

GRADO EN INGENIERÍA EN ORGANIZACIÓN
INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

***DISEÑO DE EXPERIMENTOS DE TESTING
PARA EQUIPOS DE PESAJE DINÁMICO.
CASO DIBAL***

Alumno/Alumna: Jorge Egusquizaga

Director/Directora (1): Jesús Rodríguez

Curso: <2019-2020>

RESUMEN

Este trabajo se ha realizado con el fin de optimizar el proceso productivo de la empresa Dibal. El principal objetivo ha sido diseñar un experimento que nos ayude a conocer los límites de los equipos que ofrece la empresa. Para ello, ha sido necesario un largo proceso, desde la selección y definición de las variables intervinientes hasta el análisis y selección del modelo más óptimo.

LABURPENA

Lan hau Dibal enpresaren produkzio prozesua optimizatzeko egin da. Helburu nagusia enpresak eskaintzen dituen ekipoen mugak ezagutzen lagunduko digun esperimantu bat diseinatzea izan da. Horretarako, prozesu luzea beharrezkoa izan da, esku-hartzaileen aldagaiak hautatu eta definitzetik, eredurik bikainena aztertzeraino eta hautatzeraino.

ABSTRACT

This work has been carried out in order to optimize the production process of the Dibal company. The main objective has been to design an experiment that helps us to know the limits of the equipment offered by the company. For this, a long process has been necessary, from the selection and definition of the intervening variables to the analysis and selection of the most optimal model.

Índice

I. Memoria	9
1. Introducción	9
2. Contexto	10
3. Objetivos	12
4. Beneficios del proyecto	13
5. Estado del arte	14
5.1 Presentación de la empresa	14
5.2 Introducción al diseño de experimentos (DOE)	15
5.3 Tipos de Diseño de experimentos(DOE).....	16
5.3.1. Diseños factoriales y de cribado	17
5.3.2. Diseños de superficie de respuestas	18
5.3.3. Diseños de Taguchi.....	19
II. Metodología seguida en el desarrollo del trabajo.....	20
6. Procedimiento en el desarrollo del DOE	20
6.1. Definición del proceso.....	21
6.2. Medición del know-how del proceso	21
6.3. Planificación	22
6.4. Ejecución de la experimentación	22
6.5. Análisis de los resultados de la experimentación	23
6.6. Mejora del proceso experimental	23
6.7. Optimización. Elección de los niveles de trabajo	24
6.8. Control y estandarización.....	24

III. Desarrollo Experimental	25
7. Experimentación.....	25
7.1. Descripción de los equipos disponibles	25
7.1.1. Carrito Underlabeling.....	25
7.1.2. LS-5000.....	27
7.2. Selección del equipo a analizar	30
7.3. Desarrollo del DOE para LS-5000	31
7.3.1 Definición del caso de estudio	32
7.3.2 Medición del Know How del LS-5000.....	33
7.3.3. Simplificaciones.....	34
7.3.4. Planificación	37
7.3.5. Ejecución de la experimentación	38
7.3.6. Análisis de los resultados de la experimentación	44
7.3.7 Mejora del proceso experimental.....	53
7.3.8 Optimización del experimento.....	53
7.3.9 Estandarización del proceso.....	54
IV. Conclusiones	55
V. Cronograma de tareas	58
VI. Referencias.....	59
VII. Anexos.....	60

Índice de imágenes

Imagen 1. Esquema simplificación de un proceso	16
Imagen 2. Esquema de fases del diseño de experimentos	20
Imagen 3. Representación grafica Carrito Underlabeling	26
Imagen 4. LS-5000 de 3 carros	27
Imagen 5. Posibles formas de producto	35
Imagen 6. Posibles tipos de envases para productos	35
Imagen 7. Menú Minitab para selección de experimento Minitab	38
Imagen 8. Esquema simplificado de equipo LS-5000	39
Imagen 9. Resumen experimento introducido en Minitab	43

Índice de graficas

Grafica. 1. Diagrama Pareto para la productividad.....	46
Grafica. 2. Efectos principales sobre la productividad.....	47
Grafica. 3. Efecto de la interacción de variables principales sobre la productividad	51
Grafica. 4 Diagrama de Gantt con las principales actividades	58
Grafica. 5 Resumen graficas de la productividad.....	76
Grafica. 6. Resumen graficas de pesadas OK	77
Grafica. 7. Resumen graficas de pesadas inestables.....	78
Grafica. 8. Resumen graficas paquete próximo	79

Índice de tablas

Tabla 1. Variables Carrito Underlabeling	26
Tabla 2. Combinaciones posibles LS-5000	29
Tabla 3. Variables LS-5000	30
Tabla 4. Productos seleccionados para realización de experimento	39
Tabla 5. Velocidades del LS-5000	40
Tabla 6. Longitudes de cinta necesarios en función de la velocidad	41
Tabla 7. Resumen variables LS-5000	42
Tabla 8. Variables seleccionadas para el experimento	43
Tabla 9. Resultados ficticios obtenidos al realizar el experimento	45
Tabla 10. Cálculo del efecto de la longitud de cinta sobre la productividad	48
Tabla 11. Resumen cálculo de los efectos principales	49
<i>Tabla 12. Cálculo del efecto de la interacción BC sobre la productividad</i>	<i>50</i>
Tabla 13. Resumen del cálculo de los efectos producidos por la interacción de factores principales	51
Tabla 14. Cálculo de las contribuciones básicas de las variables principales.....	52
Tabla 15. Optimización del experimento para los dos tipos de paquete estudiados	54
Tabla 16 Efecto de A sobre las variables salida.....	60
Tabla 17. Efecto de B sobre las variables principales.....	61
Tabla 18. Efecto de C sobre las variables principales.....	62
Tabla 19. Efecto de D sobre las variables principales	63
Tabla 20. Efecto de AB sobre productividad	64
Tabla 21. Efecto de AB sobre la pesada OK.....	64
Tabla 22. Efecto AB sobre las pesadas inestables.....	65
Tabla 23. Efecto de AB sobre los paquetes próximos	65
Tabla 24. Efecto AC sobre la productividad	66

Tabla 25. Efecto de AC sobre la pesada OK.....	66
Tabla 26. Efecto AC sobre las pesadas inestables.....	67
Tabla 27. Efecto de AC sobre paquete próximo.....	67
Tabla 28. Efecto AD sobre la productividad	68
Tabla 29. Efecto de AD sobre la pesada OK	68
Tabla 30. Efecto de AD sobre las pesadas inestables.....	69
Tabla 31. Efecto de AD sobre los paquetes próximos.....	69
Tabla 32. Efecto de BC sobre la productividad	70
Tabla 33. Efecto de BC sobre las pesadas OK.....	70
Tabla 34. Efecto de BC sobre las pesadas inestables	71
Tabla 35. Efecto de BC sobre los paquetes proximos	71
Tabla 36. Efecto de BD sobre la productividad	72
Tabla 37. Efecto BC sobre las pesadas OK.....	72
Tabla 38. Efecto BD sobre pesada inestable	73
Tabla 39. Efecto BD sobre paquete proximo	73
Tabla 40. Efecto DC sobre productividad.....	74
Tabla 41. Efecto DC sobre la pesada OK.....	74
Tabla 42. Efecto DC sobre las pesadas inestables.....	75
Tabla 43. Efecto DC sobre los paquetes próximos.....	75

I.Memoria

1.Introducción

El presente documento trata sobre el trabajo de fin de grado “Diseño de protocolos para fabricación de productos. Aplicación en empresa Dibal”. En la primera parte del trabajo se expone el contexto, alcance, objetivos del proyecto y beneficios técnicos del mismo.

A continuación, se tratará el estado del arte, donde primero se presentará la empresa Dibal, en la que se ha llevado a cabo el trabajo. También se hará una breve introducción al diseño de protocolos y los diferentes procedimientos de mejora de procesos. Se profundizará en el diseño de experimentos, objeto principal de estudio en este trabajo.

Una vez explicado todo lo relacionado con el diseño de protocolos, pasaremos a la metodología seguida. En este punto se detallarán todas las tareas llevadas a cabo durante la realización del trabajo en la empresa Dibal. Se presentarán los diseños de experimento planteados y se procederá a la exposición de un caso hipotético para poder realizar un análisis de datos a modo de ejemplo. En función de los resultados obtenidos, se tomarán una serie de medidas de mejora de producción y se plantean unas conclusiones.

Para terminar, se presentará un diagrama de Gantt en el que quedarán detalladas y ordenadas todas las tareas llevadas a cabo durante la realización del trabajo.

2.Contexto

A la hora de comenzar con el proyecto, hubo una reunión en Dibal para definir los temas que se iban a analizar y el propósito del trabajo. En ella, la empresa expuso su necesidad de realizar una serie de protocolos para definir tanto las variables como los límites de ciertas máquinas.

Nos explicaron que ellos trabajan en dos mercados principalmente. Las soluciones para el mercado comercial, donde llevan a cabo una producción altamente automatizada y las soluciones industriales. En el campo de las soluciones de pesaje para la industria, la producción se realiza prácticamente en su totalidad a mano, lo que hace que se deba analizar cada máquina una vez producida.

Este hecho ralentiza la producción en gran medida por lo que se planteó entonces llevar a cabo el diseño de protocolos para poder definir tanto las variables como los límites de las máquinas. Cuando un equipo es producido se somete a un gran número de pruebas de testing para verificar que cumple correctamente con su funcionalidad y con los estándares de calidad que Dibal exige en su producción. Todo este proceso de pruebas es largo y costoso.

Mediante la realización de este trabajo, se pretende diseñar un experimento de testing de maquinaria para acortar tiempos postproducción. Llevando a cabo un diseño de experimento con un equipo en donde queden definidos los límites de las variables que intervienen, se lograra reducir tiempos de testing en gran medida.

Además, se podrán identificar los errores de funcionamiento más comunes. Estos datos permitirán a la empresa acotar unos rangos de funcionamiento para así poder asegurar a sus clientes la fiabilidad de sus equipos en los rangos establecidos.

En este trabajo los equipos que se estudiarán serán 3:

- **Waldyssa:** Equipo de pesaje, embalado y etiquetado.
- **Carro Underlabeling:** Carro de transporte inferior de etiquetas.
- **Ls-5000:** Equipo de pesaje y etiquetado dinámico.

El desarrollo de las pruebas realizadas a los equipos y el diseño de experimento se ha llevado a cabo en el departamento de producción de la empresa Dibal, bajo la supervisión del director de Producción Unai Rentería y con la dirección del profesor Jesús Rodríguez Martín.

3.Objetivos

El principal objetivo de este proyecto es el diseño y realización de un experimento de testing en uno de los diferentes equipos de pesaje y etiquetado industrial con los que cuenta la empresa Dibal. Para llevar a cabo dicha tarea, se ha procedido a la identificación de las diferentes variables que intervienen en cada equipo. Una vez las variables han sido identificadas y clasificadas se ha procedido a la puesta en marcha del experimento.

Durante el experimento se han puesto en marcha los equipos y según el modelo analizado se han llevado a cabo un número de pruebas. Se han intercambiado los valores de las diferentes variables generando un gran número de combinaciones para así identificar los valores limitantes de dichas variables y la productividad de cada máquina en función de la combinación seleccionada.

Se listan a continuación de manera esquemática todas las tareas a llevar a cabo para cumplir los objetivos del trabajo:

- Definición de las variables implicadas:
- Se identifican las diferentes variables que intervienen
- Se analiza la dependencia e independencia de las diferentes variable en función de las demás.
- Se listan las diferentes variables con sus límites teóricos
- Diseño del experimento:
- Para cada variable se propone una serie de pruebas

-
- Se definen unos rangos de dimensiones dentro de los límites de cada variable.
 - Para cada rango de dimensiones se necesitará un número de pruebas. En este caso será necesario probar un número determinado de etiquetas.
 - Realización del experimento:
 - Se realizan todas las pruebas propuestas en el diseño del experimento
 - Se toman los datos resultantes de las pruebas. Obtendremos datos de productividad, el número de fallos en función del número de etiquetas utilizadas y la verificación de que los límites teóricos son los experimentales.
 - Según los datos obtenidos se realizará un análisis y los resultados serán interpretados.

4. Beneficios del proyecto

La realización de este trabajo tendrá tanto beneficios técnicos como económicos, sin embargo, al no habernos adentrado en el aspecto económico a lo largo del trabajo lo obviamos para centrarnos en el beneficio técnico.

Respecto a los beneficios técnicos que tiene este experimento, el principal provecho que sacamos como hemos mencionado es la reducción de tiempos de producción. Además, al ser un diseño de un protocolo de testing estándar, puede aplicarse en todos los equipos que produce Dibal realizando una serie de cambios puntuales.

Como añadido el llevar a cabo este experimento ampliara el conocimiento que se tiene sobre los equipos ya que en muchos casos no existen registros de ciertos datos importantes referentes a dichos equipos.

5.Estado del arte

5.1 Presentación de la empresa

La empresa en la que se ha llevado a cabo el trabajo es Dibal S.A.. Se trata de una empresa dedicada a la fabricación de equipos de pesaje y etiquetado. Se trata de una empresa con una larga trayectoria en este ámbito, con un alto número de éxitos y un gran reconocimiento por su buen trabajo.

Fundada en 1985, fueron pioneros en España en el lanzamiento de la primera balanza electrónica. A este éxito le siguieron otros muchos hasta la actualidad, en la cual Dibal se posiciona como una de las empresas líderes en el mercado de las balanzas comerciales. Está experimentando una gran expansión en el mercado de los equipos de pesaje y etiquetado para el sector industrial.

Precisamente, es en este campo en el que hemos tenido la suerte de poder intervenir con este trabajo. El trabajo que presentamos se ha realizado íntegramente en el departamento de producción de soluciones de pesaje y etiquetado industriales.

La principal actividad de este departamento consiste en la producción de equipos a medida, según las necesidades del cliente. A pesar de contar con varios equipos estándar, gran parte de la producción se encuentra en los equipos personalizados. Debido a este hecho, surge la necesidad de realizar un exhaustivo testing a los equipos que se producen y por ello es tan necesario la realización de este trabajo para optimizar esta actividad.

5.2 Introducción al diseño de experimentos (DOE)

La metodología del diseño de experimentos (DOE), es una herramienta basada en la experimentación. A la hora de realizar un experimento de forma repetida, observamos que los resultados varían. Dentro de todo experimento podemos distinguir dos tipos de variaciones, las conocidas como variables controlables y variables no controlables o ruido.

La variabilidad será mayor o menor según el grado de control que tengamos sobre las diferentes variables que intervienen en el experimento. Esta variabilidad influye directamente en el error cometido en la toma de resultados del experimento. Si experimentamos en un entorno industrial, la variabilidad será elevada al igual que el error cometido ya que habrá un elevado número de variables no controlables.

El objetivo del diseño de experimentos es comprobar si determinados factores influyen en el resultado de un experimento y en caso de influir, cuantificar dicha influencia. Para poder detectar si un determinado factor tiene algún tipo de influencia en el resultado de un experimento es tan sencillo como realizar el experimento utilizando dicho factor y sin utilizarlo. De esta forma detectaremos la variabilidad del factor.

Para poder cuantificar la variabilidad, lo que realmente nos proporciona el diseño de experimentos, son unas pautas relativas a las variables que hay que manipular, la forma en la que debemos manipularlas, el orden en el que hay que realizar el experimento o el número de veces mínimo necesario para poder establecer la relación causa y efecto de acuerdo con un nivel de confianza previamente establecido.

