



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Análisis y mejora de procesos con la metodología Six  
Sigma para la reducción de desperdicios de producción en  
una fábrica de baterías de reposición

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: Muñoz Colomer, Jaime

Tutor/a: García Sabater, Julio Juan

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUOLA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIERÍA  
INDUSTRIAL VALENCIA

Curso Académico:

## RESUMEN

La gran mayoría de fábricas a nivel nacional e internacional tienen como parte de su plantilla un departamento dedicado a la mejora continua de los procesos llevados a cabo en producción para alcanzar la mayor eficiencia posible en la planta.

El objetivo de este Trabajo Final de Grado es aprender cómo trabaja uno de estos departamentos en la elaboración de un proyecto que se propondrá por objetivo reducir los desperdicios de material de uno de los muchos procesos de producción de una fábrica de baterías de reposición. El documento seguirá la estructura propia de la metodología Six Sigma utilizada por la empresa con la que se ha colaborado en la realización de este proyecto durante la estancia de prácticas como complemento formativo antes de finalizar los estudios de Grado. Como todo proyecto de mejora, este documento recoge toda la información necesaria para conocer el proceso del que se va a realizar la mejora para posteriormente analizar el mismo y extraer posibles mejoras, las cuales se implementarán para comprobar los beneficios obtenidos.

Palabras clave: Mejora continua, Six Sigma, Lean Manufacturing, DMAIC

## RESUM

La gran majoria de fàbriques a nivell nacional e internacional tenen com a part de la plantilla un departament dedicat a la millora continua dels processos duts a terme en producció per a assolir la major eficiència possible en la planta.

L' objectiu d'aquest Treball Final de Grau és aprendre com treballa un d'aquests departaments en la elaboració d'un projecte que tindrà per objectiu reduir el desperdici de material d'un dels molts processos de producció de una fàbrica de bateries de reposició. El document mantindrà la estructura pròpia de la metodologia Six Sigma utilitzada per la empresa amb la que s'ha col·laborat en la realització d'aquest projecte durant l'estància de pràctiques com a complement formatiu abans de finalitzar els estudis de Grau. Com tot projecte de millora, este document recull tota la informació necessària per a conèixer el procés del que es va a realitzar la millora per a posteriorment analitzar el mateix i extraure possibles millores, les quals s'implementaran per a comprovar els beneficis obtinguts.

Paraules clau: Millora continua, Six Sigma, Lean Manufacturing, DMAIC

## **ABSTRACT**

Most of the national and international factories have as part of his staff a department dedicated to the continuous improvement of the processes made in production to achieve the highest possible efficiency.

The main goal of this Final Degree Project is to learn how this department works developing a project with the purpose of reduce the material scrap from one of its many processes of production in a replacement batteries factory. This document will continue the structure fixed by the Six Sigma methodology used by the company where this project has been developed during the internship as a complement of the studies before finishing the Degree. As every improvement project, this document contains all the necessary information relative to the process which will be improved for later analyse this process and extract all posible improvements, which will be implemented to control all the benefits obtained.

Key Words: Continuous Improvement, Six Sigma, Lean Manufacturing, DMAIC

## **I. MEMORIA**

1. Introducción y justificación del proyecto .....	11
2. Introducción a la empresa y a su proceso productivo .....	12
2.1. Introducción.....	12
2.2. Área de semielaborados .....	12
2.3. Área de montaje .....	16
2.4. Área de carga y terminación .....	18
3. Marco teórico.....	20
3.1. Introducción.....	20
3.1. Introducción a la metodología Six Sigma .....	20
3.3. Introducción teórica al Diseño de Experimentos (DOE) .....	23
4. Fases Definir y Medir.....	26
4.1. Introducción.....	26
4.2. Definición del proyecto.....	26
4.3. Definición del proceso. Origen de las proyecciones. ....	31
4.4. Definición de los parámetros a controlar. ....	36
4.5. Medición del proyecto.....	37
4.5.1. Flujo del proceso .....	37
4.5.2. Medidas tomadas del proceso de soldadura .....	43
4.6. Conclusiones de las Fases Definir y Medir .....	49
5. Fase Analizar .....	50
5.1. Introducción.....	50
5.2. Definición del Diseño de Experimentos .....	50
5.3. Procedimiento .....	54
5.4. Análisis de los resultados.....	59
5.5. Conclusiones de la Fase Analizar .....	66
6. Fases Mejorar y Controlar	
6.1. Introducción.....	67
6.2. Fase Mejorar .....	67
6.2.1. Mejora procedente de la Fase Definir y Medir .....	67
6.2.2. Mejoras procedentes de la Fase Analizar.....	70
6.3. Fase Controlar.....	73
6.3.1. Implementación de las mejoras en la documentación de control .....	73
6.3.2. Control de las mejoras implementadas.....	76
6.4. Conclusiones del proyecto.....	78
7. Bibliografía .....	79

## **II. PRESUPUESTO**

Presupuesto .....	81
-------------------	----

<i>Figura 1. Diagrama de flujo del área de semielaborados (Fuente: Elaboración propia)</i> .....	12
<i>Figura 2. Máquina 'Rolling Mill' en funcionamiento (Fuente: Elaboración propia)</i> . ....	13
<i>Figura 3. Bobinas extraídas de la máquina 'Rolling Mill' (Fuente: Elaboración propia)</i> . ....	13
<i>Figura 4. Expansores en funcionamiento (Fuente: Elaboración propia)</i> .....	14
<i>Figura 5. Bobinas de rejillas extraídas de los expansores (Fuente: Elaboración propia)</i> .....	14
<i>Figura 6. Línea 3 de empastería (Fuente: Elaboración propia)</i> . ....	15
<i>Figura 7. Pallet de placas a la salida de empastería (Fuente: Elaboración propia)</i> . ....	15
<i>Figura 8. Diagrama de flujo del área de montaje (Fuente: Elaboración propia)</i> .....	16
<i>Figura 9. Plano de la línea 1 (Fuente: Material de la empresa)</i> . ....	17
<i>Figura 10. Sección de colas de la línea 1 (Fuente: Elaboración propia)</i> .....	17
<i>Figura 11. Batería a la salida de montaje (Fuente: Elaboración propia)</i> .....	18
<i>Figura 12. Diagrama de flujo del área de carga y terminación (Fuente: Elaboración propia)</i> . ....	18
<i>Figura 13. Línea 1 de terminación (Fuente: Elaboración propia)</i> . ....	19
<i>Figura 14. Extracto del resumen del área de montaje de la aplicación DataStudio (Fuente: Elaboración propia)</i> . ....	27
<i>Figura 15. Diagrama de Pareto del número de baterías rechazadas en montaje por cada tipo de rechazo (Fuente: Elaboración propia)</i> . ....	28
<i>Figura 16. Diagrama de Pareto del plomo técnico rechazado (kg) en montaje por tipo de rechazo (Fuente: Elaboración propia)</i> . ....	29
<i>Figura 17. Baterías rechazadas por proyecciones por línea (Fuente: Elaboración propia)</i> . ....	30
<i>Figura 18. Plomo técnico desperdiciado (kg) debido a proyecciones por línea (Fuente: Elaboración propia)</i> . ....	30
<i>Figura 19. Estimación del ahorro anual en caso de alcanzar el objetivo para la línea 1 (Fuente: Elaboración propia)</i> . ....	31
<i>Figura 20. Estructura interna de una batería plomo-ácido (Fuente: Material de la empresa)</i> . ....	32
<i>Figura 21. Disposición general de las uniones en una batería de coche (Fuente: Material de la empresa)</i> .....	32
<i>Figura 22. Diferencia de huella en la unión debido al aumento de presión del grupo hidráulico (Fuente: Material de la empresa)</i> . ....	34
<i>Figura 23. Proyección producida por exceso de energía aportada en la soldadura (Fuente: Material de la empresa)</i> .....	34
<i>Figura 24. Correcta separación de los electrodos (Fuente: Material de la empresa)</i> .....	35
<i>Figura 25. Problemas ocasionados por la incorrecta alineación de los electrodos (Fuente: Material de la empresa)</i> .....	35
<i>Figura 26. Desalineación de la soldadura debido a la mala colocación de las uniones (Fuente: Elaboración propia)</i> . ....	36
<i>Figura 27. Recipiente a la salida de las escotadora (Fuente: Elaboración propia)</i> .....	38
<i>Figura 28. Paquete de baterías antes de entrar en la etapa de COS (Fuente: Elaboración propia)</i> . ....	39
<i>Figura 29. Diagrama 'As-Is' de la etapa previa a la propia máquina TTP (Fuente: Elaboración propia)</i> . ....	40
<i>Figura 30. Disposición general de las uniones en baterías de camión (Fuente: Elaboración propia)</i> . ..	41
<i>Figura 31. Interior de una batería tras la etapa del COS (Fuente: Elaboración Propia)</i> . ....	41
<i>Figura 32. Diagrama 'As-Is' correspondiente al primer cabezal (Fuente: Elaboración propia)</i> .....	42

<i>Figura 33. Diagrama 'As-Is' del segundo cabezal (Fuente-. Elaboración propia).....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 34. Orden de soldadura en la segunda vuelta de la máquina (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 35. Energía aportada en soldadura para la batería D06116C200A en el primer cabezal (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 36. Energía aportada en soldadura para la batería D06130C170A en el primer cabezal (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 37. Energía aportada en soldadura para la batería D06130C170A en el segundo cabezal (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 38. Energía aportada en soldadura para la batería D06130C270A en el primer cabezal (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 39. Energía aportada en soldadura para la batería D06116C200A en el segundo cabezal (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 40. Energía aportada en soldadura para la batería D06120C010A en el segundo cabezal (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 41. Energía aportada en soldadura para la batería D06120C010A en el primer cabezal (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 42. Resistencia medida durante la soldadura en la batería D06120C010A en el segundo cabezal (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 43. Energía aportada en la soldadura para la batería D06120C010A en la línea 5 (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 44. Resistencia medida durante la soldadura en la batería D06130C270A en el segundo cabezal (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 45. Resistencia medida durante la soldadura en la batería D06130C270A en la línea 5 (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 46. Pieza utilizada para la elaboración de 'dummies' (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 47. Recipiente con las piezas metálicas utilizadas como sustitutivo de paquetes reales (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 48. Jerarquía de tiempos para el ajuste de cada uno de los parámetros definidos (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 49. Pantalla inicial del software de MATUSCHEK (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 50. Programas preparados con todas las combinaciones de intensidad y tiempo (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 51. Pantalla del operario en la máquina TTP (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 52. 'Checklist' del procedimiento a seguir para realizar las muestras correspondientes a cada uno de los cabezales (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 53. Electrodo a sustituir para la realización del DOE (paso 3.4.) (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 54. Juego de electrodos a utilizar para uno de los cabezales (un juego utilizado por cabezal) (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 55. Ejemplo de 'Ring Welding' en la soldadura (Fuente: Material de la empresa). ....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 56. Extracto de la hoja Excel obtenida a través de 'Matuschek' (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 57. Gráfica de los principales efectos sobre la energía para cada parámetro en el modelo (Fuente: Elaboración propia). ....</i>	<i>61</i>



<i>Figura 58. Diagrama de Pareto sobre los efectos de cada variable para el modelo (Fuente: Elaboración propia).</i>	62
<i>Figura 59. Energía aportada en la soldadura en función de si ha generado o no proyecciones (Fuente: Elaboración propia).</i>	62
<i>Figura 60. Configuración del optimizador de respuesta para alcanzar el objetivo marcado (Fuente: Elaboración propia).</i>	63
<i>Figura 61. Modelo predictivo creado a partir de los datos introducidos (Fuente: Elaboración propia).</i>	63
<i>Figura 62. Resumen estadístico del modelo creado (Fuente: Elaboración propia).</i>	63
<i>Figura 63. Diagrama de Pareto sobre los efectos de cada variable para el segundo modelo (Fuente: Elaboración propia).</i>	64
<i>Figura 64. Gráfica de los principales efectos sobre la energía para cada parámetro en el segundo modelo (Fuente: Elaboración propia).</i>	64
<i>Figura 65. Resumen estadístico del segundo modelo realizado (Fuente: Elaboración propia).</i>	65
<i>Figura 66. Diagrama de Pareto sobre los efectos de cada variable para el segundo modelo, tras filtrar las combinaciones menos relevantes (Fuente: Elaboración propia).</i>	65
<i>Figura 67. Resumen estadístico del segundo modelo realizado tras el filtrado (Fuente: Elaboración propia).</i>	66
<i>Figura 68. Segundo modelo predictivo creado a partir de los datos introducidos, tras realizar el correspondiente filtrado (Fuente: Elaboración propia).</i>	66
<i>Figura 69. Número de paquetes rechazados según la unión en la que se produce la proyección para cada configuración (Fuente: Elaboración propia).</i>	69
<i>Figura 70. Cálculo estimado del número de proyecciones en cada una de las configuraciones antes y después de la modificación (Fuente: Elaboración propia).</i>	69
<i>Figura 71. Cálculo del coste de cada paquete de placas (Fuente: Elaboración propia).</i>	70
<i>Figura 72. Cálculo estimado de los ahorros anuales alcanzables con la implementación de la mejora (Fuente: Elaboración propia).</i>	70
<i>Figura 73. Línea de tendencia de la energía en la soldadura tras realizar el cambio de electrodos (Fuente: Elaboración propia).</i>	71
<i>Figura 74. Muestras tomadas antes y después de realizar la limpieza de electrodos en el segundo cabezal (Fuente: Elaboración propia).</i>	72
<i>Figura 75. Muestras divididas en las tres fases de limpieza de los electrodos en el segundo cabezal (Fuente: Elaboración propia).</i>	73
<i>Figura 76. Representación del intervalo de confianza en un 95% de las tres fases de limpieza (Fuente: Elaboración propia).</i>	73
<i>Figura 77. Extracto del documento PR referente a los parámetros de trabajo de TTP de la línea 1 actualizado (Fuente: Elaboración propia).</i>	75
<i>Figura 78. Extracto del informe a realizar por los inspectores de calidad (Fuente: Material de la empresa).</i>	75
<i>Figura 79. Extracto del plan de control actualizado de la fábrica (Fuente: Material de la empresa).</i>	76
<i>Figura 80. Extracto del documento modificado 'Acciones en caso de anomalías (Fuente: Elaboración propia).</i>	76
<i>Figura 81. Diagrama de Pareto del número de baterías rechazadas en montaje por proyecciones en cada línea tras las mejoras (Fuente: Elaboración propia).</i>	77

*Figura 82. Diagrama de Pareto de la cantidad de plomo técnico rechazado en montaje por proyecciones en cada línea tras las mejoras (Fuente: Elaboración propia). ..... 78*

*Figura 83. Cálculo de los ahorros anuales de las mejoras implementadas (Fuente: Elaboración propia). ..... 78*

*Figura 84. Plan de acción anual sobre el proyecto de la máquina TTP (Fuente: Elaboración propia). . 79*

# I. MEMORIA

## 1. Introducción y justificación del proyecto

Este Trabajo Final de Grado está basado en el proyecto de mejora continua desarrollado durante la estancia de prácticas en empresa realizadas desde el mes de enero hasta el mes de julio de 2022 en el departamento de 'Continuous Improvement' (CI) de una planta fabricante de baterías de reposición. La función del departamento es, principalmente, recoger y controlar la implementación de todas las acciones de mejora que puedan surgir en las reuniones diarias entre los distintos encargados de la planta, denominadas reuniones CIP ('Continuous Improvement Process'), además de proponer otros proyectos de más largo plazo, para así poder cumplir los objetivos que se proponen para todas las plantas a nivel europeo para cada año fiscal. Además de la propuesta, implementación y control de estos proyectos, el departamento también se encarga de realizar reportes periódicos sobre los proyectos cerrados recientemente en la planta, para así ponerlos en común con el resto de las fábricas de Europa. Gracias a estas reuniones, los departamentos de CI de cada una de las plantas pueden recoger las ideas y proyectos que progresan satisfactoriamente, para así implementarlas en sus instalaciones en el caso de ser posible.

Al tratarse de una multinacional, la empresa marca a nivel central una serie de objetivos para cada una de las plantas con relación a eficiencia, productividad, ahorros...etc., que deben ser alcanzados dentro de cada año fiscal. El año fiscal 2023 comienza en abril de 2022, por lo que, al comienzo de esta estancia de prácticas, se estaban definiendo los proyectos a partir de los cuales se pretendían alcanzar estos objetivos marcados para el nuevo año fiscal. Para cumplir los objetivos de ahorros se puede enfocar de distintas maneras un proyecto (ahorro energético, reducir la cantidad de materia prima utilizada para cada unidad de producto, aumentar eficiencia...etc.), aunque la manera más efectiva de aumentar los ahorros (debido al elevado coste que suponen) es reduciendo los desperdicios de material que se puede producir a lo largo del proceso productivo en forma de rechazos, siendo uno de estos proyectos de reducción de desperdicios en el que está basado este Trabajo Final de Grado. Como se desarrollará más extensamente a continuación, el motivo de desperdicio que se quiere reducir con este proyecto son las proyecciones producidas en la soldadura de las uniones TTP ('Through The Partition'), por lo que se deberán buscar todas las posibles causas que originen estos desperfectos, y una vez conocidas, actuar sobre ellas y controlar los resultados obtenidos, comprobando que se han alcanzado los objetivos tras la mejora.

El motivo de este Trabajo Final de Grado, al igual que el proyecto desarrollado y las correspondientes prácticas realizadas, es aprender a desarrollar un proyecto real, en este caso utilizando metodología Six Sigma, y cómo mediante su aplicación es posible obtener gran cantidad de información, además de facilitar la generación de nuevas ideas que permitan mejorar el proceso productivo; y por otro lado, conocer el funcionamiento del departamento de mejora continua, siendo todos estos conocimientos aplicables a cualquier empresa no sólo del sector industrial, sino a cualquier proyecto enfocado en la mejora de un proceso y/o producto, con la posibilidad de adquirir experiencia en el ámbito laboral no sólo en la gestión de proyectos, sino también en la capacidad de aprendizaje y de organización autónoma.

