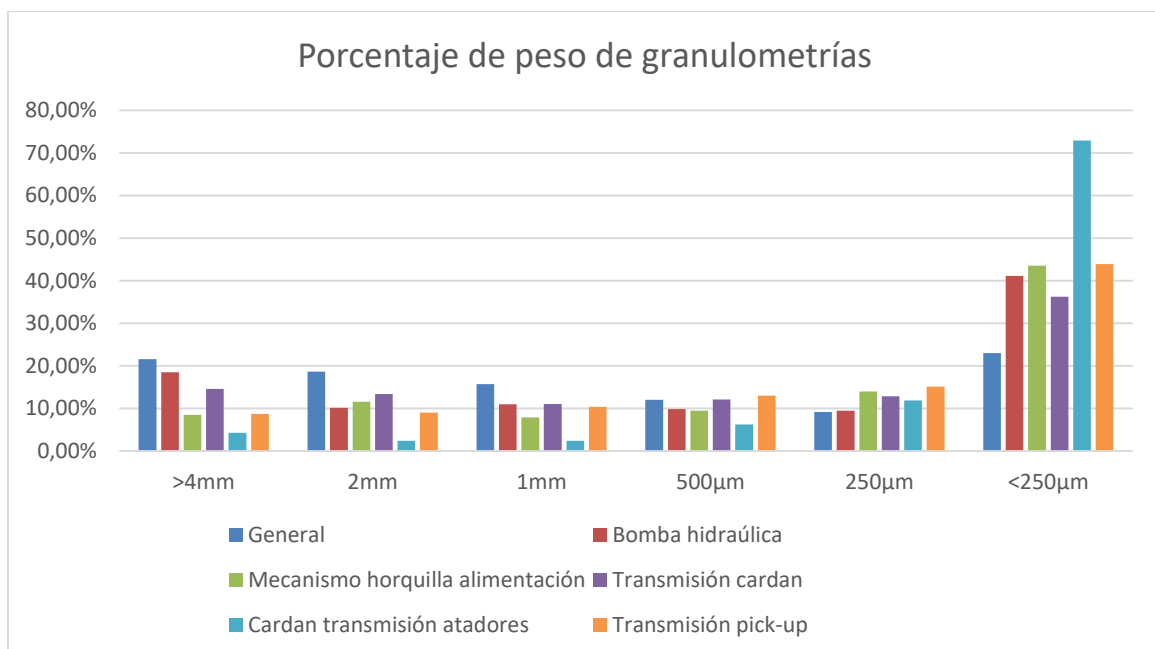


Figura 64. Porcentaje del peso de los resultados de los 6 tamaños tamizados respecto el total de la muestra.

3.5.2 Potencial de ignición de los residuos

Mediante un ensayo de ignición es posible determinar las temperaturas a las que se produce la ignición de los residuos, en función del espesor del residuo que se somete a esa temperatura y el tiempo necesario para que comience la ignición. El siguiente paso fue comparar los residuos, caracterizados en el apartado anterior, con su poder comburente determinado mediante un ensayo de ignición. De esta forma, se puede determinar el riesgo potencial frente a un posible incendio, al ser conocida la temperatura alcanzada en la zona de recogida de ese residuo.

La paja de trigo está formada mayoritariamente por celulosa (Romero-Uscanga et al., 2014), con alta concentración de volátiles, bajo contenido de cenizas (García-Torrent et al., 2016; Fernández-Anez y García-Torrent, 2019) y una alta relación H/C (García-Torrent et al., 2016). Fernández-Anez y García-Torrent, (2019) compararon distintos tamaños de partícula (polvo y elementos gruesos) de diferentes materiales, entre los que se incluyó la paja de trigo, para dos espesores (5 mm y 50 mm, sin compactar y compactado). Concluyeron que para el menor espesor (5 mm), la temperatura necesaria para la ignición del polvo era menor que para los elementos gruesos. Esto se explica porque, mientras que en los elementos gruesos los espacios entre los gránulos conectan casi directamente la superficie caliente con el aire de la parte superior de la capa (aumentando las pérdidas de calor y disminuyendo la superficie de contacto entre el material y la superficie), en las capas de polvo la superficie de contacto aumenta (debido a la disposición de las partículas, que cubren completamente la parte interna del anillo de aluminio). Al ser los espacios entre partículas más pequeños para el polvo, disminuyen las pérdidas de calor y se favorece la ignición.