En definitiva, el diseño de experimentos es una técnica que nos permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un experimento de forma que realizando el mínimo número de pruebas consigamos información útil para optimizar la configuración de un producto. En el diseño de experimento se manipulan una o varias variables para medir el efecto que tienen sobre la variable de interés.

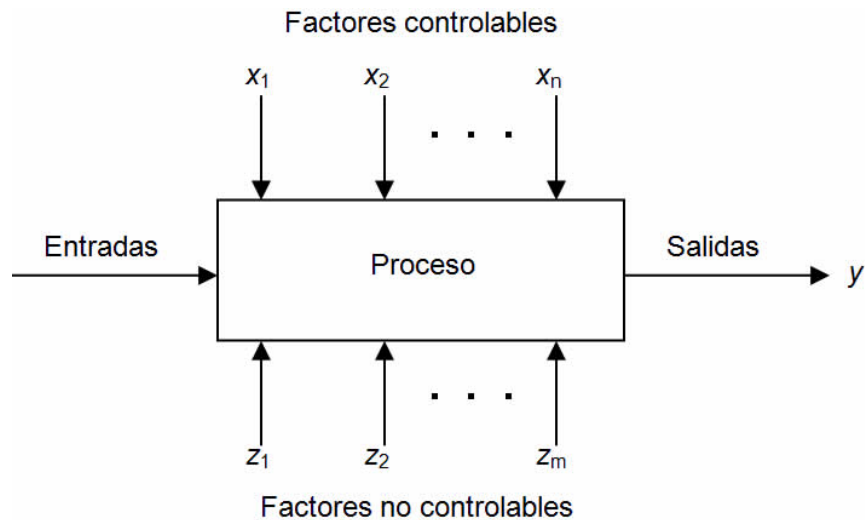


Imagen 1. Esquema simplificación de un proceso

5.3 Tipos de Diseño de experimentos(DOE)

Para el diseño de experimentos existe un gran número de modelos. Cada uno tiene sus características propias y según la idea de diseño que se tiene es necesario escoger uno u otro. A continuación se expondrán algunos de los diferentes tipos de Diseño de experimentos que existen con una breve descripción de cada uno.

5.3.1. Diseños factoriales y de cribado

A. Diseños factoriales completos

En estadística, un experimento factorial completo es un experimento cuyo diseño consta de dos o más factores, cada uno de los cuales consta de distintos *niveles*. Este tipo de experimentos permiten el estudio del efecto de cada factor sobre la variable respuesta, así como el efecto de las interacciones entre factores sobre dicha variable.

La principal ventaja de este tipo de diseños es que incluyen todas las combinaciones posibles de todos los factores y sus correspondientes niveles. Para calcular el número de experimentos necesarios para completar el experimento basta con realizar el producto entre el número de niveles de cada factor.

La mayor desventaja es la dificultad de experimentar con más de dos factores o muchos niveles. Lo más habitual es hacerlos los experimentos con un diseños factorial completo de dos niveles.

B. Diseños factoriales fraccionados

Si el número de combinaciones del diseño factorial completo es demasiado alto para su procesamiento, se puede optar por un diseño factorial fraccional, en el que se omiten algunas de las combinaciones posibles. Este tipo de diseños son útiles cuando el número de niveles por factor es muy elevado ya que reduciremos el número de experimentos y el coste en gran medida.

El diseño factorial fraccionado, además de simplificar el proceso y abaratar el costo de la investigación, permite muchos niveles de análisis. Además de resaltar las relaciones entre las variables, permite que sean aislados y analizados por separado los efectos de la manipulación de una sola variable.

Resumiendo, es un tipo de diseño en el que solo una parte del total de corridas necesarias para la realización del experimento se lleva a cabo. Como principal desventaja resaltar que al no tener en cuenta todas las combinaciones, los efectos e interacciones de los factores pueden dar errores.

C. Diseños de Plackett-Burman

Los diseños de Plackett-Burman por lo general son diseños de 2 niveles de resolución III, lo que implica que solo pueden ser utilizados en el caso en el que no sean relevantes las interacciones entre factores, cuando las consideramos insignificantes. El principal objetivo de este tipo de diseños es la identificación de los factores que influyen en la respuesta.

5.3.2. Diseños de superficie de respuestas

Un diseño de superficie de respuesta es un conjunto de técnicas de diseño de experimentos (DOE) que nos ayudan a comprender las respuestas y proceder a su optimización. La metodología del diseño de superficie de respuesta es utilizada con frecuencia para refinar los modelos después de haber determinado los factores importantes gracias a los diseños de cribado o diseños factoriales.

Esta técnica permite encontrar una configuración de factores que produzca la “mejor” respuesta y modelar en función del valor de estos. Las diferencias entre una ecuación para el cálculo de efectos de una superficie de respuesta y de un diseño factorial, es la adición de términos elevados al cuadrado o cuadráticos para el estudio de los resultados.

A. Diseños centrales compuestos

Los diseños centrales compuestos suelen utilizarse cuando el plan del diseño requiere de un experimento secuencial, ya que este tipo de diseños pueden incluir información de un experimento factorial planificado correctamente.

B. Diseños de Box-Behnken

Los diseños de Box-Behnken habitualmente suelen tener menos puntos de diseño que los diseños centrales compuestos lo que los hace más económicos a la hora de ejecutarlos. Los diseños de Box-Behnken siempre tienen 3 niveles por factor, a diferencia de los diseños centrales compuestos, que pueden tener hasta 5.

5.3.3. Diseños de Taguchi

Un diseño de Taguchi es un experimento que nos permite optimizar un proceso en un entorno operativo. Los diseños de Taguchi reconocen que no todos los factores que causan variabilidad pueden ser controlados. A los factores que no se pueden controlar los denomina factores de ruido. Se intenta identificar los factores controlables que minimizan el efecto de los factores de ruido. Este método de trabajo favorecerá a un proceso con un rendimiento más constante independientemente del entorno en el que se utilice.

II. Metodología seguida en el desarrollo del trabajo

6.Procedimiento en el desarrollo del DOE

A la hora de llevar a cabo el diseño del experimento, hay que tener un claro esquema de las fases a seguir. Esto ayuda a obtener un diseño ordenado y la mejor respuesta posible a nuestro experimento. En este caso para plantear el diseño de experimento, nos hemos basado en una planificación de experimento por fases extraída de la revista Dyna.

En la siguiente imagen presentamos el esquema extraído de la Revista Dyna, siguiendo con un breve resumen de cada fase del experimento. Estos pasos serán los que se sigan a lo largo de todo el diseño de experimento realizado en este trabajo.

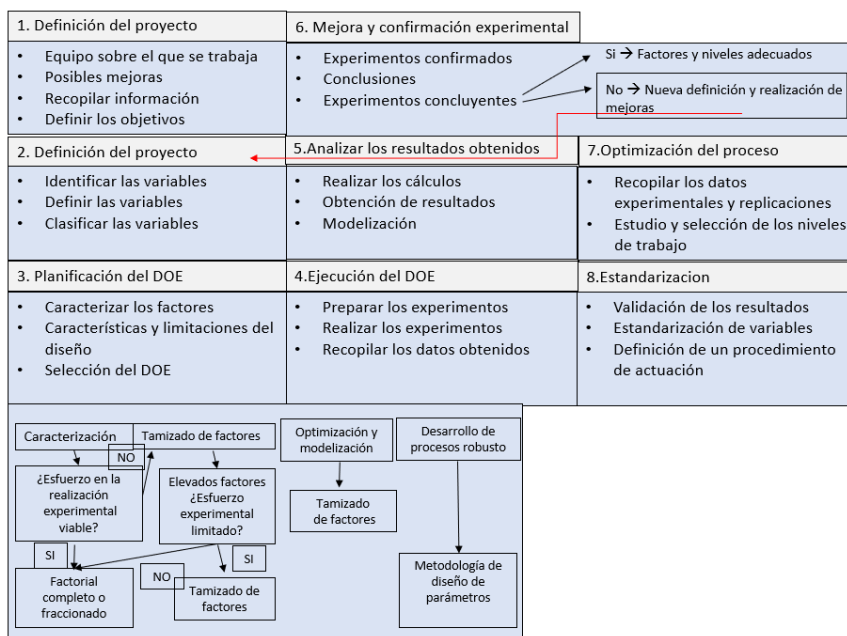


Imagen 2. Esquema de fases del diseño de experimentos

6.1. Definición del proceso

La primera tarea a llevar a cabo es la definición del proceso que se va a realizar. Es importante recolectar la máxima información posible. Hay que definir el equipo que se va a utilizar, las posibles oportunidades de mejora, el objetivo del experimento...

Se buscará toda la información adicional posible acerca del equipo, investigando en los archivos históricos de los que se dispongan. Desde la empresa se facilitó acceso a su red interna para obtener estos datos, se obtuvieron principalmente archivos de incidencias en los equipos de clientes.

6.2. Medición del know-how del proceso

En esta fase se identifican y clasifican todas las variables intervinientes en el proceso. Es importante hacer una simplificación de variables, descartando para el experimento las que no influyen en el proceso. De esta manera se reduce el experimento así como los recursos que hay que destinar a su realización.

También definiremos las variables, tanto de entrada como respuesta con sus respectivos niveles, intentando reducir dichos niveles al mínimo para simplificar el proceso. Esta información será útil para definir el número de réplicas que tendrá el experimento.

Es de vital importancia verificar que los instrumentos y métodos de medida tienen la exactitud y precisión necesaria para realizar las repeticiones en igualdad de condiciones.

Se considera una de las fases más importantes ya que es en la que se definen todos los factores intervinientes en el proceso. De la capacidad de síntesis y simplificación dependerá en parte el éxito del experimento ya que es en este punto en el que se reducen los recursos necesarios y los tiempos de realización del experimento.

6.3. Planificación

En esta fase seleccionaremos el diseño experimental que mejor se ajusta a nuestro experimento. Para ello es esencial caracterizar los factores intervinientes y definir las limitaciones del experimento.

Basándonos en el diseño experimental seleccionado, hay que organizar y planear con detalle las tareas a realizar y los operarios que las van a llevar a cabo

6.4. Ejecución de la experimentación

En este punto procedemos a realizar el experimento. Se pone a punto el equipo a analizar y se lleva a cabo siguiendo las pautas o fases planteadas al pie de la letra. Hay que tratar de mantener unas condiciones estables y realizarlo metódicamente para reducir los efectos de las variables no controlables en el factor respuesta.

6.5. Análisis de los resultados de la experimentación

Para proceder con el análisis de los datos, primero hay que realizar los cálculos de los indicadores que muestran la influencia de los diferentes factores en la variable respuesta.

Primero se analizan los efectos principales, producidos directamente por un factor sobre la variable respuesta. A continuación estudiamos las interacciones, el efecto que tienen las combinaciones de 2 o más factores. Para terminar el último indicador que se analiza es la contribución básica, que expone la diferencia entre el efecto principal y la interacción de los factores, es decir, el efecto que tendría un factor si no hubiese interacción.

En esta fase no hay que olvidar que los resultados son observaciones experimentales, por lo que hay que recurrir a herramientas estadísticas para comprobar que los efectos experimentales son lo suficientemente grandes como para garantizar diferencias significativas. La principal técnica de análisis experimental es el llamado análisis de la varianza ANOVA.

6.6. Mejora del proceso experimental

En esta fase es donde realizamos todas las repeticiones del experimento. Con estas repeticiones comprobaremos que los resultados obtenidos en la anterior fase son válidos. En este punto, si los datos resultan concluyentes se continuará con el procedimiento. En caso de no resultar concluyentes se tendrá que volver a realizar un ciclo desde la fase dos del proceso, reajustando los factores a tener en cuenta y sus niveles.

6.7. Optimización. Elección de los niveles de trabajo

Una vez hemos completado todas las iteraciones necesarias del experimento, se comprueba que hemos obtenido unos resultados coherentes. Con los resultados obtenidos en el punto anterior, pasaremos a analizar las conjeturas realizadas antes del experimento y los nuevos datos obtenidos. A continuación fijamos los valores de cada variable que optimicen el proceso.

Los resultados de esta fase son el verdadero objetivo de todo el experimento por lo que hay que realizar todo el proceso con cuidado. En caso de que se obtenga más de una variable respuesta, se debe valorar la que veamos que proporciona mayores beneficios.

6.8. Control y estandarización

Con los resultados recabados, analizados y validados establecemos los niveles adecuados para cada una de las variables del experimento. En esta fase se estandariza todo el proceso determinando los valores que aseguran su optimización.

Esta es la fase final del proceso, por lo que es importante dejar todo el proceso plasmado para asegurar que los niveles óptimos de las variables se mantienen.

III. Desarrollo Experimental

7.Experimentacion

7.1. Descripción de los equipos disponibles

Tras la primera reunión en Dibal, se nos asignaron los equipos que necesitaban ser analizados. Aunque para el experimento solo se ha trabajado con un equipo, durante la práctica fueron tres los equipos analizados.

En este apartado se va a realizar una presentación breve de los equipos estudiados, explicando sus características principales, las variables que intervienen en cada uno y el motivo de elección del equipo seleccionado.

7.1.1.Carrito Underlabeling

Es uno de los diferentes módulos de etiquetado con los que cuenta la empresa Dibal. En este caso se trata de un módulo de etiquetado inferior. Una vez la impresora recibe la información sobre el paquete, la imprime en una etiqueta que es transportada por el carrito gracias a unas correas y un sistema de vacío hasta el punto en el que se adhiere al paquete gracias a la energía cinética que éste lleva.

A continuación se expone un breve resumen con las principales variables intervinientes en el equipo así como unas imágenes de muestra para conocer algo mas de cerca el carrito underlabeling.

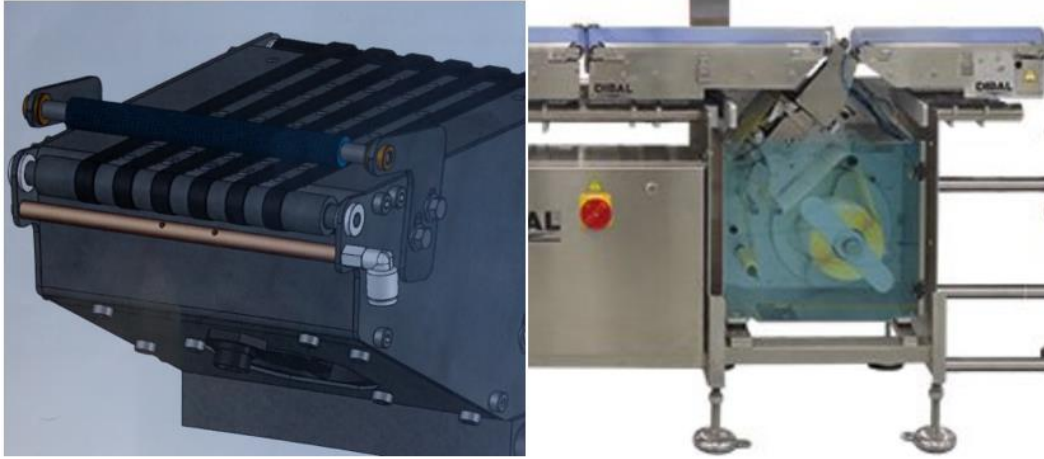


Imagen 3. Representación grafica Carrito Underlabeling

Como podemos ver en las imágenes el carrito parece tener un mecanismo de funcionamiento sencillo y fácil de definir. Sin embargo, a la hora de sacar y definir las variables me he encontrado grandes dificultades. En la siguiente tabla encontramos algunas de las variables definidas. Muchas de ellas ni siquiera están cuantificadas, debido a la gran dificultad que ello conllevaría.