## 2. Introducción a la empresa y a su proceso productivo

### 2.1. Introducción

En este capítulo se va a explicar el proceso productivo completo que se lleva a cabo a lo largo de toda la fábrica con el objetivo de poder situar el proceso que se va a analizar en este proyecto, contextualizando para qué es necesario en la fabricación de la batería, y qué procedimientos previos de la producción influyen en el resultado de este proceso a mejorar. El proceso de fabricación de la planta puede dividirse en tres secciones claramente diferenciadas: semielaborados, montaje, y por último carga y terminación. Este capítulo se divide en apartados distintos para cada una de estas secciones en los que se desarrollará de forma general el proceso de fabricación de cada área correspondiente, acompañándose de un diagrama del flujo de fabricación para cada apartado, y figuras que complementen esta información.

### 2.2. Área de semielaborados

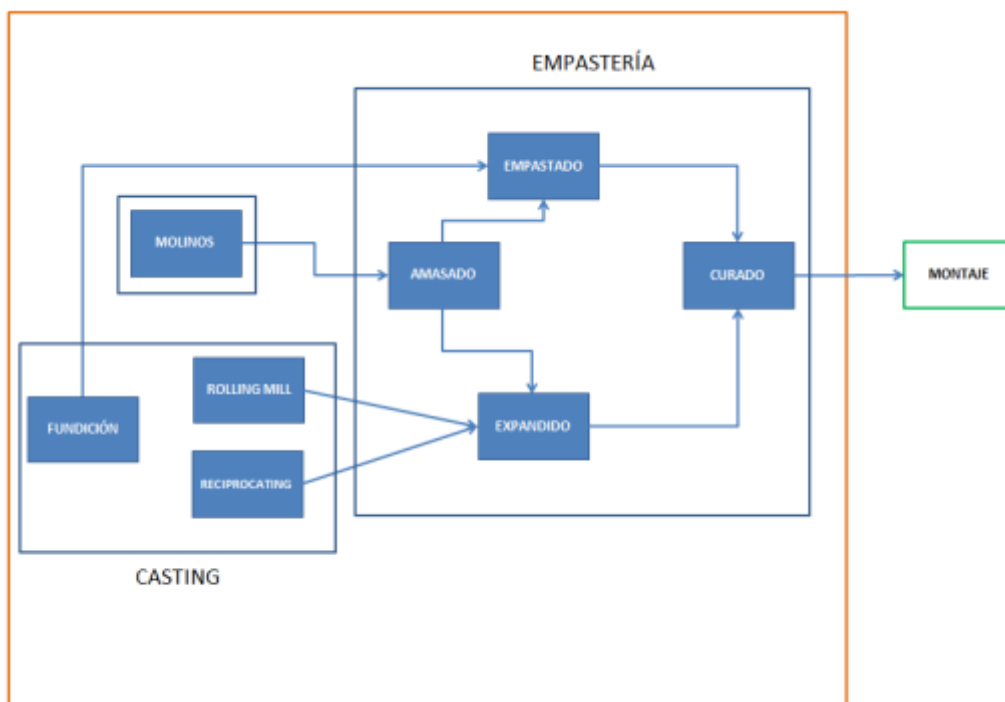


Figura 1. Diagrama de flujo del área de semielaborados (Fuente: Elaboración propia).

En la primera sección, semielaborados, se fabrican las placas que más tarde irán a las baterías. Para formar estas placas se utilizan dos métodos: fundición (cada vez más en desuso debido a su elevado coste) y por expansores. En el proceso de fundición, es un molde el que da forma a la rejilla de la batería a partir de plomo fundido, siendo este proceso discontinuo ya que el molde forma las rejillas

una a una. Por otro lado, los expansores cuentan con dos etapas, siendo la primera de ellas formada por la máquina denominada 'Rolling Mill'. Su función es, a partir de plomo (separado del plomo de fundición), laminarlo hasta conseguir el grosor y tamaño adecuados. Al final de esta línea, la lámina se bobina para poder ser transportada al siguiente punto de los expansores.



**Figura 2. Máquina 'Rolling Mill' en funcionamiento**  
(Fuente: Elaboración propia).



**Figura 3. Bobinas extraídas de la máquina 'Rolling Mill'**  
(Fuente: Elaboración propia).

Esta siguiente etapa consiste en la expansión de las bobinas de plomo obtenidas previamente, proceso en el que además se le da forma a la rejilla, existiendo dos líneas para expandir las láminas. El último paso de esta etapa es bobinar de nuevo, en este caso las rejillas ya formadas, para poder pasar a la segunda etapa de semielaborados: empastería.



**Figura 4. Expansores en funcionamiento**  
(Fuente: Elaboración propia).



**Figura 5. Bobinas de rejillas extraídas de los expansores**  
(Fuente: Elaboración propia).

En empastería se disponen de seis líneas cuya función es añadir la materia activa (en este caso se trata de óxido de plomo) a las rejillas. Esta pasta también es realizada en semielaborados, concretamente en la zona denominada molinos. En esta zona, en primer lugar, se fraccionan lingotes de plomo en las denominadas cubiteras, en las que primero corta en lonchas y posteriormente, gracias a unos rodillos, las separa en cubos. Estos 'cubitos' se transportan a los tres molinos disponibles en la planta, en los que se transforman en óxido de plomo a partir del que se obtiene la pasta utilizada posteriormente en empastería.

En las líneas de empastería, se les añade la pasta adecuada, se cortan las rejillas bobinadas para separarlas en placas, y por último pasan por un túnel de secado. En las líneas 4 y 5, se les añade la pasta a las placas procedentes de fundido; en las líneas 1 y 3 se utilizan las bobinas ya expandidas (*Figura 5*) y las líneas 6 y 7 se utilizan bobinas sin expandir (*Figura 3*). Posteriormente, se paletizan para pasar a las cámaras de curado, en las que pasan varias horas a una temperatura y humedad específicas para que la pasta se procese correctamente y se una perfectamente a la rejilla. Una vez



finalizado el proceso de curado, podemos considerar la sección de semielaborados por finalizada, pasando a la siguiente sección: montaje.



**Figura 6. Línea 3 de empastería (Fuente: Elaboración propia).**



**Figura 7. Pallet de placas a la salida de empastería (Fuente: Elaboración propia).**



### 2.3. Área de montaje

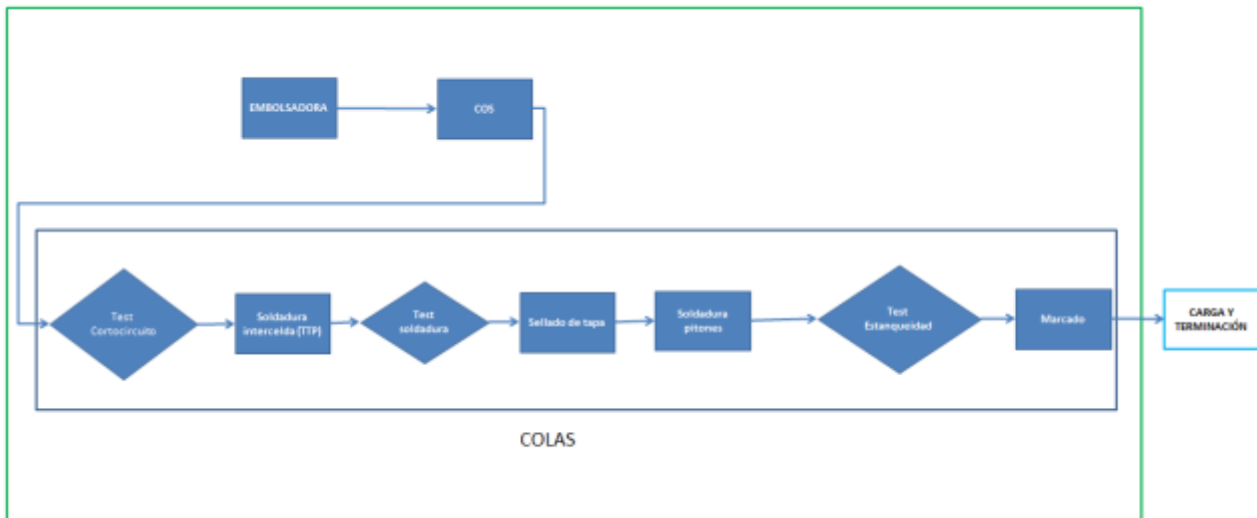


Figura 8. Diagrama de flujo del área de montaje (Fuente: Elaboración propia).

En la sección de montaje es donde se les dan forma a las baterías, y se cuenta en este caso con 7 líneas distintas, en general todas con las mismas etapas. En la embolsadora, se juntan las placas positivas y negativas (producidas por separado en la etapa de semielaborados) en bolsas que evitan el cortocircuito al mantener las placas separadas, y se reparten estas placas en distintos paquetes, según la cantidad especificada de placas para cada batería. La siguiente etapa es el COS, denominada así ya que es la etapa en la que se realizan las uniones entre las placas de cada paquete (Cast on Strap). En el COS también se deben introducir los diferentes paquetes en la carcasa de la batería, siendo este proceso realizado por operarios manualmente, salvo en el caso de la línea 1 y la línea 7, en la que toda esta etapa del COS está automatizada. El resto de la línea a partir de este punto se denomina colas, ya que se trata de un proceso mucho más automatizado y controlado, en la que los operarios no están tan implicados en el proceso. La siguiente etapa (ya dentro de la sección de colas) es la de TTP, en la que se realiza la soldadura de las uniones entre los distintos paquetes, después de haber sido introducidos en la carcasa de la batería previamente. Esta es la etapa en la que se centrará este proyecto de reducción de desperdicios, más concretamente en la soldadura TTP de la línea 1, como se justificará más adelante.

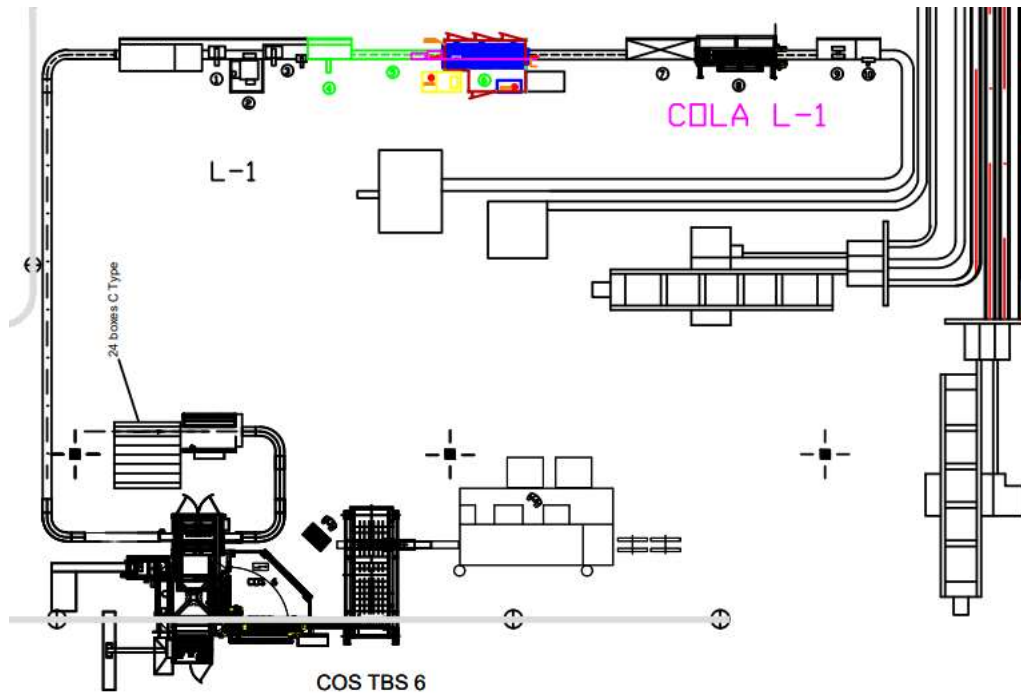


Figura 9. Plano de la línea 1 (Fuente: Material de la empresa).

Al salir de esta etapa, un operario debe añadir en la misma línea las tapas de la batería para cerrar la carcasa, para posteriormente llegar a termo sellado, en la que mediante temperatura se juntan la tapa con el resto del recipiente. Más adelante llega a la pitonera, en la que se forman los bornes de entrada y salida de corriente de la batería, y en último lugar, se realiza una prueba de estanqueidad aplicando presión a la batería para comprobar que se ha realizado el proceso correctamente. Tras esta comprobación, se paletizan para pasar a la siguiente y última sección de la planta: carga y terminación.

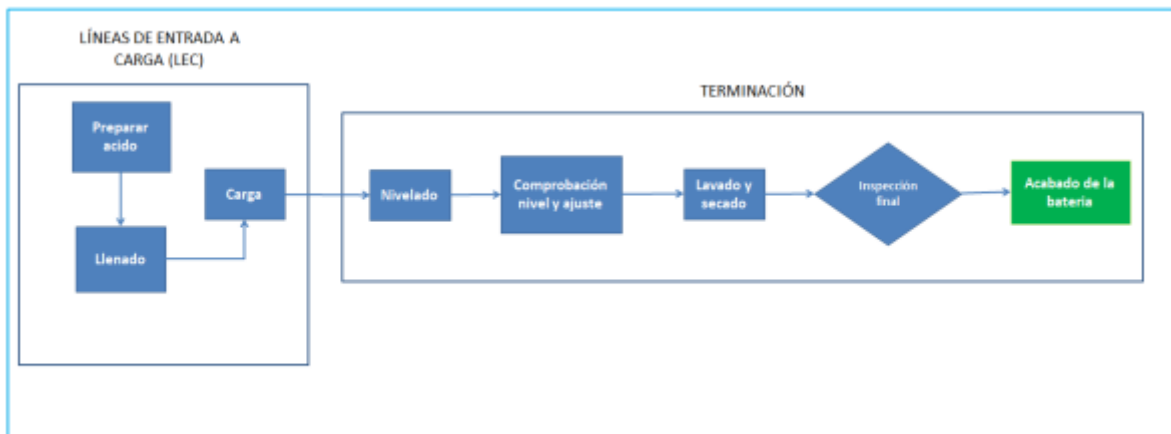


Figura 10. Sección de colas de la línea 1 (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 11. Batería a la salida de montaje (Fuente: Elaboración propia).**

## 2.4. Área de carga y terminación



**Figura 12. Diagrama de flujo del área de carga y terminación (Fuente: Elaboración propia).**

Esta última sección, como su propio nombre indica, tiene dos zonas claramente diferenciadas: por un lado, la zona de carga de las baterías, y por otro lado la zona de terminación. En carga se disponen de tres líneas con las que se llenan las baterías de ácido (realizará la función de electrolito) a través de un proceso de llenado y nivelado, para más adelante aplicar tensión a través de los bornes de la batería para cargarla, siendo este proceso de carga de los que más tiempo necesita por batería, por

lo que se disponen de multitud de mesas con capacidad para unas 80 o 90 baterías cada una. Cuando la batería está cargada, pasa a la zona de terminación, en la que se realizan los últimos detalles de la batería antes de pasar a la zona de distribución, zona en la que no se entrará en detalle pues se gestiona independientemente a la fábrica. En terminación, se comienza con una nueva etapa de llenado/nivelado que compense las pérdidas ocasionadas por las altas temperaturas en carga. Más adelante, se encuentran la etapa de comprobación de arranque y de rigidez dieléctrica, en las que se comprueba el correcto funcionamiento eléctrico de la batería. Tras la comprobación de la batería, se procede al etiquetado de la batería (fabricante, modelo...etc.) para pasar así a la etapa de distribución, finalizando por tanto el proceso de fabricación de un batería realizado en esta planta, desde la fundición del plomo hasta la distribución de las baterías.



**Figura 13. Línea 1 de terminación (Fuente: Elaboración propia).**

### 3. Marco teórico

#### 3.1. Introducción

En este capítulo se va a realizar una introducción a todos los conceptos necesarios para poder comprender el desarrollo de este proyecto. Estos conceptos son principalmente la metodología Six Sigma, implementada en este proyecto tanto en estructura como en contenido, pues es la metodología utilizada por la empresa para la gestión de los grandes proyectos de mejora; y el Diseño de Experimentos (DOE) utilizado durante el análisis del proyecto para analizar el proceso a mejorar y poder extraer mejoras a partir de esta información. Para ello, se han utilizado como referencias bibliográficas varios de los documentos utilizados como apoyo de formación durante la estancia de prácticas en la empresa, además de otras referencias externas para reforzar el potencial de la metodología y justificar las herramientas utilizadas en el análisis del proyecto.

#### 3.2. Introducción a la metodología Six Sigma

Como se ha mencionado anteriormente, en esta empresa se utiliza la metodología Six Sigma a la hora de implementar sus proyectos de mejora continua, como es el caso de este mismo proyecto. Es por ello necesario realizar una introducción a esta metodología: cuáles son sus orígenes, que estructura mantienen sus proyectos y cuáles son los principios en los que se fundamenta.

Bill Smith, ingeniero de la compañía Motorola, es el considerado ‘padre’ de la metodología Six Sigma. Bill, junto con el apoyo del por entonces CEO de la compañía Bob Galvin, asentaron las bases de la metodología Six Sigma conocida en la actualidad. Con los años, esta metodología se expandió a lo largo de la compañía, hasta alcanzar en el año 1988 el reconocido ‘Malcolm Baldrige National Quality Award’. Esta metodología adquirió fama y reconocimiento a raíz de los grandes resultados obtenidos mediante su aplicación. A mediados de los años 90, fue Jack Welch, CEO de General Electric en aquel momento, quien inició la implementación de Six Sigma en su empresa. En el reporte anual de General Electric del año 1997, se presentan unos beneficios de más de 300 millones de dólares referidos a la implementación de la metodología. Entre algunos de los resultados presentados en este reporte anual, destacan la reducción del tiempo de respuesta de un 62% en sus tiendas de reparación del negocio de vagones, siendo dos o tres veces más rápidos que su competencia directa; o en el negocio del plástico, en el que ampliaron en gran medida su capacidad, reduciendo considerablemente sus gastos de inversión (Breyfogle, 1999).

En España, la metodología Six Sigma no es un estándar utilizado entre las empresas, sino que los casos de compañías en las que se utiliza esta metodología se deben principalmente a la influencia externa de la dirección general de las multinacionales, como es este caso. Sin embargo, existen ejemplos de éxito en empresas de gran renombre como es el de Telefónica. A finales de los años 2000, Telefónica optó por esta metodología para mejorar su productividad. Sólo en su primera

implementación, se encontraron más de 20 oportunidades de mejora que acabaron desarrollándose en unos beneficios de más de 140 millones de euros. Tal fue el éxito, que esta metodología fue generalizada a todo el grupo (Orniz y Costas, 2006).