Para poder determinar el poder de ignición de los residuos se tomaron como referencia los resultados obtenidos por Val-Aguasca et al. (2019). Estos resultados se obtuvieron con residuos de cebada y trigo recogidos en cosechadoras. En algunas de las muestras recogidas en las empacadoras también se encontraban residuos de forrajes, mayoritariamente de alfalfa. No obstante, la paja de forraje tiene un menor riesgo de incendio que la paja de cebada o trigo debido a su mayor contenido de humedad, por lo que a estos efectos se consideraron como más representativos para los objetivos de la investigación los resultados obtenidos para los residuos de trigo y cebada.

En la Figura 65 se muestra la temperatura mínima de ignición en función del tamaño de partícula y del espesor de la muestra (Val-Aguasca et al., 2019). Se puede

observar una disminución en la temperatura de ignición cuando el tamaño de partícula del residuo era menor. Del mismo modo, para el mismo tamaño de partícula, la temperatura de ignición disminuyó a medida que aumentaba el espesor de la muestra. La temperatura mínima de ignición fue de 250°C, asociada con el residuo de 250 μm y un espesor de 15 mm.

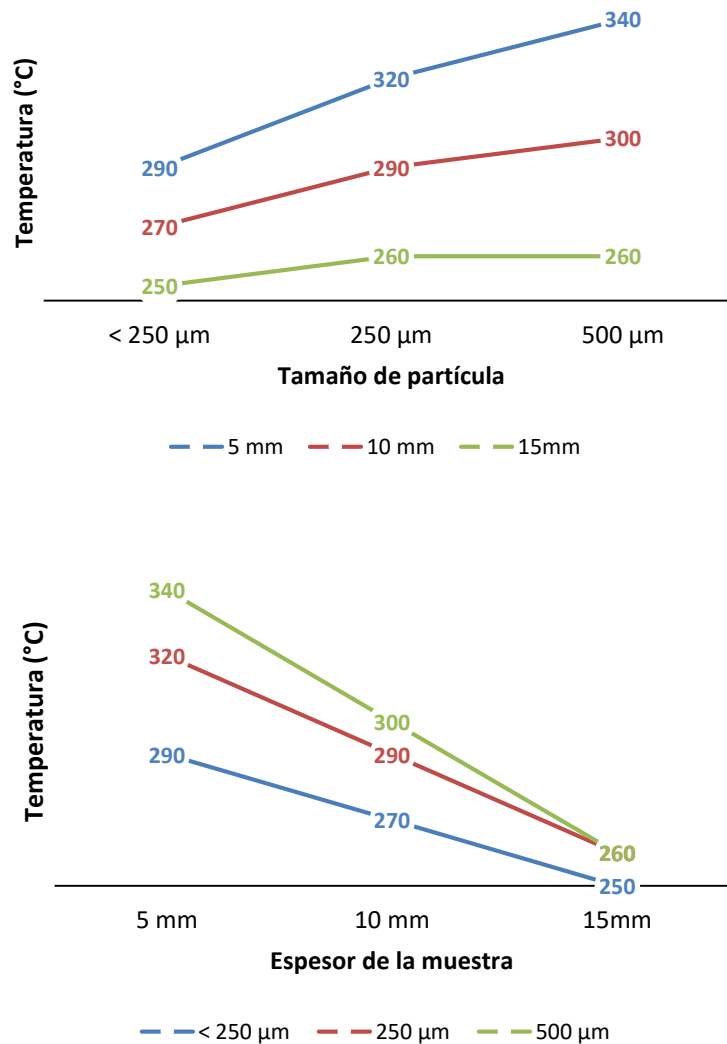


Figura 65. Representación de la temperatura de ignición en función del tamaño de muestra para tres espesores de muestra (superior) y del espesor de la muestra para tres tamaños de partícula (inferior).
Fuente: Val Aguasca et al. (2019).

Los resultados del ensayo de las pruebas de autoignición en placa caliente, que se utilizaron para comparar los registros, se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultados de las pruebas de autoinflamación de placas calientes de capas de residuo de trigo según UNE-EN ISO/IEC 80079-20-2:2016. Fuente: Val-Aguasca et al. (2019).