VARIABLES		LIMITE INF.	LIMITE SUP.
PAQUETE	TIPO	-	-
	ANCHO(A)	30 mm	280 mm
	LARGO(L)	75 mm	800 mm
ETIQUETA	ANCHO(A)	30 mm	110 mm
	LARGO(L)	55 mm	150 mm
	CONTRASTE	0	10
	DIAMETRO INT.	70 mm	-
PRODUCTIVIDAD		-	-

Tabla 1. Variables Carrito Underlabeling

7.1.2. LS-5000

La familia LS-5000 comprende un elevado número de combinaciones. Se trata del producto estrella actual de la empresa y por ello es uno de los principales candidatos a su estudio. Dentro de la familia LS-500 tenemos 3 tipos de series:

LS- Pesa e imprime

CW- Pesa (sistema pasa/No pasa)

GW- Clasificador

En la siguiente imagen tenemos un equipo LS-500 completo. Muestra la estructura de forma clara.



Imagen 4. LS-5000 de 3 carros

Por la parte izquierda es por donde entraría el paquete. El siguiente modulo es el de pesaje, en este caso además lleva un equipo de centrado para que el paquete entre directo por el centro a las impresoras. Por ultimo tenemos el modulo de impresión.

En este caso tenemos dos impresoras. Una impresora superior, la estándar de Dibal, con impresión mediante presión por pistón. Y en la parte inferior, tenemos el carrito underlabeling anteriormente presentado. Como diferencia en este modulo se ve que esta partido en 2 cintas. Esto es debido al carrito underlabeling, sin embargo, el modulo cuenta como uno solo.

Como hemos dicho la familia LS-5000 tiene una gran variedad de posibilidades. Desde Dibal, se me recomendó basar el estudio de estos equipos en la construcción de 3 máquinas. Una vez construidas estas 3 máquinas, tomando una serie de combinaciones se consiguen prácticamente todos los equipos que pueden salir de la combinación de los diferentes módulos. En la siguiente tabla mostramos la gran mayoría de las posibilidades de esta familia.

MAQUINA	COMBINACION	CARROS	CABEZAL 1	CABEZAL 2	CABEZAL 3	DETECTORES	EXPULSORES
1	1	5	-	-	-	-	1
	2	5	-	-	-	-	2
	3	5	-	-	-	-	3
	4	5	-	-	-	-	4
	5	5	-	-	-	-	6
	6	5	-	-	-	-	8
2	1	3	E.SUPERIOR	E.INFERIOR	-	2	1
	2	3	E.SUPERIOR	E.INFERIOR	-	1	1
	3	3	E.SUPERIOR	E.INFERIOR	-	2	-
	4	3	E.SUPERIOR	E.INFERIOR	-	1	-
	5	3	-	E.INFERIOR	E.SUPERIOR	2	1
	6	3	-	E.INFERIOR	E.SUPERIOR	1	1
	7	3	-	E.INFERIOR	E.SUPERIOR	2	-
	8	3	-	E.INFERIOR	E.SUPERIOR	1	-
	9	3	E.SUPERIOR	-	-	2	1
	10	3	E.SUPERIOR	-	-	1	1
	11	3	E.SUPERIOR	-	-	2	-
	12	3	E.SUPERIOR	-	-	1	-
	13	3	-	-	E.SUPERIOR	2	1
	14	3	-	-	E.SUPERIOR	1	1
	15	3	-	-	E.SUPERIOR	2	-
	16	3	-	-	E.SUPERIOR	1	-
	17	3	-	E.INFERIOR	-	2	1
	18	3	-	E.INFERIOR	-	1	1
	19	3	-	E.INFERIOR	-	2	-
	20	3	-	E.INFERIOR	-	1	-
3	1	4	E.SUPERIOR	E.INFERIOR	E.SUPERIOR	2	1
	2	4	E.SUPERIOR	E.INFERIOR	E.SUPERIOR	1	1
	3	4	E.SUPERIOR	E.INFERIOR	E.SUPERIOR	2	-
	4	4	E.SUPERIOR	E.INFERIOR	E.SUPERIOR	1	-
	5	4	E.SUPERIOR	E.INFERIOR	-	2	1
	6	4	E.SUPERIOR	E.INFERIOR	-	1	1
	7	4	E.SUPERIOR	E.INFERIOR	-	2	-
	8	4	E.SUPERIOR	E.INFERIOR	-	1	-
	9	4	-	E.INFERIOR	E.SUPERIOR	2	1
	10	4	-	E.INFERIOR	E.SUPERIOR	1	1
	11	4	-	E.INFERIOR	E.SUPERIOR	2	-
	12	4	-	E.INFERIOR	E.SUPERIOR	1	-
	13	4	E.SUPERIOR	-	E.SUPERIOR	2	1
	14	4	E.SUPERIOR	-	E.SUPERIOR	1	1
	15	4	E.SUPERIOR	-	E.SUPERIOR	2	-
	16	4	E.SUPERIOR	-	E.SUPERIOR	1	-
	17	4	E.SUPERIOR	-	-	2	1
	18	4	E.SUPERIOR	-	-	1	1
	19	4	E.SUPERIOR	-	-	2	-
	20	4	E.SUPERIOR	-	-	1	-
	21	4	-	-	E.SUPERIOR	2	1
	22	4	-	-	E.SUPERIOR	1	1
	23	4	-	-	E.SUPERIOR	2	-
	24	4	-	-	E.SUPERIOR	1	-
	25	4	-	E.INFERIOR	-	2	1
	26	4	-	E.INFERIOR	-	1	2
	27	4	-	E.INFERIOR	-	2	-
	28	4	-	E.INFERIOR	-	1	-

Tabla 2. Combinaciones posibles LS-5000

Esta es solo una muestra, propuesta por la empresa de las inmensas posibilidades que tiene este equipo. Como hemos dicho se trata de 3 diferentes equipos, cada uno de una serie diferente para dar solución a todas las necesidades de los clientes. Con la combinación de los diferentes módulos, detectores y expulsores. Con tan solo 3 máquinas, se dan hasta 54 combinaciones y las siguientes variables.

VARIABLES		LIMITE INF.	LIMITE SUP.
BANDAS	TIPO	-	-
	ANCHO(A)	280mm	280mm
	LARGO(L)	400mm	800mm
VELOCIDAD		Vo=19m/min	V6=61,5 m/min
PAQUETE	TIPO	-	-
	FORMA	REDONDO	REDONDO
	PESO	0kg	14kg
ETIQUETA	ANCHO(A)	30mm	110mm
	LARGO(L)	55mm	150m
	CONTRASTE	0	10
	DIAMETRO II	70mm	-
T.PESAJE	T.ESTABL.	280ms	330ms
	T.MEDIDA	60ms	85ms

Tabla 3. Variables LS-5000

7.2. Selección del equipo a analizar

A pesar de contar con dos equipos para analizar, el diseño del experimento solo se ha realizado para uno de ellos ya que solo se pretende demostrar a modo de ejemplo los beneficios que tendría el diseño de experimentos para los equipos que la empresa comercializa. Una vez realizado el experimento si se demuestra de una manera fiable y se cuantifica el beneficio de realizar el experimento la empresa decidirá si lo aplica al resto de sus equipos.

Para la selección del equipo a analizar, tratamos de buscar la simplicidad. Se trata de un procedimiento muy costoso y que en vista de las numerosas variables de cada equipo puede resultar largo.

Primero descartamos la máquina Waldyssa simplemente por no ser de fabricación íntegra en Dibal ya que se desconoce la influencia total de sus variables y no es información que nos pueda facilitar Dibal.

El carrito underlabeling ha sido muy analizado en esta fase, se trata de un equipo de Dibal muy importante y que cuenta con numerosos registros de fallos en cliente.

Sin embargo, ciertas variables como puede ser la brisa o el efecto de la energía cinética a la hora de la adhesión en el paquete son muy difíciles de cuantificar. La mayoría de los fallos ocasionados son producidos principalmente por variables ruido y que por tanto dificultan en gran medida el experimento.

Finalmente decidimos decantarnos por la familia de equipos LS5000, es una de las máquinas que más comercializa la empresa y por ello tiene un gran interés su estudio.

Dentro del LS5000 como hemos visto el número de combinaciones posibles es muy elevado ya que cuenta con un gran número de carros accesorios. Por lo tanto, en este experimento nos ceñiremos al estudio del módulo de pesaje ya que es el que cuenta con variables más cuantificadas además de verse involucrado en prácticamente todos los equipos industriales comercializados por Dibal.

7.3.Desarrollo del DOE para LS-5000

En este punto vamos a aplicar todas las fases explicadas en el punto 6 al caso de estudio. Se procederá a realizar las tareas correspondientes a cada fase para el equipo LS-5000.

Para facilitar la realización del experimento se han llevado a cabo todos los cálculos con el programa minitab.

7.3.1 Definición del caso de estudio

Para la realización del diseño de experimento de este trabajo se ha seleccionado un LS-5000. Dentro del grupo LS-5000 tenemos un gran número de combinaciones, nosotros elegimos la más común, un LS-5000 de 3 módulos. Dentro de estos 3 módulos seguimos teniendo un elevado número de posibilidades por lo que pasamos a analizar el objetivo del experimento, obtener la máxima productividad.

Para el módulo seleccionado, estudiaremos la productividad, los paquetes ok y el número de errores, tanto por pesada inestable como por paquete próximo. Los detectores y expulsos los sacamos del estudio del experimento ya que no interfieren en el funcionamiento del LS-5000.

Comenzamos analizando la báscula de pesaje y el carro underlabeling. Dentro de los dos módulos nos centraremos en el que menor productividad tiene ya que será el limitante. Sabemos que la báscula de pesaje necesita de un tiempo de establecimiento y de medida que según el tamaño del paquete y la longitud de la cinta es variable. Del carrito underlabeling sabemos que tiene un tiempo de transporte de la etiqueta desde su salida de la impresora hasta el punto de adhesión.

Como hemos comentado, el experimento trata de mejorar los factores respuesta del equipo, por lo que lo primero es detectar cuales son esos factores respuesta de interés.

El carrito underlabeling es un módulo de alta complejidad por lo que la variable respuesta la hemos reducido a la productividad. En cuanto al módulo de pesaje del LS-5000, tendríamos varias variables respuesta posibles.

La primera, al igual que en el caso anterior sería la productividad, factor respuesta principal en este experimento. Además, podríamos obtener otras tres respuestas. Error por pesada inestable, cuando la báscula falla en el pesaje. Errores por paquetes próximos, cuando el operario coloca de forma errónea dos paquetes sin respetar unas distancias mínimas entre ambos, al entrar dentro de la célula de pesaje los dos paquetes se produce una medida de peso errónea. Finalmente, las medidas correctas o pesadas ok, cuando el resultado mostrado por la célula del peso se ajusta adecuadamente al peso del producto.

Para completar la información sobre los módulos se ha accedido a la base de datos de la empresa, en ella disponía de datos históricos, y reportes de los clientes con documentación tanto escrita como gráfica de los distintos fallos ocasionados una vez instalados los equipos así como las medidas tomadas y reparaciones realizadas.

De hecho, basándome en esta documentación obtenida, es como he pronosticado los resultados obtenidos en el experimento dada la falta de tiempo para la puesta en marcha del experimento.

7.3.2 Medición del Know How del LS-5000

El caso que vamos a estudiar primero es el del carro underlabeling, como hemos dicho en el punto anterior la variable de interés es la productividad del módulo, ya que de esta depende la productividad del LS-5000 que es el equipo principal sobre el que vamos a realizar el estudio.

Para llevar a cabo el estudio de este módulo habrá que tener en cuenta una serie de variables que afectan a la variable productividad. Se busca la combinación de las variables que más beneficie a la productividad evitando cometer el mayor número de errores posibles.

Se trata de una fase de gran importancia en la que definimos las variables de entrada que van a intervenir en el experimento. Una mala definición de estas variables puede llevar a resultados de experimento totalmente erróneos. Según como clasifiquemos las variables, estas pueden ser catalogadas de bajo interés y por tanto eliminadas dando lugar a errores e incluso a una mala elección del tipo de experimento a llevar a cabo.

Se hará una clasificación simple, las dividiremos en variables controlables y no controlables o ruido. Siendo las controlables las que podemos modificar para obtener resultados a nuestro antojo y las no controlables aquellas que no podemos controlar pero sí podemos minimizar en la medida de lo posible. En la siguiente tabla se presentan todas las variables identificadas y clasificadas para el siguiente experimento.

7.3.3.Simplificaciones

Como el número de variables es muy alto, pasamos a hacer una simplificación para minimizar los costes y tiempos de experimento.

a)Tipo de paquete. Como hemos mencionado con anterioridad Dibal crea los equipos en función de las necesidades del cliente, lo que hace que la lista de productos que pueden ser procesados por sus máquinas sea muy grande. Dentro del tipo de paquete, consideramos tanto el tipo de embalaje que lleva el producto como su forma. La empresa dispone a modo de muestra de una tabla con los principales tipos de productos para los que han realizado un trabajo. En las siguientes imágenes mostramos algunos de los tipos de productos que son susceptibles de ser procesados en los equipos de Dibal. En la primera imagen tenemos algunos de los ejemplos de los productos que los equipos de Dibal han tenido que procesar

Forma:



Imagen 5. Posibles formas de producto

En esta segunda imagen tenemos una clasificación en función de los tipos de embalajes que son susceptibles de ser procesados.

TIPO DE ENVASE

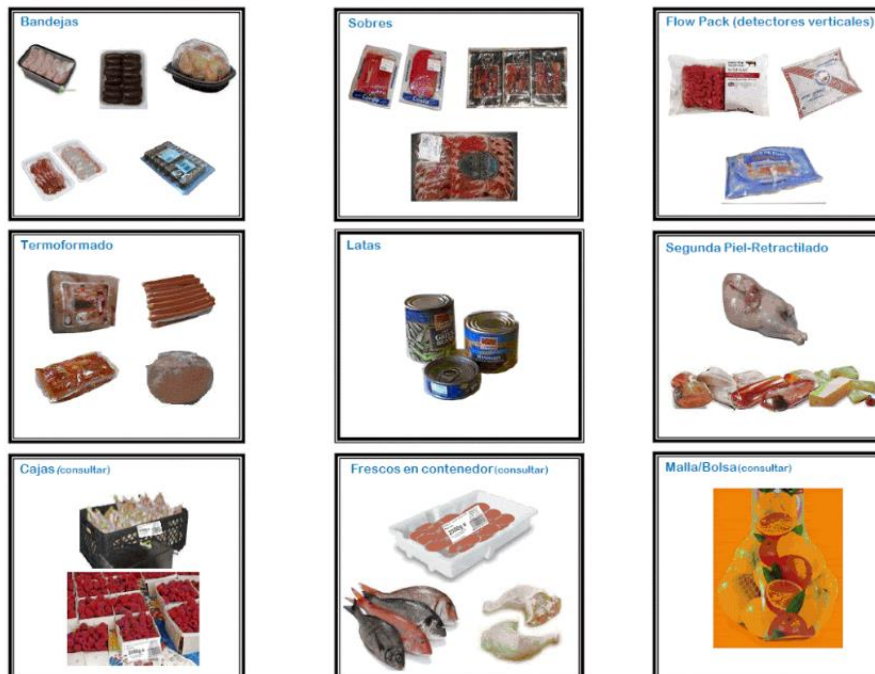


Imagen 6. Posibles tipos de envases para productos

b)Peso del paquete. Dentro de lo que podríamos considerar la variable paquete, tenemos también el peso del paquete. El equipo LS-5000 cuenta con capacidad para pesar hasta productos de 15kg de peso combinando hasta 4 células de pesaje. Para hacer un experimento y testear todos los pesos posibles desde 0-15 kg tendríamos que dedicar mucho tiempo y el coste sería muy elevado. En el anterior punto hemos presentado los discos de pesaje que utilizan en Dibal. Para este experimento en vez de realizar un sinnúmero de niveles para la variable peso estableceremos una medida que nos ayudara a ver la influencia que tiene esta variable en el experimento.

c) Longitud de cinta. Para este tipo de máquinas Dibal cuenta con 3 longitudes de cinta diferentes. Para el experimento, como ya hemos dicho con anterioridad se ha propuesto analizar la máquina estándar por lo que analizaremos dos de estas medidas ya que la tercera y más larga en escasas ocasiones se utiliza.

d)Tipo de cinta. Seguimos con las simplificaciones, Dibal cuenta con varios tipos de cinta como puede ser la estándar y la de alta velocidad. La de alta velocidad tiene la característica de ofrecer mayor rozamiento para que los productos no resbalen con la velocidad. A la hora de realizar el experimento únicamente se utilizará la cinta estándar.

e)Velocidad de la cinta. En el caso de esta variable se va a trabajar a lo largo del experimento con la velocidad máxima. Esta simplificación es simplemente por el objetivo del experimento. Estamos buscando la productividad máxima que el equipo puede ofrecer y para ello tendremos que probarla en sus límites. Si se logran unos resultados fiables a altas velocidades también deberán cumplirse buenos resultados a velocidades inferiores.

f)Tiempo de pesaje. El tiempo de pesaje es la suma de los tiempos de establecimiento y de medida. Esta variable junto con la velocidad y las

características del paquete que el cliente quiere procesar nos dan la longitud de cinta necesaria en el equipo comercializado.