La metodología Six Sigma mantiene una serie de principios fundamentales, los cuáles deben ser seguidos durante todo el proceso de desarrollo del proyecto, y que se explican a continuación. A la hora de desarrollar un proyecto de mejora, el primer paso siempre será localizar esa oportunidad de mejora, sea cual sea la metodología empleada. En el caso de Six Sigma, los dos pilares sobre los que se sustenta esta búsqueda de oportunidades son las Características Críticas de Calidad (CCC) y las voces del proceso. Se definen las CCC como cualquier elemento que sea de interés tanto para el cliente como para la empresa (a nivel económico). Mediante estas CCC, se podrán encontrar aquellas oportunidades de mejora que puedan ser más provechosas para la organización. Por otro lado, las voces del proceso son las distintas fuentes que proporcionarán información útil para buscar estas oportunidades de mejora. Las voces principales del proceso son: la voz del cliente (marcará los requerimientos de calidad), la voz del negocio (los proyectos deberán alinearse con la estrategia de negocio marcada), la voz del empleado (Six Sigma mantiene una gran importancia sobre las personas implicadas en el proceso productivo) y la voz del proceso (capacidad del mismo).

Tras encontrar el objeto de mejora, se deberá cuantificar el problema. Es por ello que la metodología Six Sigma tiene como uno de sus principios fundamentales la importancia de los datos. Estos datos no solo serán recogidos para definir el problema, sino que también se obtendrán nuevos datos tras implementar las mejoras, para así poder analizar el funcionamiento del proceso y los resultados fruto de las mejoras implementadas. Además, los datos recogidos antes de implementar las mejoras deberán ser los que marquen las decisiones que se tomen a lo largo del proyecto.

El último de los principios sobre los que se fundamenta la metodología Six Sigma, es la importancia de los procesos. Todos los procesos productivos contienen una variabilidad que puede ser producida por causas naturales (intrínsecas al proceso) o por causas asignables (externas al proceso, y que por tanto pueden ser eliminadas), por lo que se deberá controlar estas variaciones hasta conseguir que sea la menor posible, estabilizando el proceso. Por otro lado, también se deberán reducir al máximo posible los defectos originados durante el proceso, alcanzando el nivel Six Sigma. Para medir los defectos en la metodología Six Sigma, se utilizan las oportunidades de defecto. Se definen así a cualquier elemento relacionado con las CCC que puede fallar a lo largo del proceso. Por ejemplo, un proceso concreto puede tener cuatro posibles causas de defecto, pero a lo largo del proceso cada producto podrá no tener defectos, o tener un número reducido de los mismos. Tras haber encontrado todos los defectos posibles del producto, se deberán contabilizar todos los defectos que realmente han ocurrido. Así, se obtiene el número de Defectos Por Millón de Oportunidades (DPMO). Si un proceso tiene 4 oportunidades de defecto, para llegar al millón de oportunidades de defecto se tendrán que producir 250.000 unidades de ese producto. Por lo tanto, se deberán contabilizar los defectos generados al producir esas 250.000 unidades (esta sería la población completa, para realizar estas mediciones se podrían realizar con muestras estadísticamente significativas). Para alcanzar el nivel Six Sigma, se deberá obtener un valor de DPMO inferior a 3,4, lo que equivaldría a un 99,99966% de producción exitosa. Otra forma de medir la variabilidad del proceso es a partir del  $C_p$  (Capacidad del Proceso). Se trata del cociente entre el valor sigma

establecido como límite, generalmente 3 Sigma, y el nivel sigma obtenido realmente en el proceso. Así, en el caso de que se trate de un proceso Six Sigma, el Cp será igual a 2. (García, 2013)

En cuanto a la estructura típica utilizada en los proyectos Six Sigma, suelen variar entre estructuras DMADV o estructuras DMAIC. La estructura DMADV está diseñada para el desarrollo de nuevos productos, o en el caso de un rediseño profundo de un producto ya existente. Esta estructura está compuesta por: Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar. La estructura utilizada en proyectos Six Sigma que implican la mejora de un diseño, producto o servicio que no requieren una modificación profunda, por otro lado, es la estructura DMAIC, que es la estructura utilizada para este proyecto y que se ha mantenido para este Trabajo Final de Grado. La estructura DMAIC está compuesta por las etapas Definir, Medir, Analizar, Mejorar ('Improve') y por último Controlar.

En la etapa Definir se marcarán los objetivos en función de los intereses del cliente, jerarquizando en base a su importancia. Así, se tendrán objetivos de mayor relevancia, como los extraídos de la estrategia de la organización o de los clientes más importantes, mientras que en un escalón inferior se encontrarán objetivos de producción o de reducción de defectos. A partir de estos objetivos, se establecerán los pasos a seguir en las etapas posteriores del proyecto, y se obtendrá toda la información posible sobre el proceso productivo sobre el que se vaya a realizar la mejora. Después de conocer el problema y haber definido el objetivo a cumplir, se pasará a la etapa de Medir. Esta etapa consistirá en conocer en profundidad el proceso que se está realizando hasta el momento, y en medir todas aquellas métricas objetivo que se consideren necesarias para comparar con el resultado tras la implementación. Posteriormente a la medición, se pasará a la etapa de análisis. En este punto, a partir de las mediciones realizadas, se analizarán todas las posibles oportunidades de mejora que presente el proceso, comparando las métricas obtenidas con las métricas esperadas o deseadas para así encontrar las mayores 'brechas'. Dentro de esta etapa se podrán utilizar herramientas estadísticas que permitan conocer en profundidad las medidas obtenidas, como es el caso de Minitab. Cuando los parámetros sobre los que actuar están decididos, se procederá a la implementación de estas mejoras. En esta fase de Mejorar se analizarán, de entre todas las posibles actuaciones sobre un mismo parámetro, cual ofrecerá un mayor rendimiento de mejora a un menor coste, o decidir actuar con un mayor coste para poder cumplir un objetivo más ambicioso, y una vez elegidas estas actuaciones, se procederá a implementarlas en la maquinaria o proceso. Por último, en la etapa de Control se volverán a tomar las medidas tomadas en la etapa de medición, y se comprobará si hay o no mejoría, y en caso de que la haya, si se cumple o no el objetivo marcado y por qué. En el caso de obtener los resultados esperados, se utilizarán las modificaciones realizadas para crear un nuevo proceso estándar, para que en el futuro no haya dudas sobre cuál es el procedimiento óptimo para el proceso. (Pyzdek, 2003)



### 3.3. Introducción teórica al Diseño de Experimentos (DOE)

Se define como Diseño de Experimentos (DOE) al conjunto de ensayos que se realizan variando de forma controlada las diferentes variables de entrada del proceso con el propósito de definir la variabilidad de las salidas en función de cada una de las entradas (García, 2013). Se trata de un proceso que requiere gran nivel de meticulosidad, organizando la realización de los ensayos y controlando la no influencia de cualquier otro parámetro externo. El objetivo principal del DOE es conocer la influencia de cada una de las entradas en el valor de la salida y su interacción entre ellas para poder crear un modelo a partir del cual sea posible calcular los parámetros de entrada necesarios para alcanzar un valor de salida objetivo que varíe lo menos posible. Como se desarrollará más adelante, el proceso de soldadura TTP que se va a intentar mejorar depende de un gran número de factores a tener en cuenta, y actualmente no se dispone de suficiente información sobre la influencia que tienen en el resultado, por lo que en la etapa de análisis (capítulo 5) se ha realizado un DOE diseñado específicamente para este proceso y poder conocer el mismo en profundidad.

Existen tres métodos principales de DOE, entre los cuales se decidirá cual utilizar en función del ámbito de aplicación del proyecto. El primer de ellos se denomina conjetura, y consiste en la realización de una primera muestra del proceso con un valor aleatorio de las variables de entrada. A partir de este primer resultado, se modifican los parámetros que se creen necesarios para intentar mejorar el resultado de la muestra. A partir de estas iteraciones, se puede estimar tanto los valores óptimos de trabajo como su influencia en el resultado. Sin embargo, para realizar este procedimiento se requiere un gran conocimiento previo sobre el proceso, además de que sólo permite observar estimaciones, sin la certeza de que se trata del resultado óptimo, por lo que salvo por limitaciones para realizar el resto de los métodos, este no suele ser el procedimiento adecuado a la hora de buscar resultados concluyentes. El siguiente método es de enfoque, el cual consiste en, a partir de una muestra inicial con un valor predeterminado de cada uno de los factores, modificar cada factor manteniendo el resto de las entradas constantes, realizando estas variaciones para cada factor. Este método permite conocer la influencia de cada variable, aunque, por otro lado, no es posible analizar las interacciones entre las entradas, además de que no analiza el valor de entradas necesario para alcanzar la solución óptima, por lo que también se trata de un método poco eficaz. El tercero de los métodos para la realización de un Diseño De Experimentos, y que es el que se ha utilizado en la etapa de análisis de este proyecto, es el método factorial. Este procedimiento consiste en la obtención de muestras de todas las posibles combinaciones de valores de las variables predefinidas de entrada, para así no solo obtener su influencia en el resultado, también la interacción entre las entradas al variar entre sí. Además, este procedimiento permite crear un modelo con el que se puede predecir la respuesta en función del valor de cada entrada, del cual es posible cuantificar su validez gracias a los distintos coeficientes de determinación. Como se deben realizar todas las posibles combinaciones y obtener al menos una muestra de cada una (dos es más aconsejable para poder filtrar mediciones erróneas), se debe de tener muy en cuenta la cantidad de factores a definir, y el número de niveles para cada parámetro. Para obtener las muestras se define un rango de variación de cada entrada que permite observar el mayor espectro posible del proceso, estableciendo para cada factor un nivel alto y un nivel bajo, y se combinan todas las posibilidades entre sí, permitiendo la obtención de tendencias lineales. Sin embargo, se pueden definir tres niveles para cada factor, pudiendo observar tendencias cuadráticas en el caso de que las hubiera, elevando sin embargo el número de muestras a



realizar. Generalmente, para realizar un DOE se utilizan dos niveles de variación para cada uno de los parámetros, permitiendo así observar tendencias lineales en función de cada variable. En el caso de que se quiere entrar más en profundidad, se puede realizar un DOE con tres niveles para obtener tendencias cuadráticas, aunque el número de parámetros deberá ser limitado para no aumentar el número de muestras exponencialmente debido al aumento del número de muestras a tomar. Si se decide por tener tres parámetros en cuenta, en el análisis de dos niveles equivaldría a 8 posibles combinaciones ( $2^3$ ), mientras que en el de tres niveles se necesitarían 27 muestras ( $3^3$ ), siendo este caso sólo utilizado para diseños más específicos en los que se quiera profundizar sobre un proceso del que ya se tiene un conocimiento general. Al tratarse de un método que permite analizar interacciones entre factores, es muy importante controlar el resto de posibles variables que no se definan dentro del DOE, ya que cualquier variación externa podría influir en el resultado obtenido. Por lo tanto, el único factor limitante de este método es la cantidad de muestras a realizar, pero con el que se pueden obtener una gran cantidad de resultados muy útiles para la mejora posterior del proceso (García, 2013).

La aplicación del Diseño de Experimentos está extendida internacionalmente desde hace años, llegándose a realizar artículos sobre él por ejemplo en la famosa revista Forbes. En el artículo en cuestión, refiriéndose al 'Multivariable Testing' equivalente al DOE, se destaca el potencial del método para mejorar el resultado de cualquier proceso productivo proporcionando diferentes ejemplos de aplicación del método, destacando la versatilidad del método para poder ser aplicada por cualquier empresa perteneciente a cualquier ámbito productivo. En el caso de esta empresa, se han realizado diferentes diseños a lo largo de los años, con lo que se ha buscado afianzar y a su vez ampliar el conocimiento sobre los procesos productivos llevados a cabo en la planta, como parte de la metodología Lean Six Sigma utilizada por la empresa a nivel global. Por este motivo, además de los expuestos a lo largo de las siguientes etapas del proyecto, se ha tomado la decisión de realizar un DOE sobre el proceso productivo a mejorar, con el objetivo de obtener información que permita implementar esta mejora (Koselka, 1996)

El Diseño de Experimentos (DOE) que se va a desarrollar durante este proyecto está basado en el método Taguchi, creado por Genichi Taguchi, ingeniero y estadístico japonés, quién aportó gran valor especialmente al campo de la estadística industrial y la ingeniería de calidad. Este Diseño de Experimentos ha evolucionado hasta llegar a formar parte de la metodología Six Sigma, adaptándose a los distintos elementos utilizados por la misma. Este análisis servirá tanto para entender la variabilidad del proceso en función del parámetro modificado, como para intentar mejorar el proceso productivo en etapas posteriores, en este caso de este proyecto reduciendo las proyecciones (García, 2013).

Para realizar el DOE de este proyecto, es necesario definir los parámetros de los que se quiere evaluar su influencia en la variabilidad del proceso, y para cada uno de los parámetros, establecer un rango de variación que permita obtener información acerca del mismo en todo su espectro (ni un rango demasiado bajo para evitar falta de variabilidad ni un rango demasiado elevado, que exceda los límites del proceso y produzca resultados no concluyentes). Una vez definido el rango de variación, se tendrá un valor máximo y un valor mínimo de cada uno de los parámetros seleccionados (optando por el diseño de dos niveles debido a la complejidad de tomar las muestras

en una línea de producción con mucha demanda. En el caso de que se quiere entrar más en profundidad, en próximos proyectos se podrá realizar un nuevo DOE con tres niveles para obtener tendencias cuadráticas sobre los parámetros que se requiera una mayor información tras el análisis de los resultados obtenidos de este primer DOE. Para la obtención de los resultados de este Diseño de Experimentos se utilizará la herramienta Minitab, por lo que sólo será necesario introducir los valores obtenidos de todas las muestras creadas, y extraer la información del modelo generado para poder analizar el proceso. Para ello, es necesario conocer los parámetros estadísticos que se utilizarán para evaluar el modelo obtenido, y filtrarlo hasta obtener un modelo con valor para el proyecto.

Los parámetros que se utilizarán en este caso para corroborar la validez del modelo obtenido son los coeficientes de determinación. En primer lugar, la  $S$  describe la capacidad del modelo para representar la respuesta del proceso, siendo representada en las mismas unidades que la variable de salida analizada, en este caso  $Ws$  (Vatios segundo). Al depender de las unidades, es preferible utilizar el resto de los coeficientes para analizar la utilidad del modelo. El coeficiente  $R^2$  (coeficiente de determinación) indica el porcentaje de variación en las muestras tomadas que el modelo es capaz de representar. En el caso de este proyecto, la cantidad de variación en la energía en la soldadura que es capaz de explicar el modelo obtenido, por lo que cuanto mayor sea, mejor será el modelo. No hay un porcentaje específico a partir del cual el modelo se considere válido o no, ya que según el proceso que se esté analizando, puede haber un mayor número de parámetros que escapan al control del diseño, y que influyen en el resultado causando variabilidad inexplicable para el modelo. El siguiente coeficiente es la  $R^2$  ajustada, la cual se utiliza para comparar modelos de un mismo proceso con diferente número de parámetros. Siempre que se añadan parámetros correctamente, el valor de  $R^2$  aumentará, pese a que el modelo no sea mejor. Sin embargo, la  $R^2$  ajustada también tiene en cuenta el número de parámetros utilizados, por lo que es más fiable a la hora de decidir qué modelo es más correcto utilizar dentro de un mismo proceso. El último de los coeficientes es la  $R^2$  predictiva, la cual indica la capacidad del modelo para predecir la respuesta del proceso en futuras muestras. En el caso de que sea demasiado baja, indica que el modelo está demasiado restringido. Esto quiere decir que el modelo no está preparado para predecir el conjunto de la población, sino sólo al conjunto de muestras tomadas. Por lo tanto, se deben eliminar las combinaciones que el mismo modelo ha considerado menos importantes para reajustar el modelo, o parámetros que no sean relevantes en la explicación de las muestras (ECONOMIPEDIA, 2017).

## 4. Fases Definir y Medir

### 4.1. Introducción

En este capítulo, se realizará la definición del problema siguiendo la metodología Six Sigma, y se realizarán las mediciones pertinentes. En el caso de este proyecto, la elección del objeto de mejora ya está realizada, y es el rechazo de baterías debido a proyecciones. Posteriormente a la elección de la oportunidad de mejora, el primer paso en la etapa de definición consiste en la fase de reconocimiento en la que se establecerán todos aquellos parámetros a tener en cuenta durante el proceso según los intereses de los clientes tanto externos como internos. También se establecerán los parámetros de medición a controlar y se marcará un objetivo a cumplir tras la realización del proyecto, además de la estimación de los ahorros que se obtendrán gracias a la implementación de la mejora, que también serán comparables con los ahorros realmente obtenidos. El siguiente paso a la definición del problema es la etapa de medición. Esta etapa comienza con el análisis del flujo del proceso a analizar, en que se busca incluir todas las acciones de producción (anteriores y del propio proceso) que pueden influir en el resultado obtenido, para así encontrar todos los puntos críticos que pueden afectar a la variabilidad del proceso. Este análisis viene acompañado de un diagrama As-Is que representa de forma visual el resultado obtenido tras el análisis del flujo. En esta etapa también se recogerán la mayor cantidad de datos posibles de acuerdo con los parámetros definidos previamente y se realizará un breve análisis de todos los puntos críticos que se encuentren a lo largo del proceso, tanto en el desarrollo del mapa de proceso como en las mediciones.

### 4.2. Definición del proyecto

Como hemos mencionado anteriormente, este proyecto de mejora está enfocado en reducir los rechazos de baterías debido a proyecciones en la sección de montaje, más concretamente en la etapa de colas. Siguiendo la metodología Six Sigma, el primer paso dentro de la etapa de definir sería la fase de reconocimiento, en la cual se deben analizar todas las posibles 'preocupaciones' de los clientes, tanto externos como internos. Por cliente interno se entiende como el cliente propio de la fábrica, es decir, quien recibirá la batería después del proceso de TTP. En este caso, el cliente interno a tener en cuenta son los operarios del área de terminación. Esto se debe a que, si las proyecciones no son detectadas por el operario de montaje, y la batería se cierra y continúa el proceso de fabricación, no será hasta la etapa de terminación, concretamente en la prueba de arranque (HRD), cuando la batería sea rechazada por un mal funcionamiento (cortocircuito). La principal preocupación de estos operarios es que no se produzcan rechazos de baterías en el arranque, pues se deberán encargar de recoger la batería rechazada y apartarla correctamente para que la línea pueda continuar con normalidad, y es un tiempo que podrían estar aprovechando para realizar otras funciones en la línea, además del sobre coste que supone que una batería que va a ser rechazada continúe el proceso productivo (adición de la tapa, llenado de ácido, carga de corriente...etc.). Por tanto, se deberá analizar la cantidad de baterías rechazadas por proyecciones, tanto en la línea de montaje por el operario como en la línea de terminación tras la prueba de HRD.