Espesor	Tamaño	Temperatura de la superficie (°C)	Resultado de la prueba	Tiempo de ignición (min)
5 mm	< 250 μm	290	Ignición	5
		280	Sin ignición	30
		280	Sin ignición	30
	250 μm	320	Ignición	3
		310	Sin ignición	30
	500 μm	340	Ignición	3
		330	Sin ignición	30
	1 mm	360	Ignición	2
		350	Sin ignición	30
10 mm	< 250 μm	280	Ignición	7
		270	Ignición	10
		260	Sin ignición	45
	250 μm	300	Ignición	5
		290	Ignición	6
		280	Sin ignición	45
	500 μm	320	Ignición	3
		310	Ignición	5
		300	Ignición	6
		290	Sin ignición	45
15 mm	< 250 μm	260	Ignición	13
		250	Ignición	28
		240	Sin ignición	120
	250 μm	280	Ignición	11
		270	Ignición	12
		260	Ignición	17
		250	Sin ignición	60
	500 μm	290	Ignición	10
		280	Ignición	12
		270	Ignición	16
		260	Ignición	20
		250	Sin ignición	90

3.5.3 Comparación del potencial de ignición de los residuos con los registros de temperatura obtenidos

A la vista de los resultados obtenidos, indistintamente de la zona de muestreo, las partículas más abundantes fueron las que tienen un tamaño inferior a 250 μm . Para este tamaño de partícula, con una temperatura de 250 °C bastaría para que el residuo acumulado en la empacadora comenzase la ignición. Estos resultados vienen condicionados por el espesor de residuo, siendo menor la temperatura necesaria para

la ignición cuanto mayor es el espesor de residuo sometido a un mayor tiempo de exposición a la fuente de calor.

Se debe considerar que estos resultados se determinaron en laboratorio y con las condiciones de una placa calefactora que establece el flujo de calor en una dirección, transmitiendo el calor por conducción en una superficie determinada. Por tanto, los espesores mayores favorecen una menor transmisión de calor de la muestra con el ambiente (sistema) y hacen que la ignición aparezca a menores temperaturas, pero en un mayor tiempo debido a la menor disipación de calor. En una empacadora trabajando en campo en época estival donde el ambiente (sistema) se encuentre a mayor temperatura, por lo que la convección no será la misma que en el ensayo, así como la radiación, que también aumentará el flujo de calor hacia el residuo. Además, el flujo de calor por conducción puede provenir de diferentes focos, es decir, desde varias direcciones, que harían que el residuo este más expuesto. Estas condiciones ocasionarían que las temperaturas necesarias para que aparezca la ignición disminuyan, principalmente en los espesores más pequeños del ensayo.

Con los registros que se obtuvieron, la temperatura más elevada de la empacadora fue el freno de la horquilla de alimentación (190,6 °C). El residuo más abundante en este componente fue el de granulometría menor de 250 μm , por tanto, no se alcanza la temperatura teórica suficiente como para que se produzca la ignición de los residuos. El siguiente componente donde se obtuvo la temperatura más elevada fue la bomba hidráulica (128,7 °C). Los residuos que se obtuvieron en esta zona varían en función del modelo de empacadora, predominando los menores de 250 μm en un modelo y los mayores de 4 mm en otro. Pese a esta variabilidad, la temperatura máxima no alcanza el valor necesario para que se den las condiciones de combustión.

A pesar de los resultados, se debe tener en cuenta que la temperatura de ignición baja conforme aumenta el espesor de la muestra. Del mismo modo, aunque las temperaturas medias estén lejos de la temperatura de ignición y las temperaturas máximas no hayan superado en ningún mecanismo los 200 °C, cabe la posibilidad de que la empacadora sufra alguna alteración debida a rozamientos, mal mantenimiento, roturas de alguna pieza, etc. Por esta razón, será conveniente realizar operaciones de mantenimiento en la empacadora, intentando disminuir en la medida de lo posible la cantidad de residuo acumulado. De esta manera se facilitará una mayor disipación del calor y aireación de los componentes de la máquina, que se reflejará en una disminución de las temperaturas y menor riesgo de incendio, así como menor cantidad de combustible en el caso de producirse el incendio.