El tiempo de establecimiento es el tiempo que tarda una unidad de producto en estabilizarse dentro de la célula de pesaje. Al tratarse de un pesaje dinámico cuando el producto entra en la célula no lo hace de forma estable sino que su movimiento conlleva vibraciones. Esto hace que durante milisegundos el peso no logre una medida estable. En las células de pesaje producidas por Dibal el tiempo de establecimiento es de entre 280 y 320 ms.

El tiempo de medida, es el tiempo que la célula necesita para hacer una medición del peso de un paquete desde el momento en el que este entra a la célula por completo. En este caso los valores están entre los 60 y los 85 ms.

7.3.4. Planificación

En esta fase procedemos a seleccionar el diseño más adecuado para el experimento con el que lograr los resultados más fiables posibles. Para ello primero definimos las variables que han quedado después de las simplificaciones hechas en el anterior punto.

Se establece que para este experimento se realizan tiradas de 200 pesadas por combinación para obtener una muestra representativa. Cuanto mayor sea la muestra menor será la influencia de las variables no controlables.

Es en este punto, es donde nos empezamos a apoyar en la herramienta minitab. Esta herramienta nos guía durante el diseño de experimento desde el principio. En el menú de minitab mostrado en la siguiente imagen tenemos las recomendaciones de diseños de experimento en función del número de variables a analizar. También podemos ver cómo nos indica el número de experimentos que hay que realizar según el tipo de resolución que deseamos.

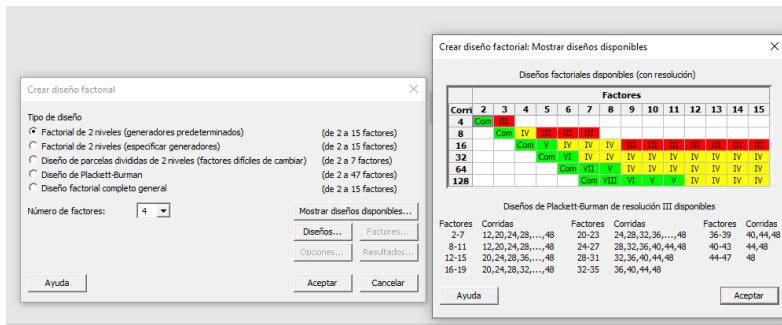


Imagen 7. Menú Minitab para selección de experimento Minitab

Después de analizar toda ñ detenidamente llegamos a la conclusión de que una buena opción para la realización del experimento es el modelo de diseño factorial completo. Con este modelo estudiaremos el total de las combinaciones posibles.

7.3.5. Ejecución de la experimentación

En este punto, es donde comienza el diseño del experimento. El experimento se ha planteado de la siguiente manera. Hemos supuesto un cliente ficticio con una serie de necesidades, según esas necesidades se plantea una solución industrial personalizada así como el diseño de un experimento para su comprobación. Para comenzar a plantear el experimento nos basamos en el esquema presentado en el punto de introducción al DOE y lo rellenamos con los datos que influyen en este experimento.

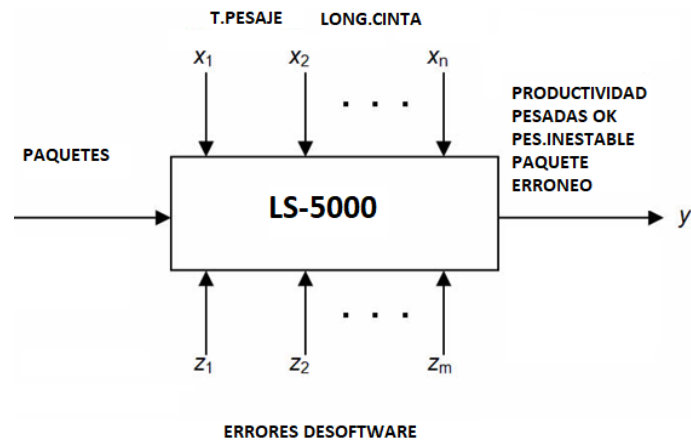


Imagen 8. Esquema simplificado de equipo LS-5000

Nos hemos situado en el lugar de un cliente de Dibal. Suponiendo que es un productor de Discos para pesas, que comercializa dos tipos de discos. Discos de metal y discos de plástico. Dentro de sus necesidades se encuentra un equipo que pese y etiquete los discos en función de sus dimensiones y peso. Aunque distribuye un gran número de discos, hemos escogido como referencia para un experimento inicial unos discos con las características de la siguiente tabla.

DISCO ENSAYO	PESO	DIÁMETRO	FORMA
Plastico	500g	250mm	Disco estandar
Metal	1000g	250mm	disco estandar

Tabla 4. Productos seleccionados para realización de experimento

Esta simplificación se ha basado en los datos históricos recogidos a lo largo del trabajo hecho en Dibal. Este trabajo trata de un primer experimento y una vez establecida su fiabilidad se puede ampliar a un mayor número de discos de ensayo en función de los recursos destinados.

La primera tarea a realizar es configurar un equipo que se adapte a las características. Según el nivel de producción y características de sus productos se establece que el cliente necesita un equipo LS-5000. El equipo seleccionado para este experimento será un LS-5000 de 3 carros:

- Carro 1. El primer carro será el de recepción. A este carro llegan los discos y son alineados para pasar a continuación a la célula de pesaje.
- Carro 2. En este carro se encuentra la célula de pesaje. Es el carro objeto del experimento ya que es el módulo limitante. Este módulo será el que marque la productividad final del equipo.
- Carro 3. Este carro es el que soporta el etiquetado. Para este carro hemos propuesto un etiquetado doble. En la parte superior tendremos una etiquetadora de pistón básica. En la parte inferior tendremos un carro underlabeling.

Como hemos resumido en anteriores puntos, ahora vamos a proceder al cálculo de las dimensiones necesarias para las variables intervinientes. Partimos de la velocidad de las cintas a lo largo del experimento. Para este equipo las velocidades posibles son las siguientes:

Velocidades	m/min	m/s
0	19	0,3167
1	26	0,4333
2	35	0,5833
3	44	0,7333
4	52	0,8667
5	61,5	1,025

Tabla 5. Velocidades del LS-5000

Con estas velocidades, vamos a calcular las dimensiones necesarias de la cinta. Las cintas de los 3 módulos serán iguales, pero es en el módulo del peso, en el que necesitamos una medida especial.

Esto se debe a que no puede haber más de una unidad de producto dentro de la célula al mismo tiempo para poder hacer una buena pesada. De hecho, la única dimensión de la cinta que nos es de importancia es la longitud ya que el ancho estándar de las cintas de Dibal es de 280mm, suficiente en este caso para el diámetro de los productos que vamos a probar.

Para calcular la longitud de la cinta en función de la velocidad, simplemente tenemos en cuenta el tiempo de pesaje. Como contamos con un rango, calculamos tanto para el límite superior como el inferior. Nuestro interés está en la máxima productividad, por eso nosotros nos fijamos en los datos que nos da la V5(61,5 m/min).

Disco(mm)	Velocidades	Longitud cinta	
		t.pesaje (415 ms)	t.pesaje (340 ms)
250	0	131	108
250	1	180	147
250	2	242	198
250	3	304	249
250	4	360	295
250	5	425	349

Tabla 6. Longitudes de cinta necesarios en función de la velocidad

En la tabla podemos ver cómo suponiendo un paquete de una longitud, en función de los valores de tiempo de pesaje que tengamos necesitaremos una longitud de cinta u otra.

Fijándonos en los valores de la velocidad máxima, se aprecia como contando con un tiempo de pesaje de 340 ms que necesitamos la cinta de 600mm de longitud, en cambio, con el tiempo de pesaje de 280 ms nos valdría con la de 400mm. Este hecho varía en gran medida la productividad del equipo ya que cuanto más larga sea la cinta más recorrido tendrá que recorrer el paquete hasta ser clasificado. Con esta prueba queda clara la gran influencia que tienen en la productividad tanto la velocidad como los tiempos de pesaje y la longitud de la cinta.

A continuación, presentamos una ficha resumen mostramos las características de la máquina final. Por un lado se presenta la estructura del equipo final con todos sus componentes y por otro las variables intervinientes en el funcionamiento del equipo.

LS-5000		FACTORES INTERVINIENTES					
ESTRUCTURA		FACTOR	CLASIFICACION	LIMITE INF	LIMITE SUP	SIMPLIFICACION	
Nº CARROS	0+3	PAQUETE	FORMA	CONTROLABLE	-	-	REDONDO
CARRO 0	CARRO RECEPCION		TIPO	CONTROLABLE	Plastico	Metal	-
CARRO 1	MODULO PESAJE		PESO	CONTROLABLE	0	14Kg	250g
CARRO 2	IMPRESORA SUPERIOR	CINTA	ANCHO	CONTROLABLE	280mm	280mm	280mm
	CARRO UNDER		LARGO	CONTROLABLE	200mm	600mm	-
CARRO 3	EXPULSOR		VELOCIDAD	CONTROLABLE	V0	V5	V5
DETECTORES	2	T.PESAJE	T.ESTABLECIMIENTO	CONTROLABLE	280ms	330ms	-
			T.MEDIDA	CONTROLABLE	60ms	85ms	-
		ERRORES	SOFTWARE	RUIDO	-	-	-
			HARDWARE	RUIDO	-	-	-
			MANO DE OBRA	RUIDO	-	-	-

Tabla 7. Resumen variables LS-5000

Una vez definido el equipo y todas sus partes. Como ya está explicado, se va a realizar un diseño experimental completo de dos niveles. Presentamos en primer lugar las variables con las que finalmente vamos a trabajar una vez hechas todas las simplificaciones. En el cuadro mostramos las variables de interés junto a sus dos niveles.

VARIABLES	DESCRIPCION	NIVEL 1	NIVEL 2
1	LONGITUD CINTA	400 mm	600 mm
2	T.ESTABLECIMIENTO	280 ms	330 ms
3	T.MEDIDA	60 ms	85 ms
4	TIPO PAQUETE	PLASTICO	METAL

Tabla 8. Variables seleccionadas para el experimento

Comenzamos el experimento con el programa minitab. Como ya hemos dicho nosotros creamos un diseño factorial completo a dos niveles para 4 factores.

Por falta de tiempo, durante el trabajo de fin de grado realizado en la empresa no fue posible realizar el experimento. Para la continuación de este tfg, como ya he dicho, se han dado estimaciones obtenidas gracias a los datos históricos presentados por la empresa. En la siguiente tabla mostramos unos valores ficticios de los resultados que podríamos obtener en un experimento realizado con este equipo.

Estadísticas Gráfica Vista Ayuda Asistente

Diseño factorial completo

Resumen del diseño

Factores: 4 Diseño de la base: 4; 16
Corridas: 16 Réplicas: 1
Bloques: 1 Puntos centrales (total): 0

4	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8-T	C9	C10	C11	C12	C13
	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	LONGITUD CINTA	T.ESTABLECIMIENTO	T.MEDIDA	TIPO PAQUETE	PRODUCTIVIDAD	PESADAS OK	PES.INESTABLES	PAQ.PROXIMO	
1	1	1	1	600	330	60	METAL	125	182	5	13	
2	2	1	1	600	330	60	PLASTICO	122	184	3	13	
3	3	1	1	400	330	85	METAL	126	183	3	14	
4	4	1	1	400	330	85	PLASTICO	124	185	4	11	
5	5	1	1	600	280	85	METAL	122	182	3	15	
6	6	1	1	600	280	60	METAL	123	184	4	12	
7	7	1	1	400	330	60	PLASTICO	124	183	5	12	
8	8	1	1	600	280	60	PLASTICO	122	182	7	11	
9	9	1	1	400	280	85	METAL	120	185	6	9	
10	10	1	1	400	280	60	METAL	127	179	7	14	
11	11	1	1	400	330	60	METAL	125	181	3	16	
12	12	1	1	600	330	85	METAL	123	180	6	14	
13	13	1	1	600	330	85	PLASTICO	126	181	3	16	
14	14	1	1	400	280	85	PLASTICO	124	182	8	10	
15	15	1	1	400	280	60	PLASTICO	124	180	6	14	
16	16	1	1	600	280	85	PLASTICO	127	178	9	13	

Imagen 9. Resumen experimento introducido en Minitab

En la anterior imagen tenemos todo el resumen del experimento a realizar. En la parte izquierda de la tabla, podemos ver la aleatorización que el programa Minitab ha realizado. En la derecha tenemos las variables respuesta obtenidas en el experimento.

7.3.6. Análisis de los resultados de la experimentación

Es el momento de analizar los resultados obtenidos en el experimento. Para dejar los resultados de forma clara iremos analizando cada una de las variables respuesta estudiadas por separado.

Primero nos apoyaremos de nuevo en la herramienta minitab. Gracias a ella, obtendremos un análisis gráfico muy claro sobre los efectos de las variables. De estos gráficos obtendremos las variables que más influyen en el proceso.

Después se hará un análisis matemático de todas las variables analizando el efecto que tiene cada una de forma individual y el efecto que tienen las interacciones entre ellas. Para todas las variables e interacciones, el análisis matemático se realiza de la misma manera por lo que en este punto voy a presentar un factor y el resto vendrán recogidos en el anexo.

Se expondrá también en este punto un cuadro resumen con el resto de factores para así tener una idea general del experimento al completo.