Por otro lado, el cliente externo será aquel que compre la batería y la utilice como consumidor. En este caso, su mayor preocupación será que la batería que haya comprado funcione correctamente. Aunque se realicen pruebas en la línea para comprobar que estas baterías defectuosas no salen de producción, se comprobará el número de reclamaciones por parte del cliente en relación con proyecciones, como pueden ser problemas de arranque o de cortocircuito de las baterías.

Una vez conocido el parámetro de mejora a controlar, en este caso la cantidad de baterías defectuosas producidas, se puede realizar un breve estudio inicial sobre la magnitud del problema, a partir del cual se podrá plantear un objetivo. Para realizar este estudio, se hará uso de la herramienta DataStudio, la cual recoge todos los datos de producción de cada una de las secciones, entre los que se encuentran los coeficientes OEE, los desperdicios o la causa de estos.



Figura 14. Extracto del resumen del área de montaje de la aplicación DataStudio (Fuente: Elaboración propia).

Para poder realizar un estudio válido, se deberá coger un periodo extenso, que incluya periodos de mayor producción y de menor producción, además de variación en el peso del tipo de baterías producidas (principalmente camión o coche).

En una primera aproximación, se obtendrán los datos del rechazo de baterías de la planta desde abril de 2021 hasta enero de 2022 en la sección de colas, correspondiente al año fiscal 22 (en adelante FY22) para analizar el peso de cada una de las causas de rechazo de baterías en el área de colas en montaje, tanto en cantidad de baterías rechazadas como en el plomo técnico rechazado (entendiendo por plomo técnico al peso de plomo contenido en una batería estándar, sin tener en

cuenta las posibles variaciones durante su fabricación). A partir de la aplicación DataStudio, se pueden comparar las diferentes causas de todos los rechazos en la sección de montaje, en este caso en la sección de colas. En primer lugar, se pueden extraer los datos de rechazo de todas las líneas, y agruparlos según el tipo de rechazo que se ha producido, tanto en número de baterías como en peso de plomo técnico, obteniendo los siguientes datos:

Tabla 1. Baterías rechazadas en montaje según el tipo de rechazo (Fuente: Elaboración propia).

Tipo de rechazo	Baterías/tipo de rechazo	Rechazo Total Colas	Porcentaje
Proyecciones	1800	7995	22,51%
Enganchadas Bielomatic	1695		21,20%
Pitонера quemada o rota	1425		17,82%
Mala soldadura tapa recipiente	1246		15,58%
Comprobación soldadura TTP	605		7,57%
Otros	556		6,95%
Tabiques exteriores torcidos	256		3,20%
Tabiques internos torcidos	172		2,15%
Cortocircuitos	129		1,61%
Mala escotadura	111		1,39%

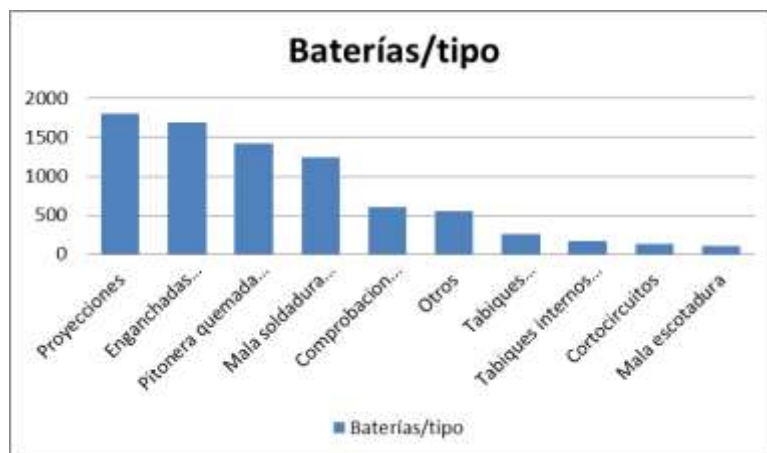
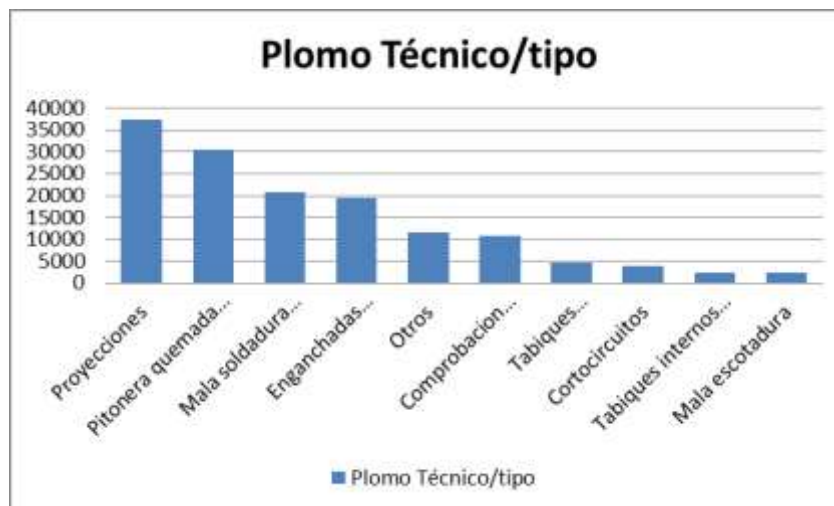


Figura 15. Diagrama de Pareto del número de baterías rechazadas en montaje por cada tipo de rechazo (Fuente: Elaboración propia).

**Tabla 2. Plomo técnico rechazado en montaje por tipo de defecto (Fuente: Elaboración propia).**

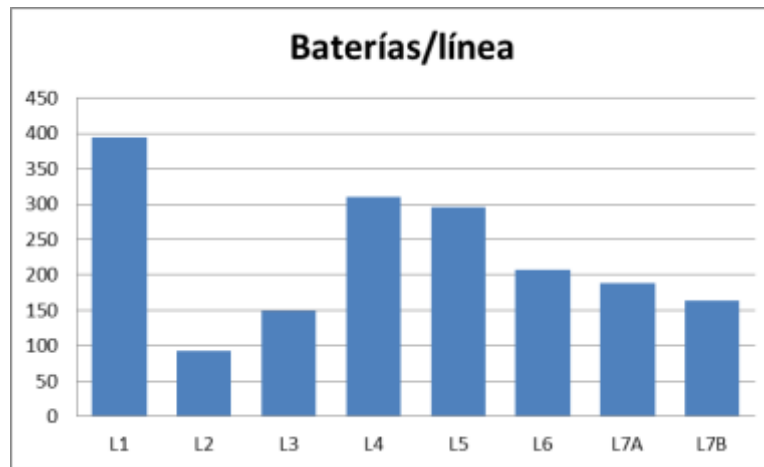
Tipo de rechazo	Plomo Técnico (kg)	Rechazo Total en colas (kg)	Porcentaje
Proyecciones	37274,05336	143938,7529	25,90%
Enganchadas Bielomatic	19528,87808		13,57%
Pitonera quemada o rota	30504,07773		21,19%
Mala soldadura tapa recipiente	20873,3366		14,50%
Comprobación soldadura TTP	10728,95738		7,45%
Otros	11544,59669		8,02%
Tabiques exteriores torcidos	4719,903231		3,28%
Tabiques internos torcidos	2424,999385		1,68%
Cortocircuitos	3897,305		2,71%
Mala escotadura	2442,645462		1,70%
			100,00%


**Figura 16. Diagrama de Pareto del plomo técnico rechazado (kg) en montaje por tipo de rechazo (Fuente: Elaboración propia).**

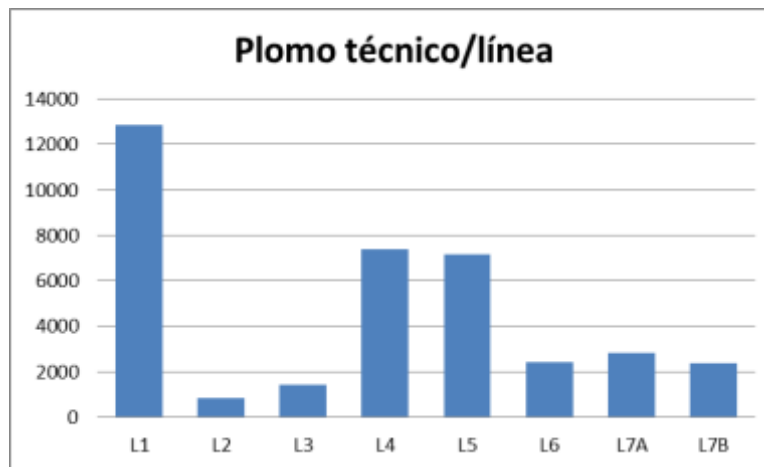
Estas baterías rechazadas por proyecciones corresponden a las rechazadas en la misma sección de colas, es decir, las que rechaza o la misma máquina al producirse algún error durante la soldadura, y posteriormente se confirma que se han producido proyecciones, o de las que rechaza el operario antes de cerrar la batería por algún defecto que la máquina no ha detectado. Con todos estos datos, se puede observar la gran importancia que tienen las proyecciones, siendo en ambos casos la mayor causa de desperdicios (un 22,51% en número de baterías, casi 26% en peso de plomo técnico). Una vez magnificado el problema, se puede comprobar si se trata de un problema generalizado de las líneas, o si por el contrario existen algunas líneas en las que el número de defectos es mayor.



Filtrando por tanto el número de rechazos como el desperdicio del plomo técnico (en kg) por proyecciones para cada una de las líneas, se pueden obtener las siguientes gráficas:



**Figura 17. Baterías rechazadas por proyecciones por línea (Fuente: Elaboración propia).**



**Figura 18. Plomo técnico desperdiciado (kg) debido a proyecciones por línea (Fuente: Elaboración propia).**

Las líneas en la que se producen más rechazos debido a proyecciones son las líneas L1, L4 y L5, que son además las líneas destinadas a camión, lo que hace que el desperdicio de plomo técnico en estas líneas sea aún mayor, pues la diferencia de dimensiones (y por tanto también de peso de plomo técnico) entre las baterías de coche y camión son considerables. Debido a esta diferencia, se ha considerado centrar el objetivo del proyecto en reducir este tipo de proyecciones en las baterías de camión ya que, como se acaba de analizar, son las baterías de mayor coste y además en las que se producen más estos desperfectos. Debido a que existen varias líneas destinadas a camión, el análisis

del proyecto se centrará en la línea 1, que es la de mayor importancia hasta el momento, y según los resultados obtenidos, se intentarán extrapolar las mejoras al resto de líneas.

Teniendo en cuenta que el precio del plomo utilizado en la fábrica es de unos 2 €/kg, para los 37274,05336 kg de plomo técnico desperdiciados debido a proyecciones en el periodo mencionado anteriormente, se pueden estimar unas pérdidas totales de 74548,11€ en este periodo de 10 meses. Debido a la importancia del problema, se va a plantear un objetivo de reducción de desperdicio por proyecciones en un 30%. A partir de este valor, y con los datos extraídos previamente, es posible realizar una sencilla estimación de los ahorros anuales que puede suponer esta reducción. Al trabajar de momento en la línea 1, se realizará una estimación de ahorro para esta línea:

		FY22	FY23
10 meses	Baterías L1	395	277
	Plomo L1 (kg)	12842,98	8990,083
12 meses	Baterías L1	474	333
	Plomo L1 (kg)	15411,57	10788,1
Reducción		30,0%	
Precio plomo		2 €	
Coste Anual		30.823 €	21.576 €
Ahorro		9.247 €	

**Figura 19. Estimación del ahorro anual en caso de alcanzar el objetivo para la línea 1 (Fuente: Elaboración propia).**

Tras el dimensionado del problema en el que se va a enfocar este proyecto (las proyecciones que producen rechazo de las baterías) se debe tener una idea clara de cuál es el problema, donde y cuando se origina, pero sobre todo las causas que lo producen.



### 4.3. Definición del proceso. Origen de las proyecciones

Las proyecciones surgen en la sección de colas en montaje, más concretamente en la etapa del TTP. Esta etapa consiste en la soldadura de las uniones (denominadas TTP: 'Through The Partition') entre los distintos paquetes de una batería. Mediante estas conexiones, se conecta el borne positivo con el negativo, unificando las tensiones de cada conjunto de placas (paquete) en serie. Por lo general, cada paquete puede contener una tensión de 2 voltios. El TTP permite unificar estos 6 paquetes en serie, dando como resultado una batería de unos 12V, siendo esta tensión la norma general para todas las baterías de plomo-ácido.

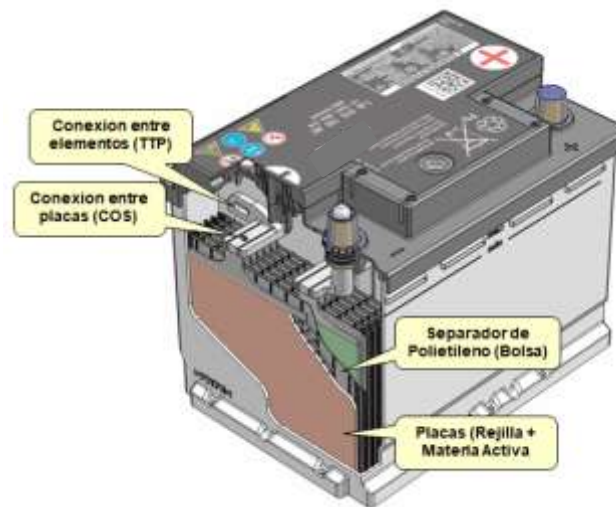


Figura 20. Estructura interna de una batería plomo-ácido (Fuente: Material de la empresa).

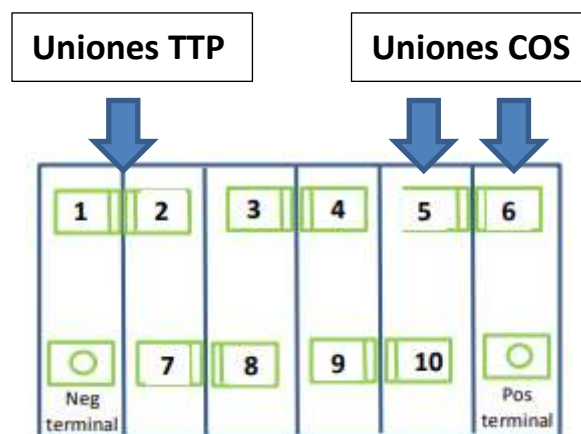


Figura 21. Disposición general de las uniones en una batería de coche (Fuente: Material de la empresa).

Para crear esta unión, se realiza un proceso de soldadura mediante electrodos. En la etapa de COS, la maquinaria realiza a partir de un molde la unión de las placas en un único paquete, y más adelante un operario manualmente introduce estos paquetes en el recipiente de la batería. Después de esta etapa, las placas ya están colocadas en la batería y unidas entre sí, a falta de soldar las uniones TTP, ya añadidas en la etapa de COS. Como se ha mencionado anteriormente, esta soldadura se realiza mediante electrodos. Este proceso está basado en la primera ley de Joule, en la que se relaciona la cantidad de energía en forma de calor producida por la cantidad de corriente que circula en un tiempo determinado a través de un cuerpo resistivo.

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

***Ecuación 1. Primera ley de Joule.***

Siendo Q la cantidad de calor, I la corriente que circula por el conductor, R la resistencia de este, y por último t el tiempo durante el cual circula la corriente. Sin embargo, durante la etapa de TTP, estos parámetros no son los únicos que influyen en el resultado final (y en la posible aparición de proyecciones), ya que existen otros parámetros como la colocación del electrodo y las uniones, que pueden llegar a producir proyecciones en el caso de ser una desviación suficiente. Cada uno de todos estos parámetros está influido a su vez por otras causas que se analizarán a continuación.

Uno de los parámetros que influyen en la aparición de proyecciones es la resistencia del conductor, que viene dada por la siguiente fórmula:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

***Ecuación 2. Resistencia de un conductor.***

(Siendo  $\rho$  la resistividad del conductor, L la longitud y S la sección de este) marca en gran medida la cantidad de energía que se aporta durante la soldadura (*Ecuación 1*). El objetivo es que la variación de resistencia sea la menor posible, cumpliendo los valores objetivo para así mantener la estabilidad del proceso, por lo que es necesario conocer todas las posibles causas de su variación. Estas variaciones se deben principalmente a las diferencias en las huellas producidas en la soldadura, que se originan principalmente por dos causas: presión y temperatura. Según la presión en el grupo hidráulico que controla los electrodos de la soldadura, estos incidirán más o menos en el plomo, creando una mayor huella. Cuanta más presión utilice el grupo, mayor será la sección y, por tanto, menor será la resistencia. El otro factor a tener en cuenta sobre las variaciones de sección en la soldadura es la temperatura a la salida de la etapa del COS. Cuanto mayor sea esta temperatura, más

blando será el plomo, por lo que, al realizar la huella, a mayor temperatura esta será de mayor sección. Para conseguir la estabilización del proceso, se puede optar por dos vías: o aumentar el tiempo entre las etapas de COS y TTP, dejando así enfriar las baterías lo suficiente hasta estabilizarse; o enfriar el plomo mediante un túnel de enfriado, reduciendo el tiempo entre COS y TTP. La solución deberá ser un compromiso entre tiempo de producción y costes, además de las capacidades en cuanto a espacio se refiere de cada planta. En esta planta se utilizan túneles de enfriado para agilizar la producción de baterías.