En la Figura 66 se puede ver a un operario realizando el soplado diario de la máquina antes del comienzo de la jornada. Destaca la cantidad de residuo, acumulado en el suelo, que puede albergar una empacadora tras un día de jornada.



Figura 66. Mantenimiento diario de la empacadora.

4. CONCLUSIONES

1. En España, el número total de máquinas empacadoras registradas en la base de datos es de 33.415 máquinas, de las cuales el 20% se corresponde con empacadoras de macropacas, el 47% son rotativas y el 33% restante empacadoras de pequeñas pacas prismáticas
2. Según el análisis a los encuestados, las empacadoras que realizan más de 13.500 pacas al año, o que llevan acumuladas más de 40.500 pacas, que usan rastrillo y realizan pocas o nulas actuaciones de mantenimiento, son el grupo de máquinas que más riesgo de incendio tiene.
3. El 31% de los incendios, según datos de la encuesta, se originaron en los cojinetes, el 25% en el embrague o el freno del alimentador, el 18 % en el pick-up, 14% en la transmisión y el 12% debido a otras razones.
4. Los usuarios que realizan un mayor número de pacas al año, realizan un mantenimiento más exhaustivo. Siendo el más común el mantenimiento diario. No obstante, existen empacadoras que realizan un número alto de pacas al año y no realizan ningún mantenimiento. Estas máquinas son propensas a sufrir incendio.
5. El foco de temperatura más elevado en las empacadoras fue el mecanismo del freno de la horquilla de alimentación, con una temperatura máxima de 190,6 °C y una media de 83,1 °C. El siguiente componente con la temperatura más alta registrada fue la bomba hidráulica, con una máxima registrada de 128,7 °C y una media de 66,3 °C.
6. Ninguna temperatura registrada alcanzó el valor de ignición (250°C) de los residuos más pequeños (<250 µm) y más abundantes en las empacadoras.
7. El residuo más pequeño y menos pesado se acumula mayoritariamente en las zonas altas de la máquina.

8. Existe correlación entre las distribuciones de temperatura de los componentes de la empacadora y la temperatura ambiente, aumentando la temperatura de los componentes cuando las temperaturas ambientales son elevadas.
9. Una empacadora en campaña de recogida de residuo de maíz, alcanza menores temperaturas que con residuo de trigo y/o cebada. La media de temperaturas es del orden de 20 °C menor en el freno de la horquilla, 10 °C menor en la bomba hidráulica y 5 °C menor en el resto de componentes.
10. Los componentes y mecanismos muestran diferencias significativas de temperaturas según el modelo de empacadora, sin embargo, en los mismos modelos las temperaturas también muestran diferencias. Siendo dependientes de la metodología de trabajo o el ritmo de empacado.
11. En relación con los puntos más críticos: el pick-up de la empacadora aumenta su temperatura conforme aumenta la carga de trabajo a la que se somete la empacadora.; el freno de la horquilla aumenta la temperatura conforme aumenta la cantidad de paja procesada; la bomba hidráulica no muestra un patrón proporcional a la carga de trabajo.
12. La información ofrecida por las sondas de temperatura resultó interesante para los usuarios de la empacadoras, suponiendo estas una forma de testear el correcto funcionamiento de los mecanismos. Mediante la visualización de los elevados registros en el freno de la horquilla, 190 °C de máxima, por medio de acciones de mantenimiento, fue posible disminuir la temperatura del mecanismo hasta 160 °C de máxima y disminuir el riesgo de incendio en una de las empacadoras.