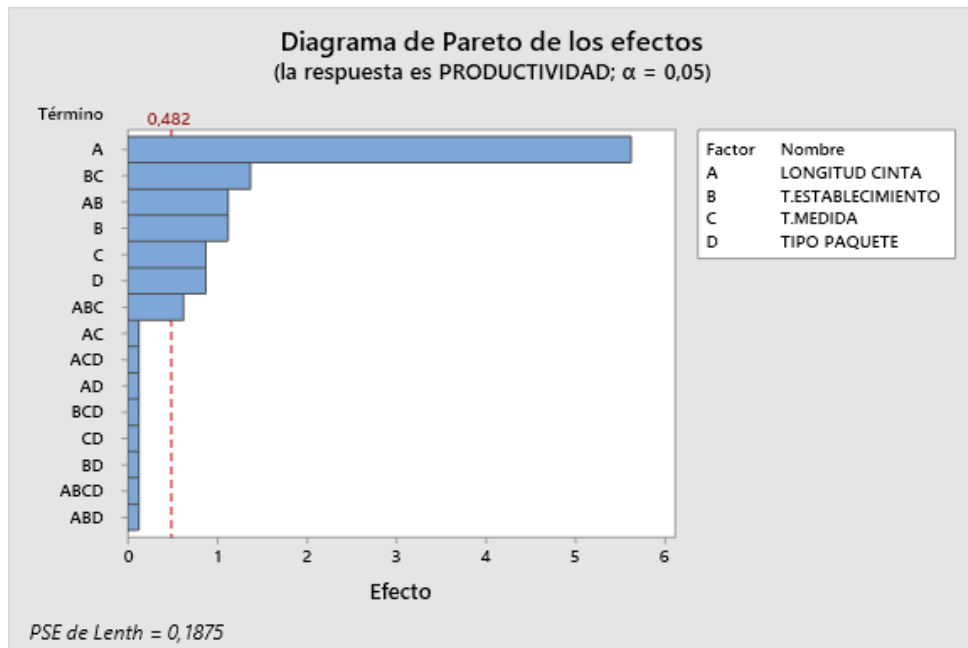
CORRIDA	LONG. CINTA	T.ESTABL.	T.MEDIDA	TIPO PAQ.	PRODUCTIV.	PESADAS OK		INESTABLES		PAQ. PROX.	
							%		%		%
1	600	330	60	METAL	119	190	95,00%	4	2,00%	6	3,00%
2	600	330	60	PLASTICO	120	183	91,50%	9	4,50%	8	4,00%
3	400	330	85	METAL	124	179	89,50%	11	5,50%	10	5,00%
4	400	330	85	PLASTICO	125	177	88,50%	10	5,00%	13	6,50%
5	600	280	85	METAL	118	192	96,00%	4	2,00%	4	2,00%
6	600	280	60	METAL	121	187	93,50%	7	3,50%	6	3,00%
7	400	330	60	PLASTICO	125	176	88,00%	11	5,50%	13	6,50%
8	600	280	60	PLASTICO	122	179	89,50%	9	4,50%	12	6,00%
9	400	280	85	METAL	126	177	88,50%	12	6,00%	11	5,50%
10	400	280	60	METAL	127	176	88,00%	13	6,50%	11	5,50%
11	400	330	60	METAL	124	179	89,50%	11	5,50%	10	5,00%
12	600	330	85	METAL	120	188	94,00%	6	3,00%	6	3,00%
13	600	330	85	PLASTICO	121	182	91,00%	8	4,00%	10	5,00%
14	400	280	85	PLASTICO	126	175	87,50%	11	5,50%	14	7,00%
15	400	280	60	PLASTICO	128	174	87,00%	12	6,00%	14	7,00%
16	600	280	85	PLASTICO	119	183	91,50%	8	4,00%	9	4,50%

Tabla 9. Resultados ficticios obtenidos al realizar el experimento

Empezamos analizando la productividad, que en este caso es el principal motivo de estudio del experimento. En las siguientes imágenes, vamos a mostrar dos gráficas que muestran claramente los efectos de las diferentes variables sobre la productividad.

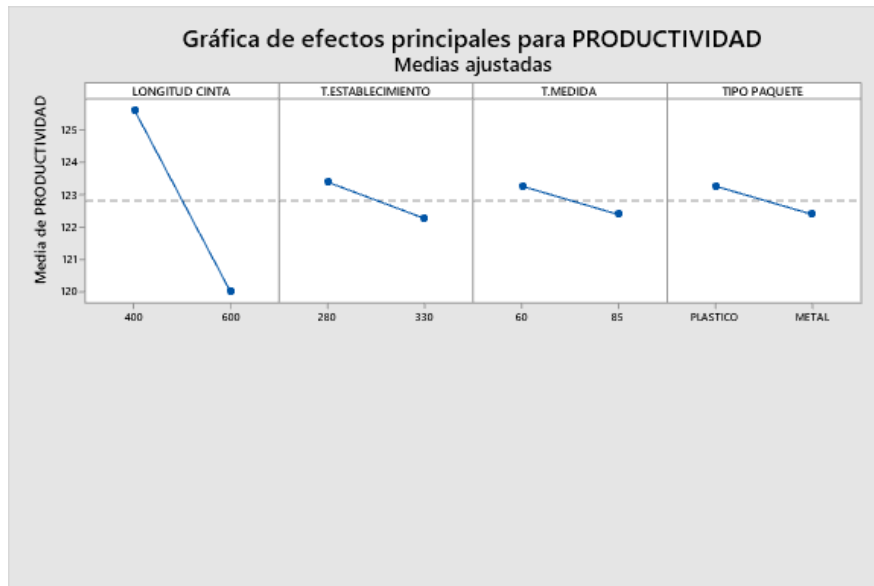
Primero tenemos un diagrama de Pareto. En el viene reflejada mucha información. Primero nos muestra las variables que realmente influyen sobre la productividad. Estas variables son todas las que sobrepasan la línea de rayas roja.

Además, también nos muestra cuales de ellas tienen una mayor influencia sobre la variable respuesta estudiada. De esta forma tendremos una clara referencia de qué variables vamos a estudiar matemáticamente.



Grafica. 1. Diagrama Pareto para la productividad

En este caso vemos que el factor que más influye sobre la productividad es la longitud de las cintas y que el resto de factores principales aunque en mayor medida también ejercen influencia sobre la productividad. Además, vemos como las interacciones BC AB y ABC también ejercen una influencia significativa.



Grafica. 2. Efectos principales sobre la productividad

En la segunda gráfica, tenemos reflejado en detalle el efecto que tienen las variables principales sobre la productividad. Nos indica si el efecto de estos factores es positivo o negativo así como el grado de influencia, en función de la variación que sufran únicamente estos factores, quedando el resto de ellos fijos.

En el caso de la productividad, vemos como todos los factores influyen negativamente sobre esta cuando son alterados desde un nivel 1 a un nivel 2 de los factores. Se puede ver, al igual que en el diagrama de Pareto, como la influencia sobre la productividad al variar la longitud de la cinta, es mucho mayor que si variamos el resto de factores.

Ahora vamos a pasar al análisis matemático de los efectos sobre la productividad. Primero calculamos el efecto de los factores principales y después el de las interacciones de los factores entre sí.

El estudio de los efectos se realiza de igual modo para todos los factores e interacciones por lo que únicamente explicaremos en detalle cómo se ha

obtenido un factor y una interacción. Para el resto de efectos, como ya he dicho, todos los cálculos realizados se podrán encontrar en el anexo y durante el trabajo expondremos los resultados más relevantes para poder realizar el análisis necesario.

Para ello, calculamos la diferencia entre los resultados obtenidos fijando el nivel 1 del factor de interés y los resultados obtenidos en el nivel 2. En la siguiente tabla se muestran los resultados. Vemos cómo al poner la cinta larga, la productividad disminuye en todos los casos y con una media de 5,6 paquetes por minuto. Esto es lógico ya que los productos tienen una distancia mucho mayor que recorrer.

T.ESTAB.	T.MED	TIPO PAQ	PRODUCTIVIDAD		VARIACION
			A(400mm)	A(600mm)	
B	C	D			paq.min
280	60	METAL	128	122	6
280	60	PLASTICO	127	121	6
280	85	METAL	126	119	7
280	85	METAL	126	118	8
330	60	PLASTICO	125	120	5
330	60	METAL	124	119	5
330	85	PLASTICO	125	121	4
330	85	PLASTICO	124	120	4
EFECTO A SOBRE RESPUESTAS			PRODUCT.(paq/min) :		5,63

Tabla 10. Cálculo del efecto de la longitud de cinta sobre la productividad

Esta productividad disminuye en mayor medida en el conjunto del equipo LS-5000 ya que como hemos dicho es un dispositivo que cuenta con varios carros. Al aumentar la longitud de una de las cintas del carro habría que cambiar la longitud de las demás por lo que la productividad real del equipo disminuye aún más.

Para terminar con el estudio de los efectos principales en la siguiente tabla mostramos un resumen con los efectos de cada factor sobre las diferentes variables respuestas.

EFFECTOS SOBRE RESPUESTAS	PRODUCTIVIDAD	PESADAS OK	INESTABLES	PAQUETE PROX
A	5,6 paq/min	-4,4%	2,3%	2,2%
B	1,13 paq/min	-0,7%	0,4%	0,3%
C	0,88 paq/min	-0,6%	0,4%	0,2%
D	0,88 paq/min	-2,4%	0,6%	1,8%

Tabla 11. Resumen cálculo de los efectos principales

Como forma de verificación de que estos datos son correctos, en el anexo se encuentran los diagramas de Pareto para las diferentes respuestas que confirman la veracidad de los datos calculados.

Para el estudio de los efectos de las interacciones actuamos de la misma manera. Por ejemplo para el cálculo de la interacción más influyente, en este caso BC, calculamos la diferencia entre los resultados obtenidos siguiendo las siguientes normas:

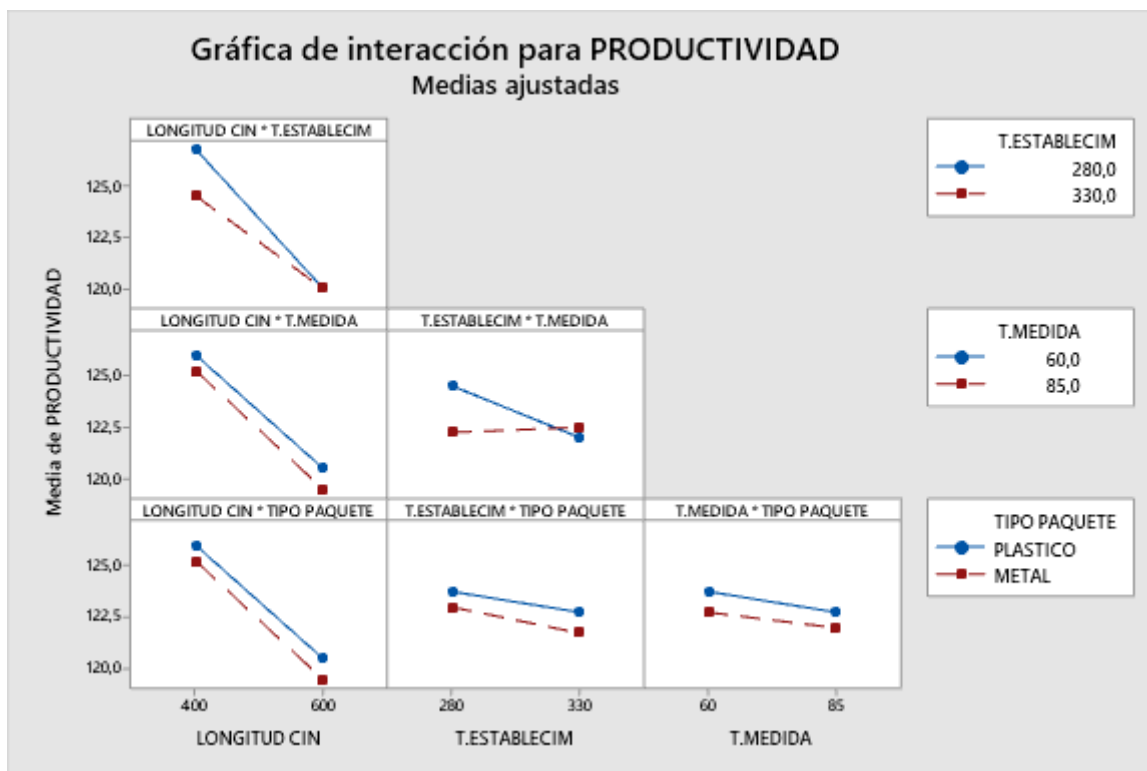
- Como tenemos 4 factores, en este caso la interacción de BC debe hacerse en dos bloques. En el primer bloque se estudiará el efecto de la interacción BC en los discos de plástico y en el segundo la interacción sobre los discos de metal.
- Una vez dividido el estudio, simplemente se actúa como en el caso anterior, para los dos niveles de A, estudiamos los efectos de la variabilidad de B y C.

En la tabla vemos como en el caso del plástico el efecto de la interacción de BC es menor que en el caso del metal. Sin embargo, vemos como el efecto total de BC sobre la productividad d es inferior que el efecto de A. Estos cálculos confirman lo mostrado en el diagrama de Pareto.

D	T.ESTAB.	T.MED	PRODUCTIVIDAD		VARIACION
			A(400mm)	A(600mm)	paq/min
PLASTICO	280	60	128	125	3
	330	60	125	126	-1
	280	85	126	125	1
	330	85	125	121	4
	Efecto de la interaccion BC sobre la productividad (paq/min):				
METAL	280	60	127	121	6
	330	60	124	119	5
	280	85	126	118	8
	330	85	124	120	4
	Efecto de la interaccion BC sobre la productividad(paq/min):				
Efecto total interaccion BC sobre la productividad (paq/min):					4

Tabla 12. Cálculo del efecto de la interacción BC sobre la productividad

A continuación, mostramos las gráficas del efecto de las interacciones de los factores principales sobre la productividad. Estas gráficas, no son tan intuitivas como las anteriores, por ello simplemente las utilizamos para confirmar nuestros cálculos.



Gráfica. 3. Efecto de la interacción de variables principales sobre la productividad

Los cálculos realizados para obtener la tabla anterior los hacemos para todas las interacciones y para todas las variables respuesta. En la siguiente tabla quedan recogidas todos los efectos calculados.

EFECTO	PRODUCTIVIDAD	PESADAS OK	PES.INESTABLES	PAQ.PROXIMO
AB	1,63 paq/min	-0,56%	0,375%	0,187%
AC	1,25 paq/min	-0,69%	0,375%	0,3125%
BC	3,75paq/min	-4,438%	2,25%	2,187%
AD	1 paq/min	-0,56%	0,375%	0,187%
BD	0,88 paq/min	-0,5627%	0,375%	0,187%
CD	1,25 paq/min	-0,69%	0,375%	0,3125%

Tabla 13. Resumen del cálculo de los efectos producidos por la interacción de factores principales

Para terminar con el análisis de la productividad, debemos calcular la contribución básica de los factores principales. La contribución básica, consiste en el cálculo del verdadero efecto que tienen los factores principales sobre la variable respuesta. Simplemente consiste en calcular el efecto que tienen los factores principales descontando el efecto de las interacciones entre factores.

Para calcularlo simplemente descontamos el efecto calculado de las interacciones al efecto del factor principal calculado. En la siguiente tabla mostramos el valor de las contribuciones básicas para el caso de la productividad.

Señalar que no solo habría que descontar el efecto de la interacción de dos variables sino también el de las interacciones de 3 nivel(ABC,ABD...). Con estos cálculos el trabajo se extiende mucho y la forma de calcularlo es exactamente igual que lo anterior. Fijándonos en el diagrama de Pareto vemos que el efecto de estas interacciones es bastante bajo por lo que decidimos obviar estos efectos.