**Figura 22. Diferencia de huella en la unión debido al aumento de presión del grupo hidráulico (Fuente: Material de la empresa).**

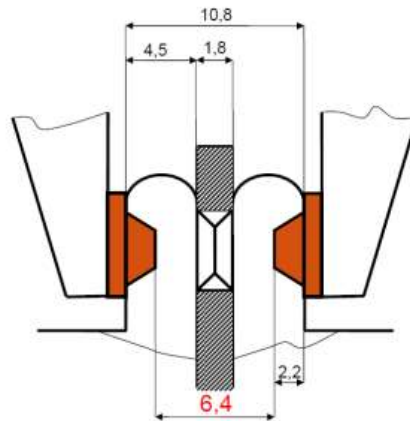
Otra de las causas de variaciones en la resistencia del conductor es debido a la limpieza de los electrodos. Cuando se realiza esta limpieza, se eliminan partículas de plomo que se encontraban en los electrodos y provocaban un aumento de la resistencia, por lo que, al limpiarlos, esta misma disminuye. Para estabilizar esta caída de resistencia, la mejor posibilidad es realizar una limpieza automática que sea lo más homogénea posible, y se realice en los mismos tiempos de ciclo, estabilizando y reduciendo en lo posible la variación de energía aportada en la soldadura. En el caso de esta planta, este cepillado automático está deshabilitado.

Además de la resistencia, siguiendo la *Ecuación 2*, también se deberá tener un control sobre la estabilidad tanto en la cantidad de corriente que circule por el electrodo como en el tiempo del proceso. Estos parámetros son inputs ajustables con la máquina, pero se debe tener la certeza de que se está realizando correctamente.

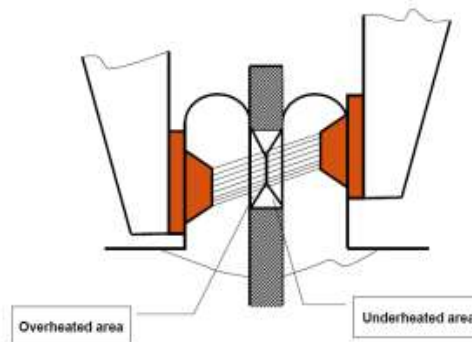


**Figura 23. Proyección producida por exceso de energía aportada en la soldadura (Fuente: Material de la empresa).**

Además de la cantidad de energía aportada en la soldadura, otro factor a tener en cuenta para evitar la formación de proyecciones es la alineación y colocación tanto del electrodo como de las uniones. Si la colocación del electrodo es incorrecta, puede producir proyecciones tanto si se encuentran demasiado separados como si no se encuentran alineados entre sí.



**Figura 24. Correcta separación de los electrodos (Fuente: Material de la empresa).**



**Figura 25. Problemas ocasionados por la incorrecta alineación de los electrodos (Fuente: Material de la empresa).**

Por otro lado, aunque la posición de los electrodos sea la correcta, si las uniones están ligeramente desplazadas, la soldadura también se desplazará. En el caso de que la soldadura esté demasiado cerca del borde de la orejeta, puede llegar a producir proyecciones. En el caso de la *Figura 26* no se han llegado a producir, pero se puede observar como la colocación de la unión no está completamente centrada, o el ajuste del cabezal no es el adecuado. Esta batería no es motivo de desperdicio, pues este pequeño desplazamiento, además de posibles proyecciones, que no ha sido el caso, no tendrá ningún otro efecto sobre el funcionamiento de la batería.



*Figura 26. Desalineación de la soldadura debido a la mala colocación de las uniones (Fuente: Elaboración propia).*

#### **4.4. Definición de los parámetros a controlar**

El último paso marcado en la metodología Six Sigma dentro de la etapa de definición consiste en el establecimiento de los parámetros a medir en la siguiente etapa, y que servirán a lo largo del proyecto para establecer una situación inicial, y a su vez comparar con los resultados obtenidos tras la implementación de las mejoras, por lo que la definición de estos parámetros es de gran relevancia. Algunos de estos parámetros ya han sido mencionados anteriormente, por lo que resulta más eficaz realizar este paso posteriormente al resto.

La metodología distingue tres tipos principales de parámetros: de negocio, de cliente y de proceso. Los parámetros de negocio son aquellos que permiten medir el rendimiento del proceso en relación con la dirección de la empresa. En este caso, los parámetros de negocio relacionados con las proyecciones que permitirán conocer la influencia del proceso en el negocio serán por un lado el coste que suponen los desperdicios debido a proyecciones, en €/año, y por otro lado el peso que tienen estos desperdicios con respecto al desperdicio total de la planta, en tanto por cien. El primero

de estos parámetros se ha calculado previamente en la definición del proyecto (véase capítulo 4.2), unos 90.000 €/año, mientras que el segundo dato se podrá obtener a partir de la aplicación DataStudio, recogiendo el peso de la sección de colas en cuanto a desperdicio de la planta (0,77%), y sabiendo que las proyecciones constituyen aproximadamente un 22,51% de los desperdicios de la sección de colas (véase Tabla 1), se puede obtener el desperdicio por proyecciones de la planta, que es de un 0,173% aproximadamente.

La siguiente clase es el parámetro de cliente, que busca analizar la influencia del proceso en las principales preocupaciones de los clientes, tanto externos como internos. Estos parámetros también han sido definidos previamente en la etapa de reconocimiento (véase capítulo 4.2), en la que se definen las principales 'preocupaciones' de estos clientes. Por lo tanto, los parámetros de cliente a controlar serán el número de reclamaciones de clientes debido a cortocircuito de la batería (y posteriormente comprobado que es debido a proyecciones) en cuanto a clientes externos, y en cuanto a clientes internos se medirá el número de baterías rechazadas en la etapa de terminación, concretamente en la máquina de arranque, pues es en esta etapa en la que rechazan las baterías por cortocircuito. Estos parámetros se han podido obtener a partir de los distintos reportes del departamento de calidad, y se han obtenido que un 4,4% de las baterías rechazadas (y posteriormente analizadas) en la máquina de arranque se han debido a proyecciones, mientras que, para los clientes externos, no ha sido posible corroborar una reclamación por parte de un cliente que más adelante haya sido corroborado que es debido a proyecciones.

Los últimos parámetros por definir son los del proceso, que son los que servirán para identificar las posibles causas de las proyecciones y la variabilidad del proceso, además de poder comprobar posteriormente que el proceso no se ha deteriorado tras la implementación de mejoras, y cumple con sus requerimientos. Los parámetros de proceso que se utilizarán en este proyecto son: la energía de soldadura, en Ws; el ajuste de posición tanto de la batería como de las uniones, en mm; y por último el test de par, en Nm, para comprobar que la soldadura se realiza correctamente antes y después de las mejoras implementadas, aunque en este caso no ha sido necesaria su obtención. El parámetro de la energía en la soldadura se ha obtenido a partir de las mediciones del siguiente capítulo, pues no hay un valor estándar para este parámetro, y como se verá a continuación, existe una diferencia entre los distintos cabezales tanto de la línea 1 como los cabezales de otras líneas. En cuanto al ajuste de la batería, al comenzar cada producción, el operario realiza un ajuste de cada una de las posiciones de cada cabezal, siendo este ajuste distinto para cada lote de baterías, incluso para el mismo tipo (en este caso es una pequeña variación, pero existe diferencia), siendo este el último de los parámetros de proceso a controlar.



## 4.5. Medición del proyecto

### 4.5.1. Flujo del proceso

El primer paso de esta fase de medición consiste en analizar el flujo de proceso que realiza el producto, para así encontrar todas las posibles fuentes de errores o de variaciones críticas en relación con el problema que se intenta solventar. En este caso, se han dedicado varios días a analizar cómo es el proceso de soldadura, donde empieza realmente y que puntos críticos se han encontrado durante el análisis, y se ha realizado un diagrama 'As-Is' que representa de forma más visual el proceso llevado a cabo para la soldadura TTP.

El inicio de este proceso de soldadura es anterior al de la propia máquina de TTP. El flujo de todo este proceso comienza en el suministro tanto de los recipientes que servirán de batería, como de las placas y de las bolsas. Por un lado, los recipientes pasan por la escotadora, en la que se realizan los agujeros por los que más adelante se unirán los distintos paquetes a través del TTP. Estos agujeros ya afectan al proceso de TTP, ya que, según la posición de estos agujeros, se deberán ajustar las uniones y, por tanto, se deberán ajustar la posición de los electrodos durante la soldadura. Por otro lado, las placas pasan por la denominada embolsadora, cuyas bolsas se utilizan para evitar el contacto entre placas dentro del paquete. Estas bolsas también pueden afectar al proceso TTP, ya que, si quedan demasiado cortas, las placas no servirán y todo proceso posterior será desperdiciado, mientras que, si son demasiado largas, puede afectar a la colocación de las uniones, y, por tanto, a la soldadura.



*Figura 27. Recipiente a la salida de las escotadora (Fuente: Elaboración propia).*

Una vez las placas están en las bolsas, son separadas según la cantidad que deba tener cada batería, y los recipientes con sus perforaciones correspondientes, en la máquina del COS (Cast On Strap) se realiza su unión. En este proceso, un operario (en algún caso como la línea 1 este proceso también es automático a través del denominado 'buffer') introduce los paquetes de placas en la máquina, y la

máquina procede a soldar estos paquetes para que estén unidos entre sí. Por último, lugar, otro operario procede a introducir estos paquetes ya unidos en el recipiente de la batería, según corresponda. Tras haber realizado este proceso, la batería ya está preparada para entrar en la sección de colas de la línea.



**Figura 28. Paquete de placas antes de entrar en la etapa de COS (Fuente: Elaboración propia).**

En la sección de colas, la primera etapa es un enfriador con el cual se intenta controlar la temperatura de las uniones pues, como hemos mencionado anteriormente, la temperatura es crítica en el proceso de soldadura, aunque la batería pasa por el enfriador sin llegar a detenerse, por lo que es difícil que se produzca un enfriamiento eficaz a través de esta etapa. Más adelante, se procede a comprobar que la batería no presenta cortocircuito, y en caso de que no sea rechazada (la batería presenta buenas uniones por COS y las bolsas están colocadas correctamente), se procede a pasar a la máquina del TTP, comenzando ya el proceso de soldadura en sí mismo. A partir de la herramienta PowerPoint, se desarrolló el diagrama As-Is completo del proceso, siendo la *Figura 29* correspondiente a toda la etapa previa antes de alcanzar la propia máquina TTP.



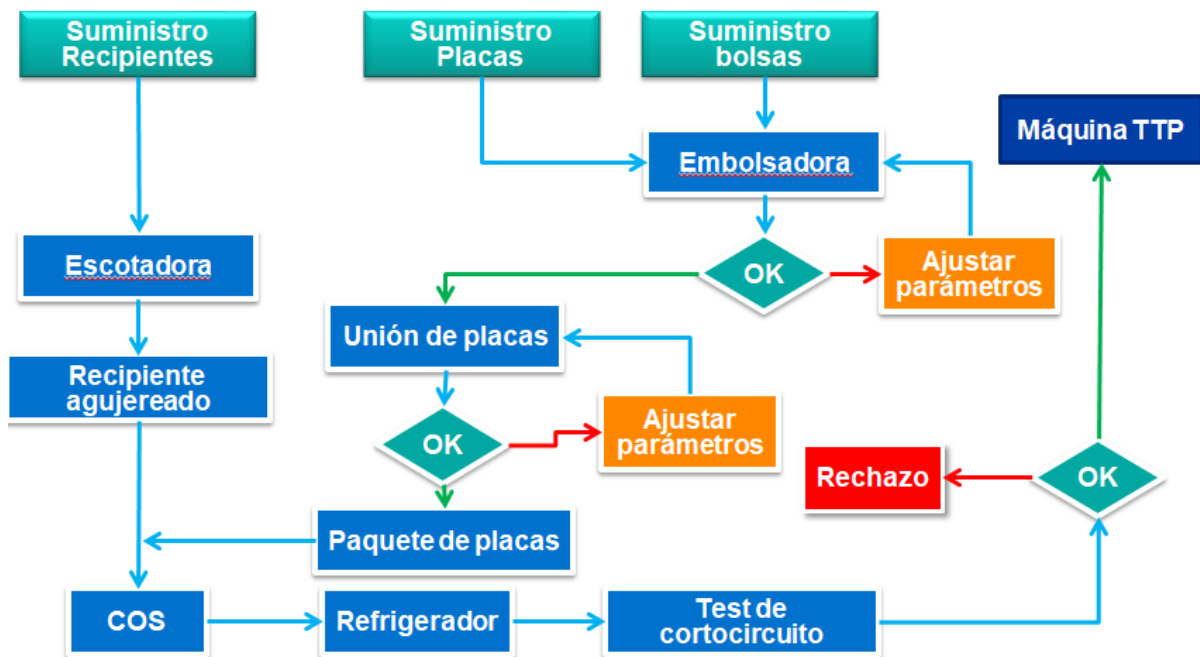
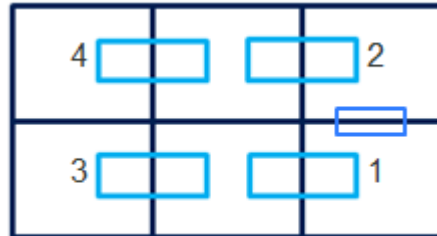


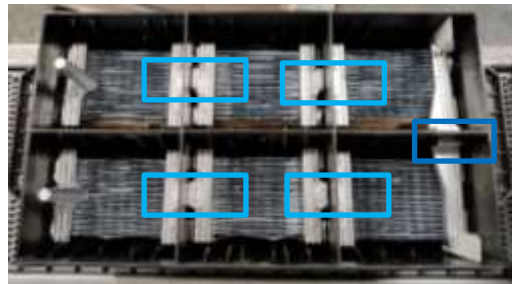
Figura 29. Diagrama 'As-Is' de la etapa previa a la propia máquina TTP (Fuente: Elaboración propia).

Dentro de la máquina TTP, algunas líneas (como es el caso de la línea 1) tienen instalado un pirómetro que permite conocer la temperatura de las uniones antes de iniciar el proceso de soldadura, aunque en este caso su rechazo está deshabilitado, ya que la medida no es del todo fiable, además de que en los meses más fríos no suele haber problemas por exceso de temperatura, por lo que sólo realiza una medición de la temperatura que no llega a registrar. En el caso de que estuviera habilitado, la máquina apartaría la batería para que después de un tiempo, con la batería ya enfriada, el operario volviera a introducirla en la máquina e iniciar la soldadura. Cuando la máquina ya está a punto para la entrada de una nueva batería, esta avanza hasta la posición configurada mediante un tope-centrador. Cuando la batería está detenida, es el electrodo el que se mueve hasta la posición de la unión correspondiente. En este punto, la colocación de la unión es clave, ya que el electrodo sólo puede configurarse para una posición, y si hay diferencias en la colocación de las uniones de las distintas baterías, la soldadura aparecerá desplazada (Figura 26). Generalmente, al comienzo de cada turno se ajustan los parámetros de posición para evitar la aparición de defectos, siendo este ajuste distinto en cada turno, incluso para el mismo tipo de baterías. Tras el posicionamiento del electrodo, se cierran las pinzas para ejercer presión, generando la huella de la soldadura. Generalmente, antes de cada producción, se comprueba esta huella sólo aplicando presión, para comprobar que cumple los criterios de tamaño y colocación mencionados anteriormente. En el proceso de soldadura, la corriente comienza a circular después de realizar este cierre del electrodo. Cuando pasa el tiempo de consigna, deja de circular corriente, y de nuevo sólo se ejerce presión sobre la soldadura, permitiendo enfriar la unión. En la mayoría de las líneas, es un mismo electrodo el que realiza la soldadura de las 5 uniones presentes en la batería. Sin embargo, en el caso de la línea 1 (en la que se ha centrado este análisis de flujo) la máquina está equipada con dos cabezales. El primer cabezal se encarga de soldar la primera unión, mientras que el segundo electrodo se encarga de soldar las otras

4 uniones. Esto se debe a que la disposición de las baterías de camión no es como la de la *Figura 21*, sino que en este caso la alineación de la primera unión es distinta al de las otras líneas (la primera unión está alineada en el eje vertical y el resto están alineadas en el eje horizontal de la misma (*Figura 30*)).



**Figura 30. Disposición general de las uniones en baterías de camión (Fuente: Elaboración propia).**



**Figura 31. Interior de una batería tras la etapa del COS (Fuente: Elaboración Propia).**

En el resto de las líneas destinadas a camión (líneas 4 y 5) la máquina TTP está configurada con un sólo cabezal, que realiza el giro de 90° para poder soldar las 5 uniones. Si se realizan las uniones correctamente, la batería pasará a la siguiente etapa de la sección de colas, finalizando por tanto el flujo de la batería a lo largo del proceso de soldadura. Sin embargo, en el caso de que la máquina detecte algún fallo durante la soldadura (generalmente, un valor de energía aportada fuera del rango de consigna) la máquina se detendrá y dará un aviso para que el operario retire la batería de la máquina, y pueda continuar el resto de la producción. Para no desperdiciar los 6 paquetes de la batería, cuando se retira una batería de la máquina, el operario extrae los paquetes que no hayan sido soldados, según la etapa en la que se haya producido el error. Por ejemplo, en el caso de que el error se produzca en el primer cabezal, se podrían ahorrar los 4 paquetes situados más a la izquierda. Por otro lado, si el fallo se produce en el segundo cabezal, según el orden de soldadura y la etapa en la que se produzca el error, se podrán ahorrar más o menos paquetes.



Figura 33. Diagrama 'As-Is' correspondiente al primer cabezal (Fuente: Elaboración propia).