5. Bibliografía

- Almonacid, F. (2016). *Bioenergy in a agroforestry economy under crisis: Complement and conflict*. Chile: La Araucanía. *Sustainability* 10(12):4478.
- BOA. (13 de 03 de 2015). *DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y MEDIO AMBIENTE*. Obtenido de ORDEN de 20 de febrero de 2015, del Consejero de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente: <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJyMLKOB=842831924646>
- BOA. (10 de 03 de 2021). *DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y MEDIO AMBIENTE*. Obtenido de ORDEN AGM/112/2021, de 1 de febrero: <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJyMLKOB=1152836245353ytype=pdf>
- Bragachini, M., Méndez, A., Peiretti, J., Santa Juliana, M., Vélez, J. P., Sanchez, F., Gallarino, A. (2013). Incendios de cosechadoras y rastrojos en Argentina y su impacto económico, ambiental y social. INTA. 6 Marzo. Córdoba, Argentina.
- Calderón Cortés, D., y Mateo Fernández, J. (2017). Prevención de incendios en labores de recolección de cereal en Castilla-La Mancha. *7º Congreso forestal español* (pág. 13). Plasencia: Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- Cardil, A. S. (2014). Large wildland fires and extreme temperatures in Sardinia (Italy). *iForest - Biogeosciences and Forestry* 7, 162-169.
- Charlwood, C., y W. Byard, R. (2014). Potential dangers of hay baling. *Journal of forensic and legal medicine*, 21, 56-58.
- Eckhoff, R. K. (2009). Understanding dust explosions. The role of powder science and technology.22. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 22, 105-116.
- Fernández-Anez, N., y García-Torrent, J. (2019). Influence of Particle Size and Density on the Hot Surface Ignition of Solid Fuel Layers. *Fire Technology* 55, 175-191.
- Fike, J., "Bobby" Grisso, R., Ohanehi, D., y Perumpral, J. (2014). Large round bale safety. *Virginia Cooperative Extension*, 442-455.

- García-Ramos, F. J., y Boné-Garasa, A. (2007). Mantenimiento y regulación de empacadoras de grandes pacas prismáticas. *Vida rural* 242, 36-38.
- García-Torrent, J., Fernández-Anez, N., Medic Pejic, L., y Montenegro Mateos, L. (2018). Assessment of self-ignition risks of solid biofuels by thermal analysis. *Fuel* 223, 451-461.
- H.Langer, T., K. Ebbesen, M., y Kordestani, A. (2015). Experimental analysis of occupational whole-body vibration exposure of agricultural tractor with large square baler. *International journal of industrial ergonomics* 47, 79-83.
- Inshakov, S. (2012). Increasing reliability of bearing units of agricultural machinery. Proceedings of 11th International Scientific Conference. *Engineering for rural development*, 24-25 Mayo. Jelgava, Latvia.
- Krone. (2021). Obtenido de <https://www.krone-uk.com/english/>
- Márquez, L. (2009). Las macroempacadoras frente a frente. *agrotécnica* 12, 54-59.
- Massey Ferguson. (2021). Obtenido de https://www.masseyferguson.com/es_es/product/balers/mf-2200.html
- Mickan, F. (2013). Hay Balers: a hidden fire danger. DEPI, Ellibank Centre, State of Victoria, Australia.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (Octubre de 2021). Boletín mensual de estadística. Madrid, España.
- New Holland. (2021). Obtenido de <https://www.newholland.com/Pages/index.html>
- Polin, J., Gu, Z., Humburg, D., y Dalsted, K. (2013). Sunflower dust properties that contribute to increased fire risk during harvest and biorefinery operations. *Industrial Crops and Products* 50, 227-231.
- Quick, G. R. (2010). An investigation into combine harvester fires. *Grains Research and Development Corporation: Australia*, 20.
- RAE. (2001). *Real Academia Española*. Obtenido de Diccionario de la lengua española: <https://www.rae.es/>
- Shutske, J. M., y Field, W. E. (1988). An integrated loss control strategy for grain combine fires. In 1988 *International Winter Meeting of the American Society of*



- Agricultural Engineers*; American Society of Agricultural Engineers: Chicago, IL, USA; 17.
- Shutske, J. M., Field, W. E., y Chaplin, J. (1990). Appl. Eng. Agric. *American Society of Agricultural Engineers* 6, 575-581.
- Susan W. Gay, R. (2003). Hay Fire Prevention and Control. *Biological systems engineering*, 442-105.
- Val-Aguasca, J.P., Videgain-Marco, M., Martín-Ramos, P., Vidal-Cortés, M., Boné-Garasa, A., y García-Ramos, F.J. (2019). Fire Risk Associated with Combine Harvesters: Analysis of Machinery Critical Points. *Agronomy*, 9(12),877.
- Venem, M., y Shutske, J. (2002). Combine fire prevention and control summit. *CIGR XVth World Congress; American Societu of Agricultural and Biological Engineers* (pág. 28017). Chicago: IL, USA.