Las contribuciones básicas de los factores principales para la productividad quedan de la siguiente manera:

CONTRIBUCIONES BASICAS	PRODUCTIVIDAD(paq/min)			
	A	B	C	D
	5,6 paq/min	1,13 paq/min	0,88 paq/min	0,88 paq/min
AB	-1,63	-1,63	0	0
AC	-1,25	0	-1,25	0
AD	-1	0	0	-1
BC	0	-3,75	-3,75	0
BD	0	-0,88	0	-0,88
CD	0	0	-1,25	-1,25
CONTRIBUCION BASICA	1,72 paq/min	5,13 paq/min	- 5,37 paq/min	- 2,25 paq/min

Tabla 14. Cálculo de las contribuciones básicas de las variables principales

7.3.7 Mejora del proceso experimental

Una vez realizado el experimento y analizados sus resultados se debe comprobar que los resultados son fiables. A pesar de haber realizado tiradas de hasta 200 pesadas por experimento, esto no es suficiente. Para ello, no hay otra forma que la de repetir el experimento de nuevo. Una vez repetido el experimento se obtienen unos nuevos resultados que hay que contrastar con los anteriores. Como ya hemos dicho que no ha sido posible llevar a cabo el experimento, en este punto no se va a realizar ningún cálculo al respecto.

Para ver si se acepta el diseño de experimento se hace una media de todos los resultados de los experimentos realizados y se calcula la desviación. Según los valores de esa desviación son mayores que los previamente establecidos a criterio del experimentador los resultados no serán aceptados. Si por el contrario el grado de desviación es menor que el establecido se dará por exitoso el diseño de experimento.

7.3.8 Optimización del experimento

En esta fase, simplemente vamos a proponer la combinación de las variables que mejor se ajusta y que nos proporciona los mayores niveles de cada factor respuesta según las necesidades del cliente.

En la siguiente tabla vemos los resultados de la optimización del equipo. Al igual que las gráficas estos datos nos los ha proporcionado el programa minitab. Hemos visto interesante dar dos optimizaciones posibles, una para el caso de los discos de plástico y otra para los de metal.

	VARIABLES ENTRADA			VARIABLES SALIDA			
	LONGITUD CINTA	T.ESTABLECIMIENTO	T.MEDIDA	PRODUCTIVIDAD	PESADAS OK	INESTABLES	PAQ PROXIMO
PLASTICO	600mm	330ms	80 ms	120 paq/min	91,11%	4,11%	4,77%
METAL	600mm	280ms	62,27ms	120 paq/min	93.72%	3.36%	2,90%

Tabla 15. Optimización del experimento para los dos tipos de paquete estudiados

Esta sería la combinación mas optima de los factores entrada para obtener los mejores resultados en conjunto. Se han dividido en los dos tipos de paquete estudiados para tenerlos diferenciados y poder escoger las prioridades.

Esto es un ejemplo de optimización de todos los valores, si se quisiese optimizar una de las respuestas en concreto sin importar los valores de las demás simplemente bastaría con buscar la combinación que maximice la variable respuesta deseada.

7.3.9 Estandarización del proceso

Esta fase es la que se encarga de estandarizar el proceso para poder aplicarlo al resto de los equipos. En este caso, la idea de este trabajo es que en un futuro sirva de apoyo para que la empresa Dibal pueda llevar a cabo un experimento oficial sobre el equipo LS-5000 y a la larga pueda estandarizar un proceso para poder extrapolarlo al resto de sus equipos.

Por el momento esta fase queda en espera de nuevos proyectos y estudios en esta materia por parte de la empresa.

IV. Conclusiones

Como final para este trabajo de fin de grado vamos a exponer las conclusiones a las que hemos llegado tras recoger todos los datos de la experimentación.

El diseño de experimentos, ha resultado ser una herramienta muy útil para el estudio de equipos como las balanzas que comercializa la empresa Dibal. Es un método, que facilita en gran medida el análisis de todas las variables intervinientes en un equipo tan complicado como el estudiado. Esto hace que el realizar un estudio sobre un equipo, no sea una tarea complicada costosa ni que conlleva largos periodos de tiempo.

En el caso de Dibal, tras analizar uno de sus equipos, llegamos a la conclusión de que se trata de una herramienta muy útil para ellos. Al involucrarnos en este proyecto, Dibal ha comenzado a recorrer un camino que a la larga podría ser muy beneficioso para su mejora. Durante nuestras visitas a la empresa vimos como el sector de producción de equipos de pesaje y etiquetado industrial, era un sector con muchas posibles mejoras. La gran mayoría de sus procesos productivos son llevados a cabo manualmente y es muy difícil su automatización. Por ello, es muy importante invertir en procesos de mejora como en este caso es el diseño de experimentos.

Con el diseño de experimentos, Dibal podrá contar con mayor conocimiento de sus equipos además de proporcionar unos tiempos de producción menores a sus clientes ya que sin duda esta herramienta ayudara a recortar sus tiempos de testing de los equipos.

Mediante el diseño de experimentos no solo van a conocer las variables intervinientes en los procesos de sus equipos, sino que van a conocer la influencia que ejerce cada una sobre las variables respuesta e incluso van a ser capaces de modificarlas dentro de unos rangos para obtener unos resultados mejores que los obtenidos hasta el momento.

Desde mi punto de vista, el estudio del DOE para los equipos de Dibal ha sido una tarea complicada principalmente por el desconocimiento de los equipos por mi parte. Este mismo proceso llevado a cabo por un equipo de trabajadores de la propia empresa arrojaría sin duda unos resultados mucho mejores.

No hay que olvidar que todas las conclusiones obtenidas se basan en datos ficticios y conjeturas por lo que si en un futuro se lleva a cabo este experimento seguro que los resultados obtenidos son mucho más esclarecedores.

Para terminar, decir que el diseño de experimentos ha sido una herramienta sencilla de utilizar, que no exige grandes inversiones ni de tiempo ni de dinero por lo que la convierte en una herramienta perfecta para toda empresa o persona que quiera innovar en sus procesos productivos ya que es aplicable a un sinnúmero de procesos productivos.

V. Cronograma de tareas

TAREA REALIZADA	FECHA INICIO	FECHA FIN	14-ene	22-ene	12-feb	26-feb	08-mar	12-mar	28-mar	24-abr	15-jul	15-oct	17-oct
PRESENTACION EN LA EMPRESA	14/01/2019												
PRESENTACION DE LOS EQUIPOS	22/01/2019												
REUNION CON PRODUCCION SELECCION DE EQUIPOS	12/02/2019												
IDENTIFICACION DE VARIABLES INTERVINIENTES	12/02/2019	26/02/2019											
CLASIFICACION DE VARIABLES Y LIMITES	26/02/2019	08/03/2019											
REUNION CON INGENIERIA ANALISIS DETALLADO DE LOS EQUIPOS	26/02/2019												
PLANTAMIENTO DE TRABAJO OBJETIVOS	08/03/2019	12/03/2019											
PRESENTACION DEL DOE RECOPIACION DE DATOS HISTORICOS	12/03/2019												
COMIENZO DEL ESTUDIO DEL DOE	12/03/2019	28/03/2019											
REALIZACION DEL PROYECTO	28/03/2019	15/07/2019											
PRESENTACION PARCIAL DEL TRABAJO EN DIBAL	24/04/2019												
REDACCION DEL PROYECTO	15/07/2019	15/10/2019											
CONCLUSIONES FINALES	15/10/2019	17/10/2019											

Grafica. 4 Diagrama de Gantt con las principales actividades

VI. Referencias

[1] Minitab

<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/getting-started/designing-an-experiment/>

[2] Universidad Politécnica de Valencia, Optimización heurística

<https://optimizacionheuristica.blogs.upv.es/2015/03/17/disen0-de-experimentos/>

[3] Pablo Martin Tanco, Metodología para la aplicación del diseño de experimentos en la industria, 2008

[4] Wikipedia, Diseño de experimentos

https://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o_experimental

[5] Diseños de experimentos DOE- Objetivos y estrategias

<https://www.tcmetrologia.com/blog/disen0-de-experimentos-2/>

[6] Revista DYNA, Metodología del diseño de experimentos

<https://www.revistadyna.com/busqueda/metodologia-del-disen0-de-experimentos-estudio-de-caso-lanzador>

[7] Diseño de Experimentos, Estadística Aplicada 2

<https://www.youtube.com/watch?v=LUXCD5mnfPs>

[8] Dibal, soluciones y equipos de pesaje y etiquetado

<https://www.dibal.com/es>

[9] Diseño de experimentos (DOE): Para qué sirve y cómo realizarlo

<https://www.pdcahome.com/2117/disen0-de-experimentos-para-que-sirve-y-como-realizarlo/>

VII. Anexos

Cálculo de los factores principales

1-Longitud de cinta

T. ESTAB.	T. MED	TIPO PAQ	PRODUCTIVIDAD		VARIACION	PESADAS OK		VARIACION	PES INESTABLES		VARIACION	PAQ PROXIMO		VARIACION
B	C	D	A(400mm)	A(600mm)	paq./min	A(400mm)	A(600mm)	%	A(400mm)	A(600mm)	%	A(400mm)	A(600mm)	%
280	60	METAL	128	122	6	87	89,5	-2,5	6	4,5	1,5	7	6	1
280	60	PLASTICO	127	121	6	88	93,5	-5,5	6,5	3,5	3	5,5	3	2,5
280	85	METAL	126	119	7	87,5	91,5	-4	5,5	4	1,5	7	4,5	2,5
280	85	METAL	126	118	8	88,5	96	-7,5	6	4,5	2	5,5	4	3,5
330	60	PLASTICO	125	120	5	88	91,5	-3,5	5,5	4,5	1	6,5	5	2,5
330	60	METAL	124	119	5	89,5	95	-5,5	5,5	2	3,5	5	3	2
330	85	PLASTICO	125	121	4	88,5	91	-2,5	5	4	1	6,5	5	1,5
330	85	PLASTICO	124	120	4	89,5	94	-4,5	5,5	3	2,5	5	3	2
EFECTO A SOBRE RESPUESTAS			PRODUCT (paq./min) :		5,63	PES. OK(%) :		-4,438	INESTABLES(%) :		2,25	PAQ PROX(%) :		2,188

Tabla 16 Efecto de A sobre las variables salida

2. Tiempo de establecimiento

LONG. CINTA	T. MED	TIPO PAQ	PRODUCTIVIDAD		VARIACION	PESADAS OK		VARIACION	PES. INESTABLES		VARIACION	PAQ. PROXIMO		VARIACION
A	C	D	B(280ms)	A(300ms)	paq/min	B(280ms)	A(300ms)	%	B(280ms)	A(300ms)	%	B(280ms)	A(300ms)	%
400	60	PLASTICO	128	125	3	87	88	-1	6	5,5	0,5	7	6,5	0,5
400	60	METAL	127	124	3	88	89,5	-1,5	6,5	5,5	1	5,5	5	0,5
400	85	PLASTICO	126	125	1	87,5	88,5	-1	5,5	5	0,5	7	6,5	0,5
400	85	METAL	126	124	2	88,5	89,5	-1	6	5,5	0,5	5,5	5	0,5
600	60	PLASTICO	122	120	2	89,5	91,5	-2	4,5	4,5	0	6	4	2
600	60	METAL	121	119	2	93,5	95	-1,5	3,5	2	1,5	3	3	0
600	85	PLASTICO	119	121	-2	91,5	91	0,5	4	4	0	4,5	5	-0,5
600	85	METAL	118	120	-2	96	94	2	2	3	-1	2	3	-1
EFECTO B SOBRE RESPUESTAS			PRODUCT. (paq/min) :		1,13	PES. OK(%):		-0,688	INESTABLES(%):		0,38	PAQ. PROX(%):		0,31

Tabla 17. Efecto de B sobre las variables principales

3. Tiempo de medida

LONG. CINTA	T. ESTAR	TIPO PAQ	PRODUCTIVIDAD		VARIACION	PESADAS OK		VARIACION	PES. INESTABLES		VARIACION	PAQ. PROXIMO		VARIACION
A	B	D	C(600ms)	C(85ms)	paq. min	C(600ms)	C(85ms)	%	C(600ms)	C(85ms)	%	C(600ms)	C(85ms)	%
400	280	PLASTICO	128	126	2	87	87,5	-0,5	6	5,5	0,5	7	7	0
400	280	METAL	127	126	1	88	88,5	-0,5	6,5	6	0,5	5,5	5,5	0
400	330	PLASTICO	125	125	0	88	88,5	-0,5	5,5	5	0,5	6,5	6,5	0
400	330	METAL	124	124	0	89,5	89,5	0	5,5	5,5	0	5	5	0
600	280	PLASTICO	122	119	3	89,5	91,5	-2	4,5	4	0,5	6	4,5	1,5
600	280	METAL	121	118	3	93,5	96	-2,5	3,5	2	1,5	3	2	1
600	330	PLASTICO	120	121	-1	91,5	91	0,5	4,5	4	0,5	4	4	-1
600	330	METAL	119	120	-1	95	94	1	2	3	-1	3	3	0
EFECTO C SOBRE RESPUESTAS			PRODUCT. (paq/min) :		0,88	PES. OK(%):		-0,563	INESTABLES(%):		0,38	PAQ. PROX(%):		0,19

Tabla 18. Efecto de C sobre las variables principales

4.Tipo de paquete

LONG.CINTA	TESTAB.	T.MED	PRODUCTIVIDAD		VARIACION	PESADAS OK		VARIACION	PES.INESTABLES		VARIACION	PAQ.PROXIMO		VARIACION
A	B	C	PLASTICO	METAL	paq:min	PLASTICO	METAL	%	PLASTICO	METAL	%	PLASTICO	METAL	%
400	280	60	128	127	1	87	88	-1	6	6,5	-0,5	7	5,5	1,5
400	330	60	125	124	1	88	89,5	-1,5	5,5	5,5	0	6,5	5	1,5
600	280	60	122	121	1	89,5	93,5	-4	4,5	3,5	1	6	3	3
600	330	60	120	119	1	91,5	95	-3,5	4,5	2	2,5	4	3	1
400	280	85	126	126	0	87,5	88,5	-1	5,5	6	-0,5	7	5,5	1,5
400	330	85	125	124	1	88,5	89,5	-1	5	5,5	-0,5	6,5	5	1,5
600	280	85	119	118	1	91,5	96	-4,5	4	2	2	4,5	2	2,5
600	330	85	121	120	1	91	94	-3	4	3	1	5	3	2
EFECTO D SOBRE RESPUESTAS			PRODUCT (paq/min) :		0,88	PES. OK(%):		-2,438	INESTABLES(%):		0,6250	PAQ. PROX(%):		1,8125

Tabla 19. Efecto de D sobre las variables principales

Cálculo de las interacciones entre factores principales

1.Interacción AB

D	L.CINTA	T.ESTAB.	PRODUCTIVIDAD		VARIACION
			C(60ms)	C(85ms)	paq/min
PLASTICO	400	280	128	126	2
	400	330	125	125	0
	600	280	122	119	3
	600	330	120	121	-1
	Efecto interaccion AB sobre la productividad (paq/min):				
METAL	400	280	127	126	1
	400	330	124	121	3
	600	280	124	118	6
	600	330	119	120	-1
	Efecto de la interaccion AB sobre la productividad(paq/min):				
Efecto total interaccion AB sobre la productividad(paq/min):					1,63

Tabla 20. Efecto de AB sobre productividad

D	L.CINTA	T.ESTAB.	PESADA OK		VARIACION
			C(60ms)	C(85ms)	%
PLASTICO	400	280	87	87,5	-0,5
	400	330	88	88,5	-0,5
	600	280	89,5	91,5	-2
	600	330	91,5	91	0,5
	Efecto interaccion AB sobre la Pesada ok (%):				
METAL	400	280	88	88,5	-0,5
	400	330	89,5	89,5	0
	600	280	93,5	96	-2,5
	600	330	95	94	1
	Efecto de la interaccion AB sobre la pesada ok(%):				
Efecto total interaccion AB sobre la pesada ok(%):					-0,56