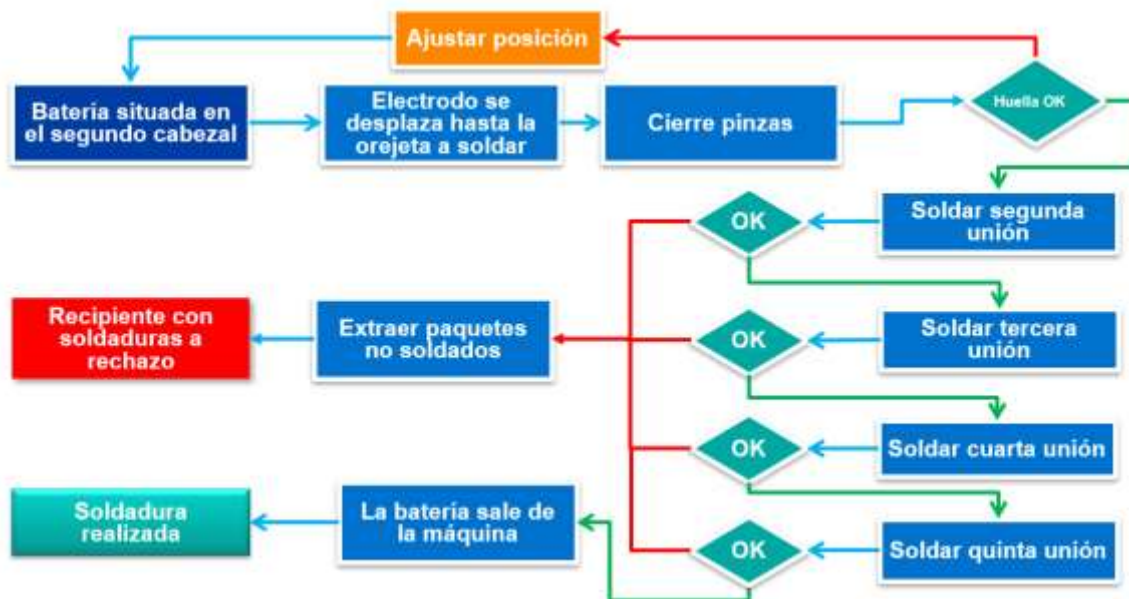


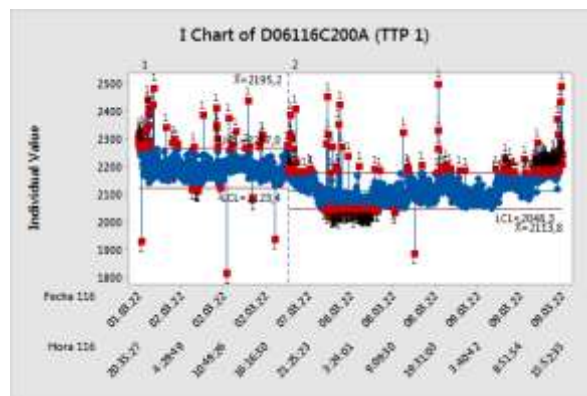
Figura 32. Diagrama 'As-Is' del segundo cabezal (Fuente-. Elaboración propia).

Tras realizar este análisis del flujo del proceso, se han extraído una serie de puntos que podrían ser críticos a la hora de generar proyecciones y desperdicios, y que deberán tenerse en cuenta en etapas posteriores del proyecto. El primero de ellos es el orden de la soldadura del segundo cabezal. Este cabezal se encarga de soldar las 4 uniones alineadas en el eje horizontal, cómo se ha mencionado anteriormente. En un principio, la soldadura se realiza siguiendo el orden marcado en la Figura 30. Sin embargo, en la siguiente batería, al quedar el cabezal situado en la parte izquierda de la batería, comienza a realizar la soldadura por las otras uniones, siguiendo el orden de la siguiente figura:



función del tipo de batería que se estaba produciendo, y así poder observar cambios en los parámetros para unas mismas características de entrada, además de marcar los periodos en los que la máquina estaba trabajando. Es decir, si existen datos de un lunes y de un viernes, pese a ser la misma batería, se encuentran en periodos diferentes, lo que como se observará a continuación, influye en los parámetros del proceso. Una vez los datos han sido filtrados, para evitar errores inusuales de proceso o de medida que influyeran en los resultados posteriores, se ha procedido a introducir estos datos en la herramienta Minitab como se ha mencionado anteriormente para el análisis estadístico de todo lo obtenido.

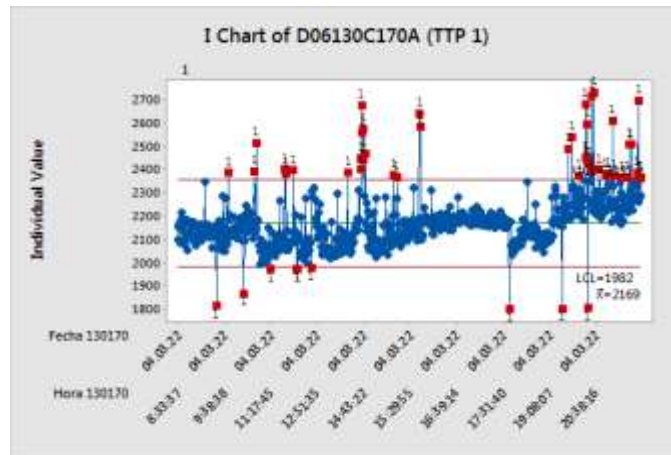
Al representar estos datos y realizar un primer análisis, se han encontrado una serie de puntos a analizar, ya que pueden ser críticos a la hora de tomar los datos como referencia, y que se ha podido comprobar que no se trata de casos aislados, sino que se cumplen en la mayoría de las distintas muestras tomadas. Todos estos puntos se acompañarán con ejemplos de los gráficos obtenidos a partir de los cuales se han llegado a encontrar. El primer punto consiste en la diferencia en la energía de soldadura para el mismo tipo de baterías, en diferentes periodos de tiempo, con unos mismos parámetros de entrada (corriente, tiempo...etc.). Por ejemplo, se puede observar esta brecha en la energía aportada para la batería D06116C200A, en el caso del primer cabezal.



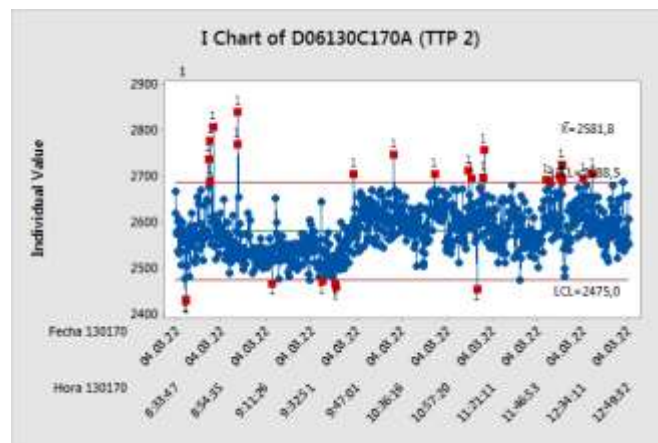
**Figura 35. Energía aportada en soldadura para la batería D06116C200A en el primer cabezal (Fuente: Elaboración propia).**

En estas gráficas se puede observar como la energía aportada varía al pasar de la producción del día 2 de marzo al siguiente turno con ese tipo de batería, en este caso el 8 del mismo mes.

También se ha podido observar, gracias a que los datos del cabezal 1 y del cabezal 2 se extraen por separado, la diferencia en la energía aportada en la soldadura entre los dos cabezales, como por ejemplo en la batería D06130C170A:



**Figura 36. Energía aportada en soldadura para la batería D06130C170A en el primer cabezal (Fuente: Elaboración propia).**



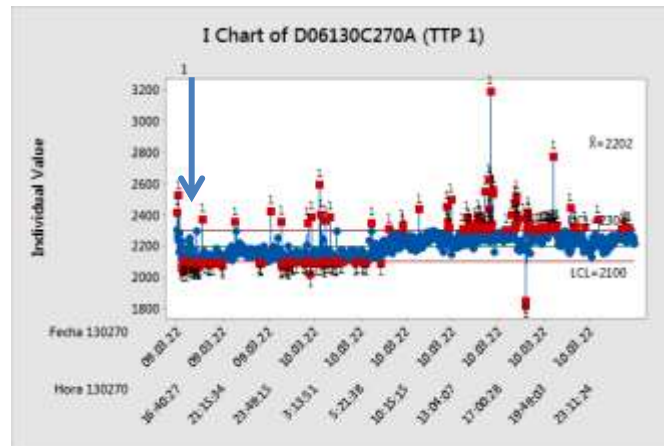
**Figura 37. Energía aportada en soldadura para la batería D06130C170A en el segundo cabezal (Fuente: Elaboración propia).**

Se puede observar como en el cabezal 1, la energía media aportada es de 2169 Ws (valor medio de la Figura 36), mientras que en el segundo cabezal la media alcanza los 2581,8 Ws. No existe una razón evidente para que exista esta diferencia, por lo que deberá ser analizado en las etapas posteriores.

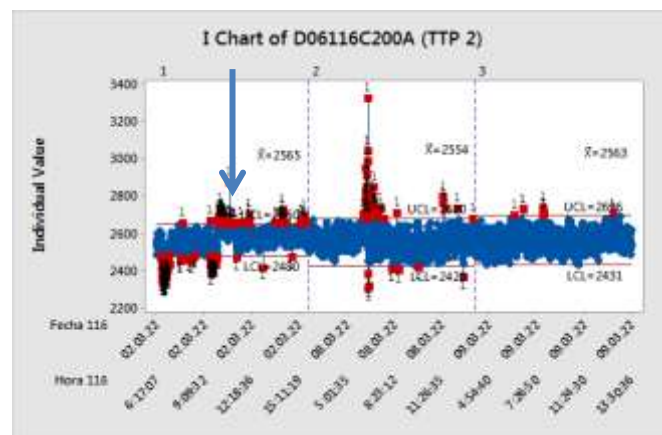
El siguiente punto crítico corresponde a la validez de algunos datos. Como se ha mencionado anteriormente, la máquina recoge a través de un contador el número de soldaduras que realiza la máquina durante el ciclo de vida de un electrodo. Teóricamente, cuando se realiza un cambio de electrodo, debería ser registrado en la máquina por parte del operario o del encargado de realizar el cambio para así renovar el ciclo, y poner el contador a cero. Sin embargo, gracias a las medidas tomadas se ha llegado a la conclusión de que los cambios de electrodos no se están realizando cuando se registra en la máquina. Por ejemplo, la máquina pone el contador del cabezal 1 a cero el 9



de marzo a las 19:37. Esa fecha corresponde a un turno de producción de la batería D06130C270A (*Figura 38*). Con los datos tomados, se puede observar cómo en ese momento no hay una variación en la energía aportada, ni siquiera una parada en la línea (no hay más de 30 segundos entre las soldaduras entre las que se supone que se ha realizado el cambio), lo que pone en duda la veracidad de los datos en cuanto al cambio de electrodos. Lo mismo ocurre con la puesta a cero del cabezal 2, en este caso el 2 de marzo a las 11:30 (batería D06116C200A, *Figura 39*).



**Figura 38. Energía aportada en soldadura para la batería D06130C270A en el primer cabezal (Fuente: Elaboración propia).**



**Figura 39. Energía aportada en soldadura para la batería D06116C200A en el segundo cabezal (Fuente: Elaboración propia).**

Por lo tanto, el siguiente paso sería comprobar cuando se ha realizado realmente este cambio de electrodos. El encargado de los electrodos es el departamento de calidad, y cada cambio queda registrado en el documento correspondiente. Este recoge como fecha de modificación el 11 de marzo, que no corresponde con las fechas mencionadas anteriormente. Sin embargo, si observamos los datos de esa misma fecha, se puede encontrar con exactitud el momento del cambio.



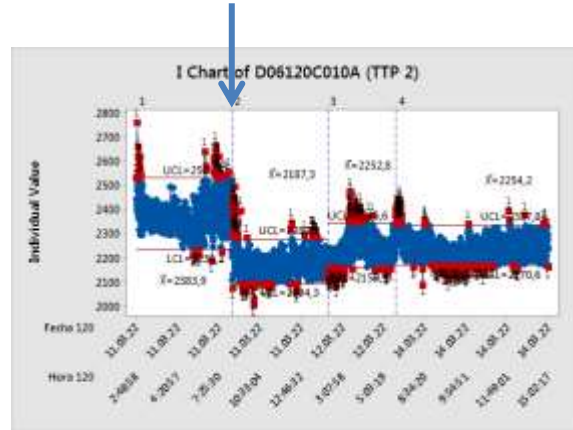


Figura 40. Energía aportada en soldadura para la batería D06120C010A en el segundo cabezal (Fuente: Elaboración propia).

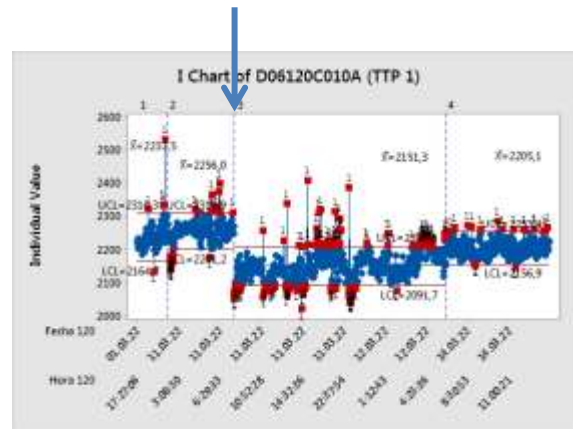
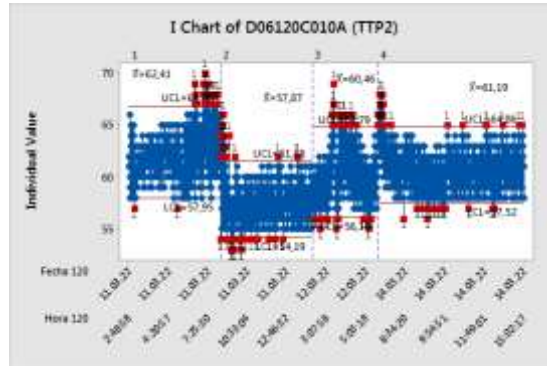


Figura 41. Energía aportada en soldadura para la batería D06120C010A en el primer cabezal (Fuente: Elaboración propia).

Tanto en el cabezal 1 como en el 2, a las 8:20 de ese día se produce un paro de unos 20 minutos, y justo después una caída sustancial de la energía aportada en la soldadura. Esta caída de energía, conociendo la fecha en la que está registrado el cambio de electrodos, se debe a una caída proporcional de resistencia en la soldadura debido al cambio de electrodos (Ecuación 1), debido a que, a lo largo de la vida útil del electrodo, se forman impurezas o suciedad que produce el aumento de resistencia, y en consecuencia también la energía de la soldadura, y al realizar este cambio, todas estas alteraciones desaparecen, volviendo a un valor menor.

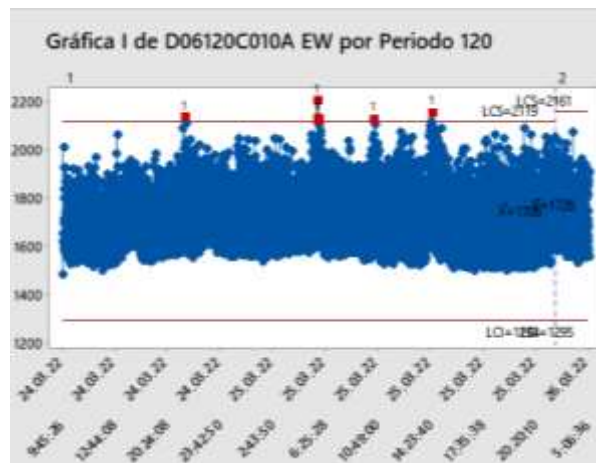
En base a estas primeras mediciones, se han extraído las mismas gráficas de los distintos parámetros disponibles en los datos que modifican la energía de la soldadura, como son la intensidad de corriente, el tiempo de soldadura y la resistencia. Es fácil comprobar que la corriente y el tiempo, al tratarse de parámetros de entrada configurables en la máquina, se mantienen constantes salvo en alguna pequeña incidencia aislada, mientras que la resistencia varía de forma similar a como varía la energía en todos los tipos de baterías, pudiendo concluir que las variaciones en la energía de

soldadura son producidas por variaciones en la resistencia, como es el caso de la batería D06120 mencionada anteriormente con el cambio de electrodos.



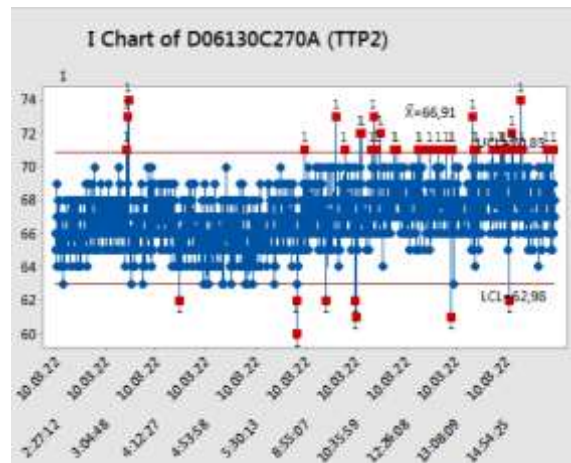
**Figura 42. Resistencia medida durante la soldadura en la batería D06120C010A en el segundo cabezal (Fuente: Elaboración propia).**

Al existir varias líneas destinadas al mismo tipo de baterías, también existe la posibilidad de comparar los procesos en distintas líneas para el mismo tipo de baterías, por lo que también se han extraído los datos de la línea 5, en la que en ciertos turnos se han producido las baterías ya medidas en la línea 1.

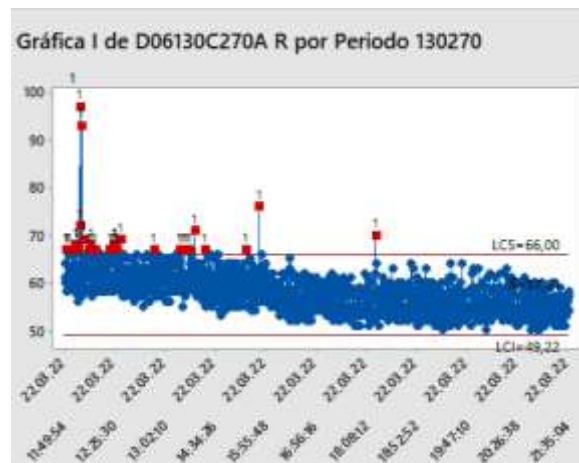


**Figura 43. Energía aportada en la soldadura para la batería D06120C010A en la línea 5 (Fuente: Elaboración propia).**

Por ejemplo, se ha podido extraer información de la producción de la batería D06120 comentada anteriormente, en este caso para la línea 5, como se puede observar en la *Figura 43*. La principal diferencia a destacar en el proceso es la clara diferencia en el valor de la energía de soldadura entre las líneas. Mientras que en la línea 1, los valores medios se encuentran entre 2200 y 2400, en la línea 5 el valor medio está en unos 1700 Ws. Esto es debido no sólo a la diferencia entre parámetros de cada una de las máquinas, sino también diferencias en las resistencias medidas en las uniones. Gracias a las mediciones realizadas, se ha podido observar como en la línea 1, generalmente las resistencias medidas son mayores y, por lo tanto, la energía aportada también es mayor.



**Figura 44.** Resistencia medida durante la soldadura en la batería D06130C270A en el segundo cabezal (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 45.** Resistencia medida durante la soldadura en la batería D06130C270A en la línea 5 (Fuente: Elaboración propia).

Como se ha comentado, también hay diferencias en los parámetros de entrada que pueden influir en la diferencia de energía aportada. El funcionamiento de la máquina es el mismo, pero pertenecen a distintos fabricantes y no tienen la misma antigüedad, por lo que el ajuste se realiza con parámetros distintos. En la línea 1, hay mayor tiempo de soldadura (20 milisegundos más) y se aplican unos 200 Amperios más de corriente, añadiendo más energía, lo que podría explicar la mayor energía de soldadura.

#### **4.6. Conclusiones de las Fases Definir y Medir**

En estas fases se ha podido comprobar la gran complejidad del proceso de soldadura, y el gran número de factores que pueden llegar a provocar proyecciones, además de su variabilidad. También se han encontrado algún aspecto a tener cuenta para el futuro que no está directamente relacionado con las proyecciones, pero que se puede valorar en el futuro con potencial de mejora, como son los errores en los datos de los contadores, y que se deberá realizar un seguimiento para comprobar de donde provienen estos errores. Sin embargo, las mediciones extraídas no permiten conocer que parámetros son los que influyen más o menos en la variabilidad de los resultados, y debido al error en el contador de rechazos, no se puede saber que soldaduras rechaza la máquina, y que valor tienen los parámetros durante esa soldadura, lo que no permite conocer la influencia de los parámetros en las proyecciones. Por lo tanto, en la siguiente etapa de análisis se va a realizar un diseño de experimentos ('Design of Experiments', DOE), para comprender realmente cuál es la influencia de cada uno de estos parámetros, y conocer en profundidad el proceso que se está llevando a cabo.

## 5. Fase Analizar

### 5.1. Introducción

Tras la realización de las mediciones del proceso que se han desarrollado en el capítulo anterior, se ha optado por la realización de un diseño de experimentos (DOE) para poder analizar con mayor precisión el alcance de cada uno de los distintos parámetros que se puedan considerar importantes en la variabilidad del proceso, y su influencia en la aparición de proyecciones. Para realizar este análisis, se seguirá el proceso definido en la metodología Six Sigma para el diseño de experimentos, y se utilizará la herramienta Minitab para el tratamiento de los datos obtenidos generando los resultados estadísticos correspondientes, los cuáles serán analizados posteriormente para establecer un plan de mejora.

### 5.2. Definición del Diseño de Experimentos

El primer paso en el desarrollo de un DOE consiste en definir los parámetros a tener en cuenta durante la realización de los ensayos, y obtener las distintas muestras. También cabe destacar, que todo aquello que no sea definido como parámetro, debe mantenerse lo más controlado y constante posible, para así evitar influencias externas a los parámetros definidos que modifiquen los resultados.

Con el trabajo realizado en las etapas previas, y el conocimiento obtenido durante las mismas, se escogerán todos aquellos parámetros de entrada mencionados anteriormente que se consideren importantes en la variabilidad del proceso y en la aparición de proyecciones. Así, se definen como parámetros de entrada las variables de entrada principales sobre la energía en la soldadura: presión, intensidad, tiempo de soldadura y temperatura; además la diferencia entre los dos cabezales de la máquina, que se ha identificado en la etapa de medición como otro parámetro importante de entrada, y por último la separación de los electrodos, de la que se dispone muy poca información sobre su influencia en el proceso, pero como hemos analizado previamente, puede tener alguna influencia importante. Por lo tanto, el resto de los parámetros que puedan tener influencia deberán ser controlados para que no varíen durante la toma de todas las muestras. Por ejemplo, la totalidad de las muestras se deberá realizar en un mismo recipiente (mismo GPN de batería), y los cabezales deberán estar previamente ajustados a su tamaño y posición de sus agujeros. Para ello, se utilizarán las aquí denominadas 'dummies'. En las líneas de montaje, hay preparadas dos tipos de baterías para ajustar/comprobar cada una de las máquinas. Por un lado, existen patrones para comprobar por ejemplo la máquina de estanqueidad. Este recipiente patrón tiene un pequeño agujero por el cual pierde aire, y se utiliza para comprobar que la máquina de estanqueidad rechaza correctamente el patrón, indicando que la producción también será comprobada adecuadamente. Por otro lado, para la máquina TTP existen los denominados 'dummies'. El 'dummy' está compuesto por un recipiente (el que se esté produciendo en ese momento) y seis piezas metálicas extraíbles las cuales simulan el paquete que iría en una batería normal de producción.



**Figura 46. Pieza utilizada para la elaboración de 'dummies'**  
(Fuente: Elaboración propia).

Realmente, lo único necesario para realizar las pruebas son las piezas metálicas, el recipiente en sí se puede retirar si está defectuoso, sólo sirve para guardar las piezas hasta que vuelvan a ser utilizadas. Cuando se van a realizar pruebas en la soldadura, se introducen estas piezas en la máquina de COS como si se tratasen de paquetes normales, y es la misma máquina (en el caso de la línea 1) la que se encarga de introducirlos en un nuevo recipiente, para luego realizar las soldaduras correspondientes.



**Figura 47. Recipiente con las piezas metálicas utilizadas como sustitutivo de paquetes reales** (Fuente: Elaboración propia).

Una vez hecha la soldadura, se deben romper las uniones con unos alicates, o la herramienta disponible, hasta poder extraer de nuevo las piezas metálicas, y poder realizar nuevas uniones en el caso de ser necesario.



Otro parámetro externo a tener en cuenta es la antigüedad de los electrodos. Ya se ha analizado anteriormente como la renovación de los electrodos puede afectar a la cantidad de energía aportada en la soldadura. Al ser difícil realizar todas las muestras en un mismo periodo, será necesario utilizar un juego de electrodos nuevo, y tras la realización de las muestras, si no se han podido completar, se extraerán de nuevo los electrodos, controlando así que cuando se vuelvan a tomar muestras, su influencia sea la menor posible. El último de los parámetros a tener en cuenta es el COS. En esta etapa, se introducen las placas en el recipiente, y un molde da forma a las orejetas que se soldarán posteriormente. Por lo tanto, este proceso de COS debe ser lo más estable posible, y para ello, se deberá tener en cuenta que se esté utilizando el mismo molde para la realización de las orejetas, ya que actualmente la planta dispone de dos moldes para cada recipiente, uno más antiguo y otro más nuevo, aunque generalmente se utiliza el nuevo.

Una vez definidos los parámetros que se van a tener en cuenta durante el DOE, se debe establecer un rango de variación de cada uno de ellos, ni muy elevado para evitar exceder especificaciones del proceso, ni muy bajo para evitar falta de variación en parámetros que realmente sí podrían influir. Para definir estos rangos, se ha decidido en conjunto con el departamento de procesos, mejora continua, fabricación y calidad, cuáles sería un rango adecuado de variación, teniendo en cuenta los parámetros establecidos como estándar, y los ajustes que se suelen realizar cuando surge algún problema concreto. Los rangos que se han determinado son los siguientes:

**Tabla 3. Rango de valores para cada uno de los factores definidos.**

Factor	Valor mínimo	Valor máximo	Rango	Unidades
Intensidad	13	14	1	kA
Tiempo	190	240	50	ms
Presión	80	96	16	bar
Temperatura	< 45º	> 45º	-	ºC
Cabezal	1	2	-	-
Separación electrodos	3	4,5	1,5	mm

Para el caso de la temperatura, se ha optado por establecer un límite basado en el procedimiento estándar de la soldadura, en el que se establece que las uniones deben encontrarse por debajo de los 45ºC para poder iniciar la soldadura. Para ello, se establecerán dos tiempos, uno para cada temperatura, que establecerá el tiempo entre que la batería sale de COS hasta que se comienza la soldadura en el TTP. Estableciendo los mismos tiempos, será posible controlar que la temperatura sea lo más similar posible entre las muestras, manteniendo en la medida de lo posible un único rango de variación. Para el caso de los cabezales, se realizarán las mismas muestras en ambos cabezales por igual, y se separarán los datos manteniendo el formato de valor mínimo y máximo establecidos.


Una vez definidos los factores a tener en cuenta y sus rangos, ya es posible construir la tabla inicial con la que trabajar en Minitab. En el caso de este proyecto, se va a trabajar con un diseño de experimentos factorial, cuyo propósito es analizar el efecto de todas las combinaciones posibles de cada uno de los factores definidos, además de su influencia entre ellos. Por lo tanto, el primer paso



será crear una tabla de combinación para los seis factores definidos anteriormente. En Minitab se ofrece la posibilidad de crear automáticamente esta tabla seleccionando el tipo de análisis a realizar, el número de factores a tener en cuenta y por último la cantidad de muestras que se van a tomar de cada combinación. En este caso, se trata de un diseño de experimentos factorial de dos niveles con seis factores a tener en cuenta, y realizando dos muestras de cada una. Por lo tanto, la tabla estará conformada por un total de 128 filas, en la que se encontrarán representadas como se ha mencionado anteriormente todas las posibles combinaciones de los seis factores (equivalente a 64 filas,  $2^6$ ) y duplicadas para poder introducir el valor de cada una de las dos muestras tomadas (un total de 128 muestras).

El siguiente paso tras la codificación del problema consiste en planificar como se va a hacer en la práctica la toma de muestras. Se trata de una gran cantidad de muestras que deben ser realizadas en un periodo en el que la línea esté parada, siendo necesaria la colaboración de al menos un operario durante todo el proceso para la realización de las soldaduras en COS y otro para realizar las soldaduras, además de la dependencia de un mecánico que ajuste correctamente los electrodos. Por lo tanto, se debe jerarquizar entre los parámetros que son más fáciles y rápidos de modificar, que no requieren ayuda externa; y otros factores que contengan mayor complejidad para modificarlos.

Parámetro	Tiempo empleado (minutos)
Cabezal	15 (10+5)
Cierre pinzas	10
Presión	5
Temperatura	2
Intensidad	-
Tiempo	-



**Figura 48. Jerarquía de tiempos para el ajuste de cada uno de los parámetros definidos (Fuente: Elaboración propia).**

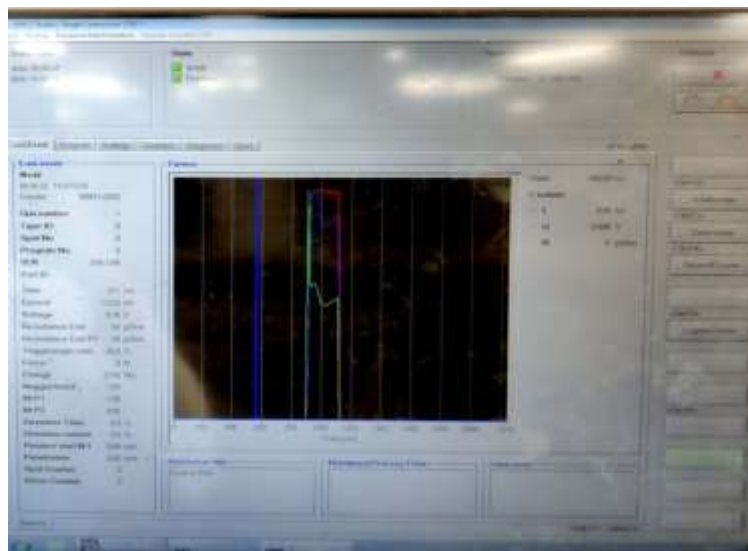
El parámetro más largo de ajustar es el cabezal, ya que para prepararlo será necesario el ajuste en conjunto de las pinzas y de presión, por lo que se evitará realizar cambios de cabezales durante la toma de muestras. Por otro lado, tanto la intensidad como el tiempo de soldadura se modificarán a través del propio software de la máquina, requiriendo apenas unos segundos para configurar estos parámetros si se preparan previamente. Una vez decidida la jerarquía a mantener durante el desarrollo del experimento, será posible diseñar un documento de autocontrol en formato 'Checklist' para facilitar el desarrollo del mismo durante la realización de los ensayos (Figura 52). Sin embargo, antes deberá ser necesario conocer el conjunto de elementos que serán necesarios para la toma de muestras para que sean incluidos en este documento, como se verá en el siguiente capítulo.

### 5.3. Procedimiento

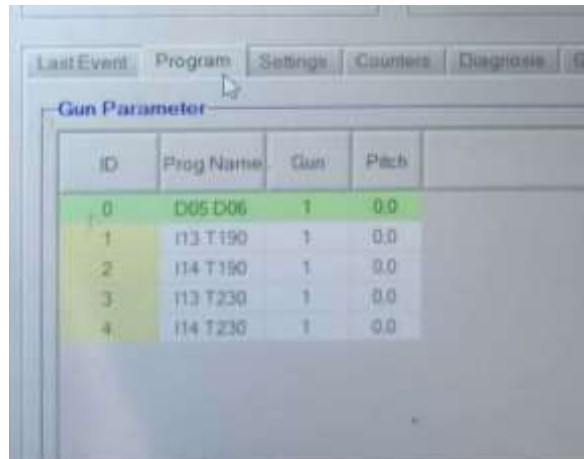
Previamente al ensayo, se ha realizado un análisis exhaustivo de todas las personas y elementos implicados que serán necesarios (además del supervisor del experimento) para la realización de las muestras, enumerados a continuación.

- Operario de COS para la elaboración de las soldaduras.
- Operario de colas para la extracción de las soldaduras.
- Mecánico para los ajustes de máquina (cierres de pinzas, sustitución de electrodos y presión del grupo hidráulico).
- Dos juegos nuevos de electrodos (un juego para cada cabezal).
- Piezas metálicas correspondientes a los recipientes 'dummies' de las líneas 1 y 5 (*Figura 46*).

Para facilitar la realización de las muestras, se ha optado por crear una serie de programas prediseñados en el software, a partir de los cuales se podrán modificar los parámetros de intensidad y tiempo en apenas unos segundos. La soldadura TTP depende de dos 'softwares': el de la marca 'Matuschek' y el propio de la máquina TTP. Matuschek es un fabricante dedicado específicamente a las soldaduras en procesos de fabricación. En el caso de esta línea, este software es el encargado de almacenar los datos de las soldaduras realizadas, además de gestionar los distintos programas de soldadura, pudiendo configurar corriente aplicada o tiempo, entre otros parámetros. A través de este software, se han creado cuatro programas para cada uno de los dos cabezales, correspondientes a cada una de las distintas combinaciones de los parámetros de intensidad y tiempo.



**Figura 49. Pantalla inicial del software de MATUSCHEK (Fuente: Elaboración propia).**



ID	Prog Name	Gun	Patch
0	D05 D06	1	0.0
1	113 T190	1	0.0
2	114 T190	1	0.0
3	113 T230	1	0.0
4	114 T230	1	0.0

**Figura 50. Programas preparados con todas las combinaciones de intensidad y tiempo (Fuente: Elaboración propia).**

Por otro lado, se encuentra el software creado por el propio fabricante (La Pneumática), el cual está preparado para ser utilizado por el operario durante la producción, por lo que resulta mucho más accesible, y tiene menos opciones de configuración para evitar errores a lo largo de la producción. Principalmente, este software permite controlar de forma visual como se están desarrollando las soldaduras, avisando en caso de error, y permitiendo ajustar por ejemplo las posiciones de los cabezales, realizado por el operario antes de cada producción, además del control manual de la máquina en el caso de que fuera necesario. Dentro de este software, protegido por una contraseña a la que los operarios no tienen acceso para evitar variaciones incorrectas de configuración, se permite modificar el número de programa del software de Matuschek con el que se realizarán las soldaduras posteriores (marcado en la *Figura 51*). Por tanto, a través de este software se podrá seleccionar el programa con el que se desea realizar las soldaduras sin necesidad de entrar en Matuschek para modificar parámetros.



**Figura 51. Pantalla del operario en la máquina TTP (Fuente: Elaboración propia).**

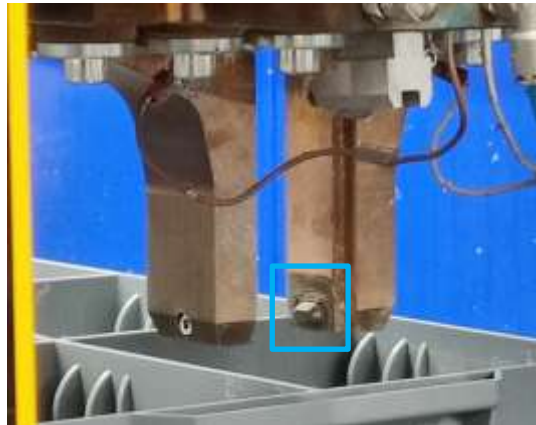
La intención inicial del proyecto era realizar las muestras dentro de un mismo periodo de tiempo para evitar la aparición de variaciones externas como se ha explicado anteriormente, teniendo la complicación de encontrar un turno completo de mañana o tarde (compatible con el horario de oficina) en el que la línea 1 de montaje se encontrara parada y poder realizar todas las muestras necesarias. El planteamiento del DOE se realizó durante un periodo de baja demanda, que, en conjunto con la crisis económica y política actual, ha provocado que la planta pase a producir durante pocos días de la semana, siendo la producción durante estos días de la mayoría de los turnos posibles. Esta situación ha impedido la realización del DOE cuando estaba previsto, por lo que se ha tomado la decisión de reducir el número de factores a tener en cuenta. De entre todos los factores, se ha decidido eliminar el factor de la temperatura, pues es un factor bastante controlado en producción debido a los túneles de refrigeración y a la distancia (al menos en esta línea) entre la salida de COS y la etapa de colas.

Debido a esta modificación, y teniendo en cuenta todos los factores mencionados anteriormente para la toma de muestras, se ha elaborado el siguiente documento de autocontrol con el objetivo de facilitar la organización del experimento, y que se ha utilizado para la realización de las muestras del primer y del segundo cabezal.