Tabla 21. Efecto de AB sobre la pesada OK

D	L.CINTA	T.ESTAB.	INESTABLES		VARIACION
			C(60ms)	C(85ms)	%
PLASTICO	400	280	6	5,5	0,5
	400	330	5,5	5	0,5
	600	280	4,5	4	0,5
	600	330	4,5	4	0,5
	Efecto interaccion AB sobre pes. inestables (%):				
METAL	400	280	6,5	6	0,5
	400	330	5,5	5,5	0
	600	280	3,5	2	1,5
	600	330	2	3	-1
	Efecto de la interaccion AB sore pes. inestables(%):				
Efecto total interaccion AB sobre la pes. inestables(%):					0,375

Tabla 22. Efecto AB sobre las pesadas inestables

D	L.CINTA	T.ESTAB.	PAQUETE PROXIMO		VARIACION
			C(60ms)	C(85ms)	%
PLASTICO	400	280	7	7	0
	400	330	6,5	6,5	0
	600	280	6	4,5	1,5
	600	330	4	5	-1
	Efecto interaccion AB sobre la paquete proximo (%):				
METAL	400	280	5,5	5,5	0
	400	330	5	5	0
	600	280	3	2	1
	600	330	3	3	0
	Efecto interaccion AB sobre la paquete proximo (%):				
Efecto total interaccion AB sobre la paq. proximo(%):					0,1875

Tabla 23. Efecto de AB sobre los paquetes próximos

2.Interacción AC

D	L.CINTA	T.MED	PRODUCTIVIDAD		VARIACION
			B(280ms)	B(330ms)	paq/min
PLASTICO	400	60	128	125	3
	400	85	126	125	1
	600	60	122	120	2
	600	85	119	121	-2
	Efecto interaccion AC sobre la productividad (paq/min):				
METAL	400	60	127	124	4
	400	85	126	124	2
	600	60	121	119	2
	600	85	118	120	-2
	Efecto interaccion AC sobre la productividad(paq/min):				
Efecto total interaccion AC sobre la productividad(paq/min):					1,25

Tabla 24. Efecto AC sobre la productividad

D	L.CINTA	T.MED	PESADA OK		VARIACION
			B(280ms)	B(330ms)	%
PLASTICO	400	60	87	88	-1
	400	85	87,5	88,5	-1
	600	60	89,5	91,5	-2
	600	85	91,5	91	0,5
	Efecto interaccion AC sobre la Pesada ok (%):				
METAL	400	60	88	89,5	-1,5
	400	85	88,5	89,5	-1
	600	60	93,5	95	-1,5
	600	85	96	94	2
	Efecto interaccion AC sobre la Pesada ok (%):				
Efecto total interaccion AC sobre la pesada ok(%):					-0,69

Tabla 25. Efecto de AC sobre la pesada OK

D	L.CINTA	T.MED	INESTABLES		VARIACION
			B(280ms)	B(330ms)	%
PLASTICO	400	60	6	5,5	0,5
	400	85	5,5	5	0,5
	600	60	4,5	4,5	0
	600	85	4	4	0
	Efecto interaccion AC sobre la pes. inestable(%):				
METAL	400	60	6,5	5,5	1
	400	85	6	5,5	0,5
	600	60	3,5	2	1,5
	600	85	2	3	-1
	Efecto interaccion AC sobre la productividad(%):				
Efecto total interaccion AC sobre la pes. inestable(%):					0,375

Tabla 26. Efecto AC sobre las pesadas inestables

D	L.CINTA	T.MED	PAQUETE PROXIMO		VARIACION
			B(280ms)	B(330ms)	%
PLASTICO	400	60	7	6,5	0,5
	400	85	7	6,5	0,5
	600	60	6	4	2
	600	85	4,5	5	-0,5
	Efecto interaccion AC sobre la paq. proximo(%):				
METAL	400	60	5,5	5	0,5
	400	85	5,5	5	0,5
	600	60	3	3	0
	600	85	2	3	-1
	Efecto interaccion AC sobre la paq. proximo(%):				
Efecto total interaccion AC sobre la paq. proximo(%):					0,3125

Tabla 27. Efecto de AC sobre paquete próximo

3. Interacción de AD

B	L.CINTA	T.PAQUETE	PRODUCTIVIDAD		VARIACION
			C(60ms)	C(85ms)	paq/min
280	400	PLASTICO	128	126	2
	400	METAL	127	126	0
	600	PLASTICO	122	119	3
	600	METAL	121	118	-1
	Efecto interaccion AD sobre la productividad (paq/min):				
330	400	PLASTICO	125	120	2
	400	METAL	124	119	0
	600	PLASTICO	125	121	3
	600	METAL	124	120	-1
	Efecto de la interaccion AD sobre la productividad(paq/min):				
Efecto total interaccion AD sobre la productividad(paq/min):					1

Tabla 28. Efecto AD sobre la productividad

B	L.CINTA	T.PAQUETE	PESADA OK		VARIACION
			C(60ms)	C(85ms)	%
280	400	PLASTICO	87	87,5	-0,5
	400	METAL	88	88,5	-0,5
	600	PLASTICO	89,5	91,5	-2
	600	METAL	93,5	96	-2,5
	Efecto interaccion AD sobre la Pesada ok (%):				
330	400	PLASTICO	88	88,5	-0,5
	400	METAL	89,5	89,5	0
	600	PLASTICO	91,5	91	0,5
	600	METAL	95	94	1
	Efecto de la interaccion AD sobre la pesada ok(%):				
Efecto total interaccion AB sobre la pesada ok(%):					-0,56

Tabla 29. Efecto de AD sobre la pesada OK

B	L.CINTA	T.PAQUETE	INESTABLES		VARIACION
			C(60ms)	C(85ms)	%
280	400	PLASTICO	6	5,5	0,5
	400	METAL	6,5	6	0,5
	600	PLASTICO	4,5	4	0,5
	600	METAL	3,5	2	1,5
	Efecto interaccion AD sobre pes. inestables (%):				
330	400	PLASTICO	5,5	5	0,5
	400	METAL	5,5	5,5	0
	600	PLASTICO	4,5	4	0,5
	600	METAL	2	3	-1
	Efecto de la interaccion AD sobre pes. inestables(%):				
Efecto total interaccion AD sobre la pes. inestables(%):					0,375

Tabla 30. Efecto de AD sobre las pesadas inestables

B	L.CINTA	T.PAQUETE	PAQUETE PROXIMO		VARIACION
			C(60ms)	C(85ms)	%
280	400	PLASTICO	7	7	0
	400	METAL	5,5	5,5	0
	600	PLASTICO	6	4,5	1,5
	600	METAL	3	2	1
	Efecto interaccion AD sobre la paquete proximo (%):				
330	400	PLASTICO	6,5	6,5	0
	400	METAL	5	5	0
	600	PLASTICO	4	5	-1
	600	METAL	3	3	0
	Efecto interaccion AD sobre la paquete proximo (%):				
Efecto total interaccion AD sobre la paq. proximo(%):					0,1875

Tabla 31. Efecto de AD sobre los paquetes próximos

4. Interacción de BC

D	T.ESTAB.	T.MED	PRODUCTIVIDAD		VARIACION
			A(400mm)	A(600mm)	paq/min
PLASTICO	280	60	128	125	3
	330	60	125	126	-1
	280	85	126	125	1
	330	85	125	121	4
	Efecto de la interacción BC sobre la productividad (paq/min):				
METAL	280	60	127	121	6
	330	60	124	119	5
	280	85	126	118	8
	330	85	124	120	4
	Efecto de la interacción BC sobre la productividad (paq/min):				
Efecto total interacción BC sobre la productividad (paq/min):					3,75

Tabla 32. Efecto de BC sobre la productividad

D	T.ESTAB.	T.MED	PESADAS OK		VARIACION
			A(400mm)	A(600mm)	%
PLASTICO	280	60	87	89,5	-2,5
	330	60	88	91,5	-3,5
	280	85	87,5	91,5	-4
	330	85	88,5	91	-2,5
	Efecto de la interacción BC sobre pesadas ok (%) :				
METAL	280	60	88	93,5	-5,5
	330	60	89,5	96	-6,5
	280	85	88,5	95	-6,5
	330	85	89,5	94	-4,5
	Efecto de la interacción BC sobre pesadas ok (%) :				
Efecto total de la interacción BC sobre pesadas ok (%) :					-4,438

Tabla 33. Efecto de BC sobre las pesadas OK

D	T.ESTAB.	T.MED	PES.INESTABLES		VARIACION
			A(400mm)	A(600mm)	%
PLASTICO	280	60	6	4,5	1,5
	330	60	5,5	4,5	1
	280	85	5,5	4	1,5
	330	85	5	4	1
	Efecto de la interaccion BC sobre inestables (%) :				
METAL	280	60	6,5	3,5	3
	330	60	5,5	2	3,5
	280	85	6	2	4
	330	85	5,5	3	2,5
	Efecto de la interaccion BC sobre inestables (%) :				
Efecto total de la interaccion BC sobre inestables (%) :					2,25

Tabla 34 Efecto de BC sobre las pesadas inestables

D	T.ESTAB.	T.MED	PAQ.PROXIMO		VARIACION
			A(400mm)	A(600mm)	%
PLASTICO	280	60	7	6	1
	330	60	6,5	4	2,5
	280	85	7	4,5	2,5
	330	85	6,5	5	1,5
	Efecto de la interaccion BC sobre paq.proximo (%) :				
METAL	280	60	5,5	3	2,5
	330	60	5	3	2
	280	85	5,5	2	3,5
	330	85	5	3	2
	Efecto de la interaccion BC sobre paq. proximo (%) :				
Efecto total de la interaccion BC sobre paquete prox. (%) :					2,1875

Tabla 35. Efecto de BC sobre los paquetes próximos

5. Interacción de BD

A	TIPO PAQ.	T.ESTAB.	PRODUCTIVIDAD		VARIACION
			C(60ms)	C(85ms)	paq/min
400mm	PLASTICO	280	128	126	2
	METAL	280	127	126	1
	PLASTICO	330	125	125	0
	METAL	330	124	124	0
	Efecto de la interacción BD sobre la productividad (paq/min):				
600mm	PLASTICO	280	122	119	3
	METAL	280	121	118	3
	PLASTICO	330	120	121	-1
	METAL	330	119	120	-1
	Efecto de la interacción BD sobre la productividad(paq/min):				
Efecto total interacción BD sobre la productividad (paq/min):					0,88

Tabla 36. Efecto de BD sobre la productividad

A	TIPO PAQ.	T.ESTAB.	PESADAS OK		VARIACION
			C(60ms)	C(85ms)	%
400mm	PLASTICO	280	87	87,5	-0,5
	METAL	280	88	88,5	-0,5
	PLASTICO	330	88	88,5	-0,5
	METAL	330	89,5	89,5	0
	Efecto de la interacción BD sobre pesadas ok (%) :				
600mm	PLASTICO	280	89,5	91,5	-2
	METAL	280	93,5	96	-2,5
	PLASTICO	330	91,5	91	0,5
	METAL	330	95	94	1
	Efecto de la interacción BD sobre pesadas ok (%) :				
Efecto total de la interacción BC sobre pesadas ok (%) :					-0,5625

Tabla 37. Efecto BC sobre las pesadas OK

A	TIPO PAQ.	T.ESTAB.	PES.INESTABLES		VARIACION
			C(60ms)	C(85ms)	%
400mm	PLASTICO	280	6	5,5	0,5
	METAL	280	6,5	6	0,5
	PLASTICO	330	5,5	5	0,5
	METAL	330	5,5	5,5	0
	Efecto de la interaccion BD sobre inestables (%) :				
600mm	PLASTICO	60	4,5	4	0,5
	METAL	60	3,5	2	1,5
	PLASTICO	85	4,5	4	0,5
	METAL	85	2	3	-1
	Efecto de la interaccion BD sobre inestables (%) :				
Efecto total de la interaccion BD sobre inestables (%) :					0,375

Tabla 38. Efecto BD sobre pesada inestable

A	TIPO PAQ.	T.ESTAB.	PAQ.PROXIMO		VARIACION
			C(60ms)	C(85ms)	%
400mm	PLASTICO	280	7	7	0
	METAL	280	5,5	5,5	0
	PLASTICO	330	6,5	6,5	0
	METAL	330	5	5	0
	Efecto de la interaccion BD sobre paq.proximo (%) :				
600mm	280	60	6	4,5	1,5
	330	60	3	2	1
	280	85	4	5	-1
	330	85	3	3	0
	Efecto de la interaccion BD sobre paq. proximo (%) :				
Efecto total de la interaccion BD sobre paq. proximo (%) :					0,1875

Tabla 39. Efecto BD sobre paquete próximo

6. Interacción CD

A	T.PAQUETE	T.MED	PRODUCTIVIDAD		VARIACION
			B(280ms)	B(330ms)	paq/min
400	PLASTICO	60	128	125	3
	METAL	60	127	124	1
	PLASTICO	85	126	125	2
	METAL	85	126	124	-2
	Efecto interacción DC sobre la productividad (paq/min):				
600	PLASTICO	60	122	120	4
	METAL	60	121	119	2
	PLASTICO	85	119	121	2
	METAL	85	118	120	-2
	Efecto interacción DC sobre la productividad(paq/min):				
Efecto total interacción DC sobre la productividad(paq/min):					1,25

Tabla 40. Efecto DC sobre productividad

A	T.PAQUETE	T.MED	PESADA OK		VARIACION
			B(280ms)	B(330ms)	%
400	PLASTICO	60	87	88	-1
	METAL	60	88	89,5	-1,5
	PLASTICO	85	87,5	88,5	-1
	METAL	85	88,5	89,5	-1
	Efecto interacción DC sobre las pesadas ok (%):				
600	PLASTICO	60	89,5	91,5	-2
	METAL	60	93,5	95	-1,5
	PLASTICO	85	91,5	91	0,5
	METAL	85	96	94	2
	Efecto interacción DC sobre las pesadas ok(%):				
Efecto total interacción DC sobre las pesadas ok(%):					-0,69

Tabla 41. Efecto DC sobre la pesada OK

A	T.PAQUETE	T.MED	INESTABLES		VARIACION
			B(280ms)	B(330ms)	%
400	PLASTICO	60	6	5,5	0,5
	METAL	60	6,5	5,5	1
	PLASTICO	85	5,5	5	0,5
	METAL	85	6	5,5	0,5
	Efecto interaccion DC sobre las pes. inestables (%):				
600	PLASTICO	60	4,5	4,5	0
	METAL	60	3,5	2	1,5
	PLASTICO	85	4	4	0
	METAL	85	2	3	-1
	Efecto interaccion DC sobre las pes. inestables (%):				
Efecto total interaccion DC sobre la pes. inestables(%):					0,375

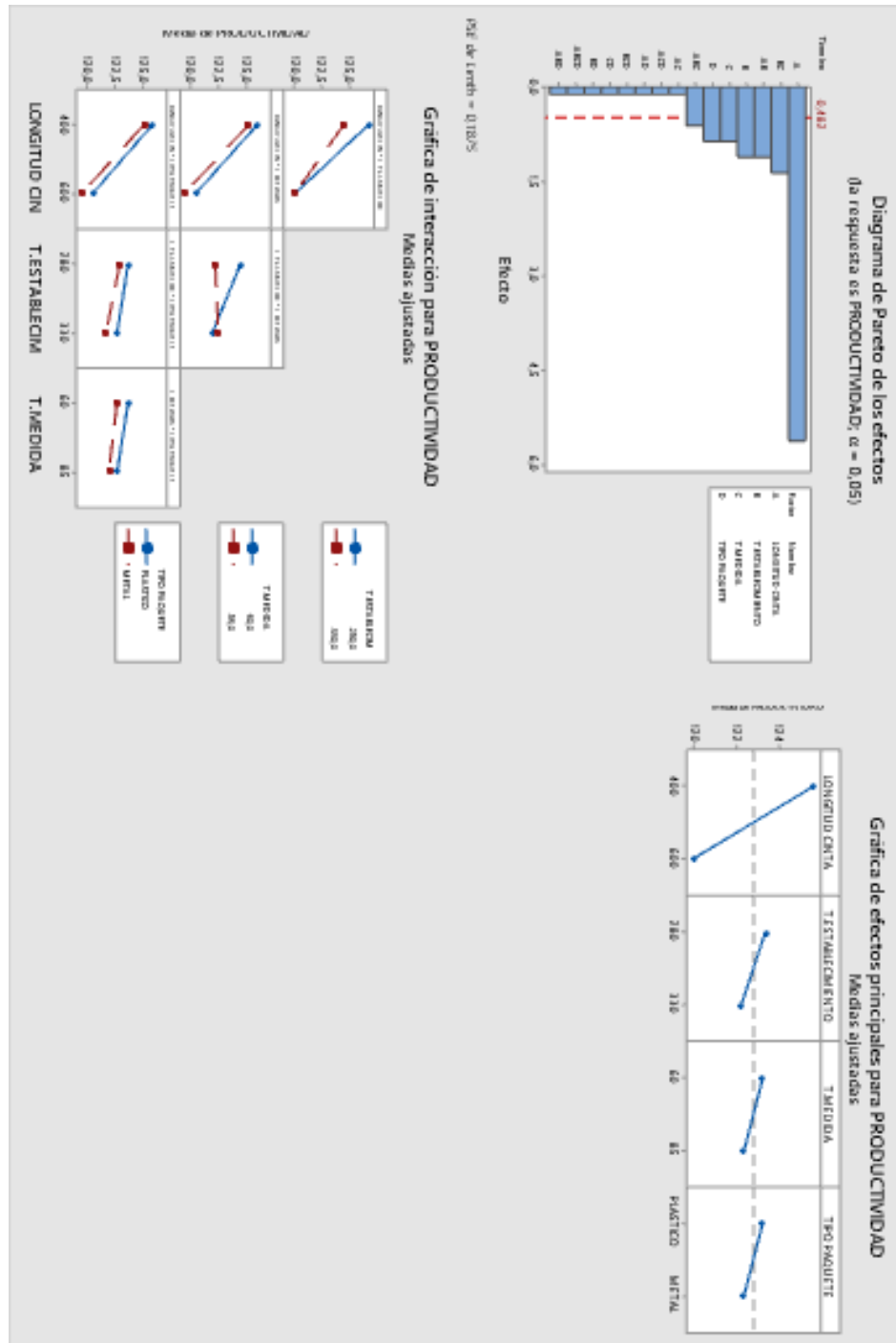
Tabla 42. Efecto DC sobre las pesadas inestables

A	T.PAQUETE	T.MED	PAQUETE PROXIMO		VARIACION
			B(280ms)	B(330ms)	%
400	PLASTICO	60	7	6,5	0,5
	METAL	60	5,5	5	0,5
	PLASTICO	85	7	6,5	0,5
	METAL	85	5,5	5	0,5
	Efecto interaccion DC sobre la paquete proximo (%):				
600	PLASTICO	60	6	4	2
	METAL	60	3	3	0
	PLASTICO	85	4,5	5	-0,5
	METAL	85	2	3	-1
	Efecto interaccion DC sobre la paquete proximo (%):				
Efecto total interaccion DC sobre la paq. proximo(%):					0,3125

Tabla 43. Efecto DC sobre los paquetes próximos

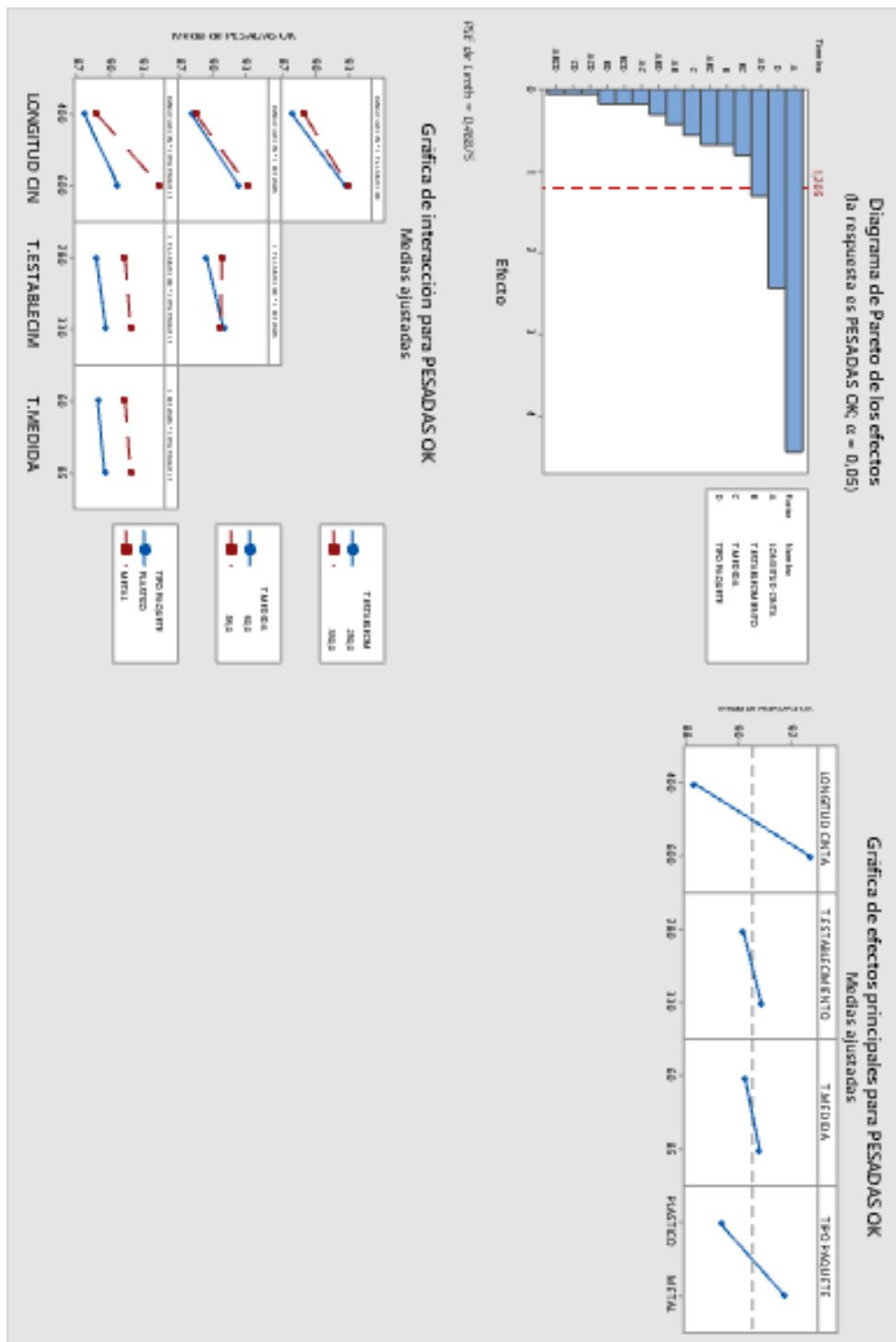
Resumen de Graficas para las diferentes variables respuesta

1.Productividad



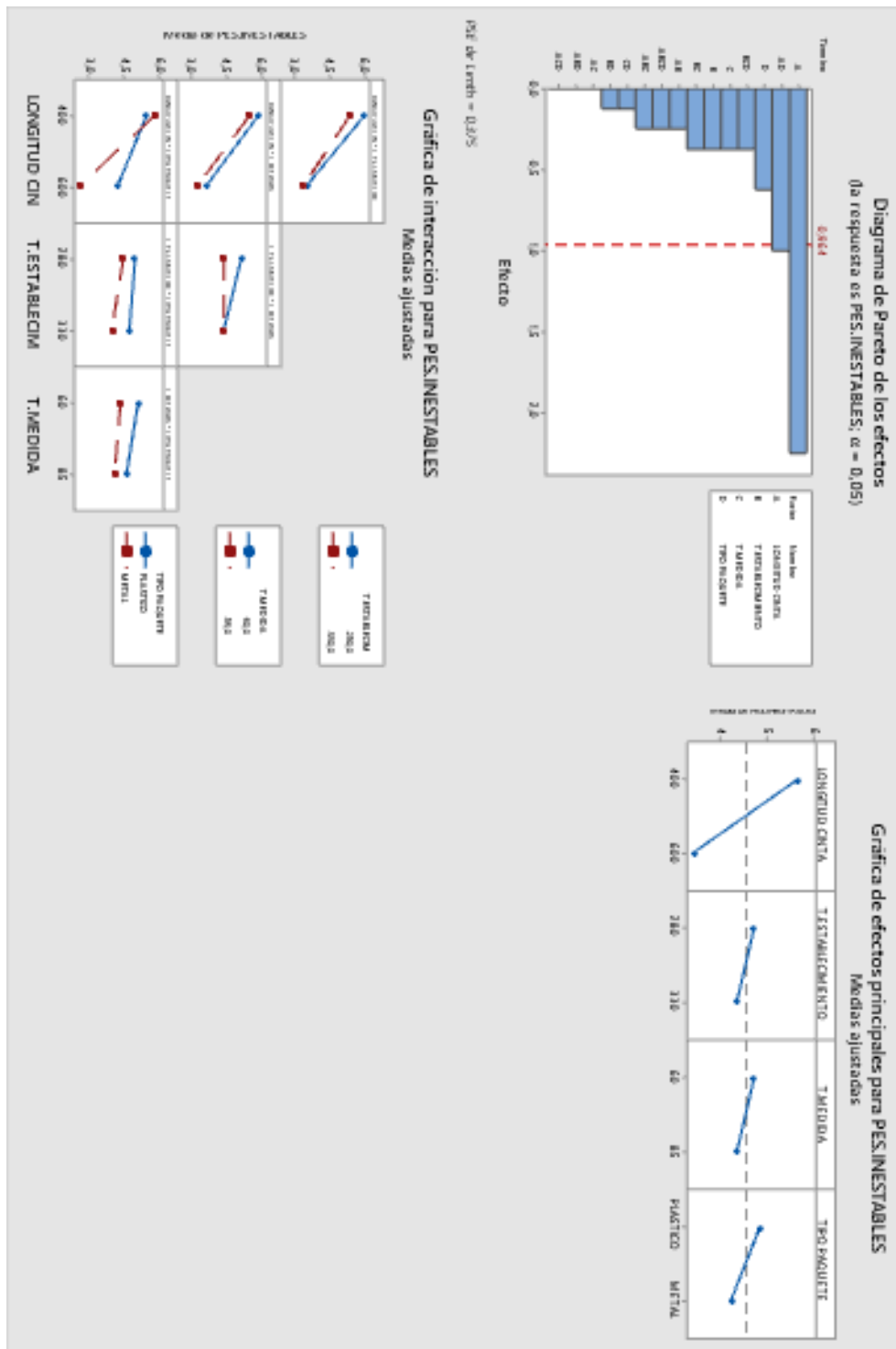
Grafica. 5 Resumen graficas de la productividad

2.Pesadas OK



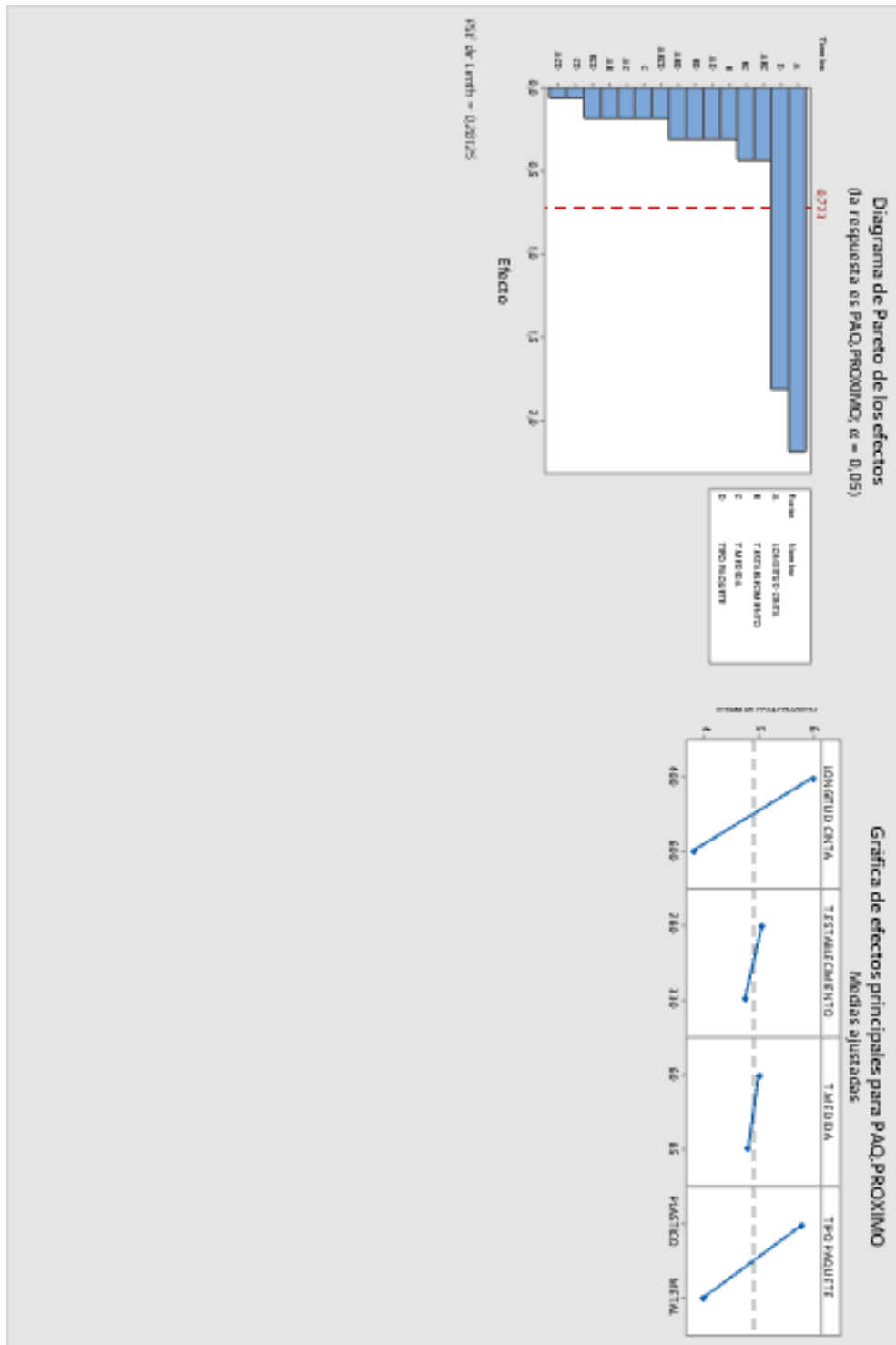
Grafica. 6. Resumen graficas de pesadas OK

3.Pesadas Inestables



Grafica. 7. Resumen graficas de pesadas inestables

4. Paquete próximo



Grafica. 8. Resumen graficas paquete próximo