			CHECK
1	Recogida material		
	1.1	Juego de electrodos	
	1.2	Recipientes 'dummies' x2	
2	Personal implicado		
	2.1	Operario COS	
	2.2	Operario colas	
	2.3	Mecánico	
3	Ajustes mecánicos		
	3.1	Tomar medidas de pinzas/ presión	
	3.2	Cierre pinzas a 3mm	
	3.3	Presión a 96 bar	
	3.4	Cambio de juego de electrodos	
4	Soldadura de dos recipientes (COS)		
A	Realización de muestras		
	5.1	Programa 4 TTP	
	5.2	Configurar máquina para dos soldaduras	
	5.3	Realizar soldaduras	
	5.4	Programa 2 TTP	
	5.5	Configurar máquina para otras dos soldadura	B
	5.6	Realizar soldaduras	
	5.7	Repetir con programas TTP 3 y 1	
6	Extraer soldaduras		
7	Ajuste presión a 80 bar		
8	Repetir A con presión=80 bar		
9	Ajustes mecánicos		
	9.1	Presión a 96 bar	
	9.2	Cierre pinzas a 4.5mm	
10	Repetir B		
11	Reajuste máquina a configuración producción		
	11.1	Cierre de pinzas	
	11.2	Juego de electrodos	
	11.3	Presión	
	11.4	Habilitar máquina para producción	
12	Comprobar producción		

Figura 52. 'Checklist' del procedimiento a seguir para realizar las muestras correspondientes a cada uno de los cabezales (Fuente: Elaboración propia).

De todos estos pasos, el conjunto A engloba dos baterías (8 muestras) correspondientes al mismo ajuste de presión, en el que se modifican dos parámetros: intensidad y tiempo. El conjunto B corresponde a la toma de muestras correspondientes a un mismo cierre de electrodos (16 muestras), por lo que se deberá repetir este conjunto (paso 10) para finalizar con todas las muestras de un cabezal (32 muestras). Con este proceso para los dos cabezales se obtendrán las 64 muestras necesarias. Siguiendo este procedimiento, a lo largo de dos turnos distintos de mañana en los que la línea estaba parada se realizó la toma total de las muestras. Para ambos cabezales, el orden de realización de soldaduras en función de los distintos parámetros ha sido el mismo, intentando optimizar el número de ajustes necesarios por parte del mecánico.



**Figura 53. Electrodo a sustituir para la realización del DOE (paso 3.4.) (Fuente: Elaboración propia).**



**Figura 54. Juego de electrodos a utilizar para uno de los cabezales (un juego utilizado por cabezal) (Fuente: Elaboración propia).**

Al extraer las soldaduras (paso 6), se comprobarán (en conjunto con el inspector de calidad del turno si es posible) tanto si se han producido proyecciones (*Figura 23*) como si se produce 'Ring Welding'

(Figura 55), defecto provocado por la falta de energía en la soldadura, teniendo como resultado una unión en la que se puede observar una pequeña burbuja en el centro, indicando que no se ha alcanzado la fusión completa del material. Pese a que esta información no será introducida en Minitab, mantener este registro permitirá observar para qué valores de energía aparecen este tipo de defectos, y a partir de estos valores se establecerán los límites de parámetro de la energía.



**Figura 55. Ejemplo de 'Ring Welding' en la soldadura (Fuente: Material de la empresa).**

Tras tomar la totalidad de las muestras, se extraerá del programa Matuschek en formato Excel toda la información necesaria, y se introducirán los datos obtenidos en la hoja de datos de Minitab para su posterior análisis, el cual se ha desarrollado a lo largo del siguiente capítulo.



## 5.4. Análisis de los resultados

Una vez tomadas la totalidad de las muestras, es posible comenzar con el análisis de los datos obtenidos. Así, se extrajeron del software 'Matuschek' los datos correspondientes a las soldaduras realizadas durante los distintos días. Como el software solo almacena las últimas mil soldaduras, se realizó una extracción de datos de cada día.

Los datos que se pueden extraer de la máquina y que serán utilizados en el análisis son:

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
31776 (228)	1	0	0	0	0 D05 D06		213	13,22	0,78	80	60	55,5	0	2180
31777 (228)	1	0	0	0	0 D05 D06		213	13,22	0,77	80	60	55,3	0	2154
31778 (228)	1	0	0	0	0 D05 D06		213	13,22	0,78	78	58	55,3	0	2195
31779 (228)	1	0	0	0	0 D05 D06		211	13,22	0,77	58	58	54,8	0	2147
31780 (228)	1	0	0	0	0 D05 D06		211	13,22	0,79	59	59	55,1	0	2233
31781 (228)	1	0	0	0	0 D05 D06		211	13,22	0,79	60	60	55,3	0	2222
31782 (228)	1	0	0	0	0 D05 D06		211	13,21	0,8	62	62	56	0	2244
31783 (228)	1	0	0	0	0 D05 D06		211	13,22	0,77	61	61	55,7	0	2265
31784 (228)	1	0	0	0	0 D05 D06		211	13,21	0,78	62	62	55,7	0	2205
31785 (228)	1	0	0	0	0 D05 D06		213	13,22	0,78	60	60	55,3	0	2142
31786 (228)	1	0	0	0	0 D05 D06		213	13,22	0,79	60	60	55,4	0	2199
31787 (228)	1	0	0	0	0 D05 D06		211	13,21	0,79	62	62	55,8	0	2201
31788 (228)	1	0	0	0	0 D05 D06		211	13,22	0,78	62	62	55,2	0	2189
31789 (228)	1	0	0	0	0 D05 D06		211	13,21	0,78	62	62	55,7	0	2220
31790 (228)	1	0	0	0	0 D05 D06		211	13,22	0,79	60	60	55,1	0	2207
31791 (228)	1	0	0	0	0 D05 D06		211	13,22	0,78	61	61	55,3	0	2181
31792 (228)	1	0	0	0	0 D05 D06		213	13,21	0,79	62	62	55,4	0	2201
31793 (228)	1	0	0	0	0 D05 D06		213	13,22	0,77	60	60	55,3	0	2152
31794 (228)	1	0	4	4	4 I04 T280		231	13,75	0,78	56	56	57,2	0	2478
31795 (232)	1	0	4	4	4 I04 T280		231	13,75	0,77	55	55	57,2	0	2451
31796 (232)	1	0	2	2	2 I04 T280		191	13,68	0,71	51	51	56,3	0	1875
31797 (232)	1	0	2	2	2 I04 T280		191	13,68	0,74	52	52	56,9	0	1911
31798 (232)	1	0	3	3	3 I13 T230		231	12,76	0,68	53	52	52,6	0	2022
31799 (232)	1	0	3	3	3 I13 T230		231	12,76	0,65	51	51	52,3	0	1904
31800 (232)	1	0	1	1	1 I13 T190		191	12,71	0,66	50	50	52,2	0	1805
31801 (232)	1	0	1	1	1 I13 T190		191	12,71	0,64	48	48	52	0	1950
31802 (232)	1	0	4	4	4 I04 T280		231	13,75	0,8	58	58	58,2	0	2057
31803 (232)	1	0	4	4	4 I04 T280		231	13,75	0,73	54	54	57,2	0	2321
31804 (232)	1	0	2	2	2 I04 T190		191	13,68	0,72	52	52	56,7	0	1888
31805 (232)	1	0	2	2	2 I04 T190		191	13,68	0,72	52	52	57	0	1890
31806 (232)	1	0	3	3	3 I13 T230		231	12,76	0,69	53	53	53,2	0	2011
31807 (232)	1	0	3	3	3 I13 T230		231	12,76	0,67	52	52	53,9	0	1991

Figura 56. Extracto de la hoja Excel obtenida a través de 'Matuschek' (Fuente: Elaboración propia).

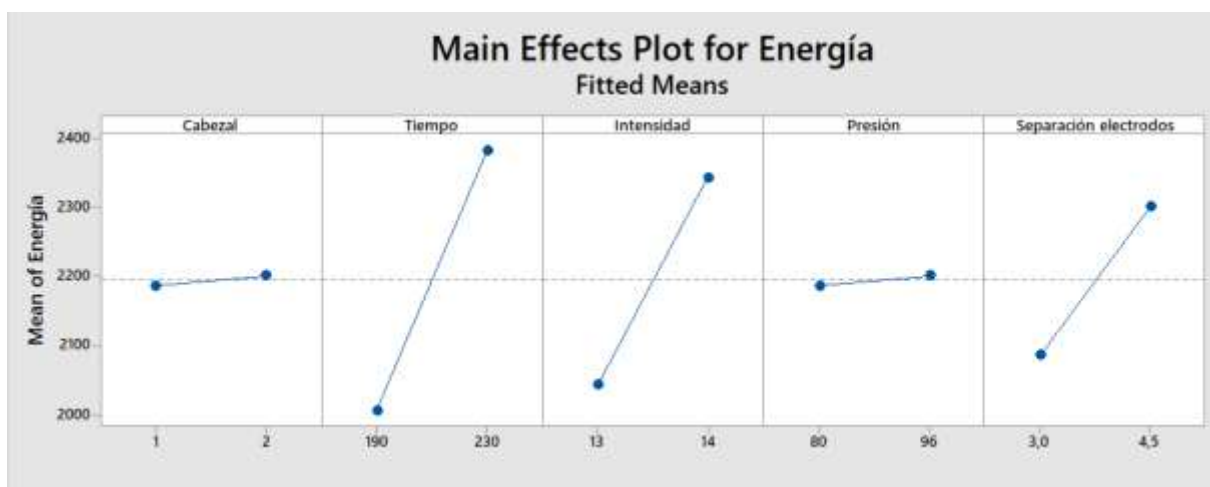
- Columna C: Contador de soldaduras y número de rechazos (este último no funciona actualmente, por lo que no se tendrá en cuenta).
- Columna F: Número del programa de soldadura utilizado.
- Columna H: Nombre del programa de soldadura utilizado.
- Columna J: Tiempo de soldadura.
- Columna K: Corriente media de soldadura.
- Columna Q: Energía aportada en la soldadura.

Además de estos datos, a mano se fueron registrando cuales de estas soldaduras producían proyecciones, y se revisó posteriormente con el inspector de calidad del turno la posible aparición de 'Ring Welding'. Sin embargo, en ninguna de las soldaduras se observó este fenómeno, lo cual indica por un lado que el rango elegido de parámetros no fue suficiente como para alcanzar el nivel más inferior de energía, aunque, por otro lado, el método de extracción de las soldaduras implica mucha fuerza, por lo que no siempre es posible conseguir un corte que permita ver con claridad la soldadura.



Por lo tanto, se deben extraer los datos de las muestras y crear en Minitab un diseño factorial de 5 factores en el que se introducirán los valores de energía aportada, y se procederá al análisis de todos los resultados posibles, para así extraer posibles mejoras a implementar en el futuro.

Una vez realizado el análisis por Minitab, se pueden generar una serie de gráficas y modelos, las cuales se analizarán a continuación con el objetivo de extraer la máxima información posible antes de la etapa de mejora, en la que se tomarán las decisiones sobre las acciones a implementar. La primera de las gráficas consiste en una representación de la variación de la energía en función de cada uno de los parámetros por separado.



**Figura 57.** Gráfica de los principales efectos sobre la energía para cada parámetro en el modelo (Fuente: Elaboración propia).

Esta gráfica es acorde a la definición del proceso que se ha realizado previamente (apartado 4.3), en la que se ha marcado la importancia tanto del tiempo como de la intensidad en el proceso debido a la *Ecuación 1*. Se puede observar cómo los cabezales como la presión resultan ser parámetros irrelevantes (al menos dentro del rango definido), mientras que la intensidad, tiempo de soldadura y cierre de pinzas sí son relevantes en el resultado. En el caso de la presión, esta poca variación puede deberse a que el rango seleccionado ha sido demasiado corto, y no ha permitido observar alguna influencia en la energía. Sin embargo, este rango es más que suficiente para contener el rango de trabajo durante la producción, por lo que es posible considerar que, en condiciones normales de trabajo, modificar la presión no influirá en la energía aportada.

También es posible representar numéricamente en una gráfica el valor del efecto de cada parámetro, además de todas sus posibles combinaciones entre sí, pudiendo observar en el siguiente diagrama Pareto los parámetros más significativos.

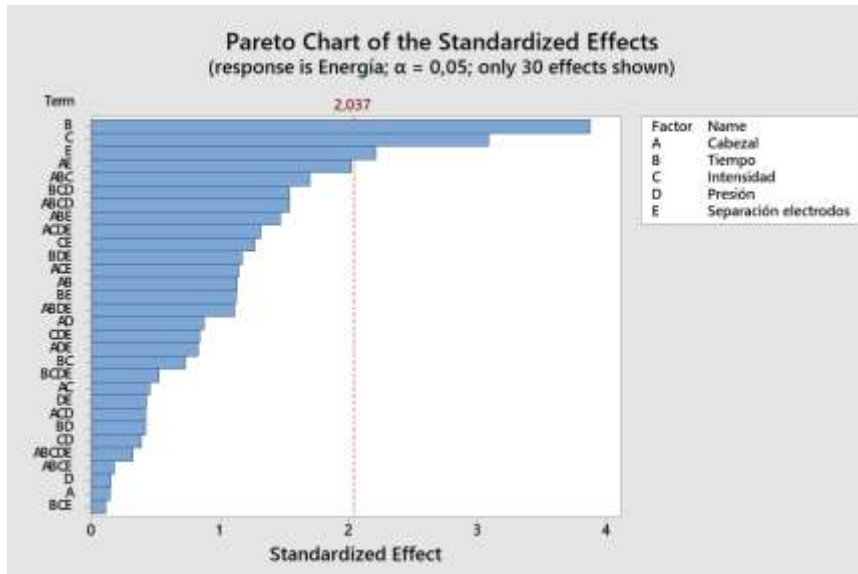


Figura 58. Diagrama de Pareto sobre los efectos de cada variable para el modelo (Fuente: Elaboración propia).

La marca de 2,037 indica el valor estadístico calculado a partir del cual se podría considerar un parámetro como “importante” en la variación del resultado, aunque los primeros parámetros por debajo también es posible tenerlos en cuenta debido a su proximidad con el límite. Uno de los grandes potenciales del diseño de experimentos reside en la posibilidad de crear un modelo que permite “simular” dentro de un rango de confianza el proceso. Así, es posible introducir unos valores para cada parámetro, y a partir del modelo se puede obtener una energía en la soldadura esperada. Como se ha mencionado anteriormente, se ha anotado para cada soldadura si se había producido proyección o no, por lo que es posible obtener un valor medio para soldaduras sin proyección, y un valor medio para soldaduras con proyecciones. El valor medio de energía en la soldadura en aquellas muestras sin proyección es de 2182 Ws, mientras que las soldaduras con proyecciones tienen de media 2560 Ws.

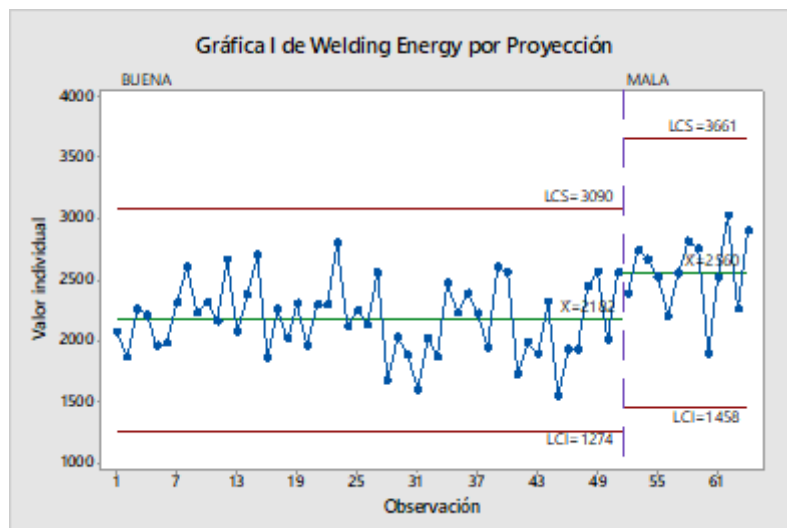


Figura 59. Energía aportada en la soldadura en función de si ha generado o no proyecciones (Fuente: Elaboración propia).

A partir de estos valores, es posible considerar 2200 Ws como un valor objetivo a partir del cual será más difícil encontrarse con proyecciones. Por lo tanto, si introducimos este valor objetivo en Minitab, se obtendrán los ajustes de los parámetros necesarios para obtener dicho valor.

Optimizador de respuesta: Configuración

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderaci	Importancia
Energía	Objetivo	2000	2200	2600	1	1

Figura 60. Configuración del optimizador de respuesta para alcanzar el objetivo marcado (Fuente: Elaboración propia).



Figura 61. Modelo predictivo creado a partir de los datos introducidos (Fuente: Elaboración propia).

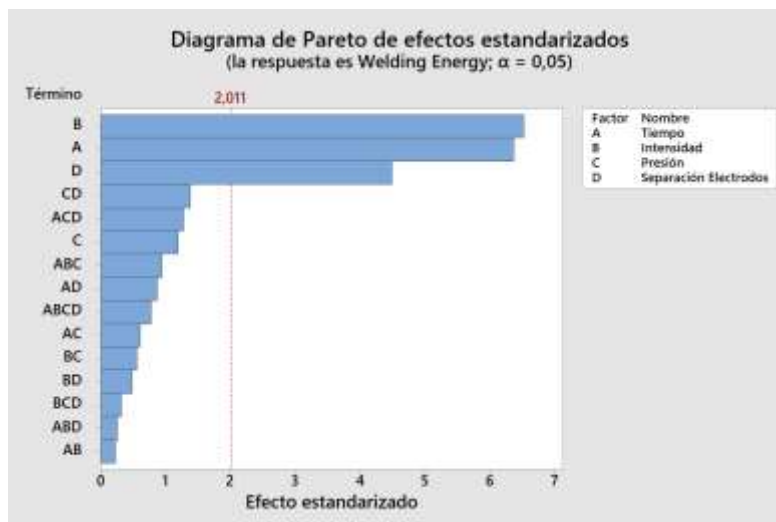
Con este modelo, es posible no sólo obtener los parámetros necesarios para alcanzar el objetivo, sino que existe la posibilidad de variar cada uno de los parámetros y calcular en tiempo real la energía en la soldadura prevista. En rojo, aparecen marcados los valores necesarios de cada uno de los parámetros para conseguir el valor de energía deseada, y como se puede observar, coinciden en la mayoría con los valores establecidos como procedimiento estándar, lo cual es esperable de una fábrica con años de experiencia, a pesar de no haber utilizado métodos estadísticos para alcanzar estos valores. Se ha configurado para que el parámetro del cabezal no tenga valor intermedio, lo que produce distorsión en el modelo. Esta distorsión viene resumida por los coeficientes de determinación.

### Model Summary

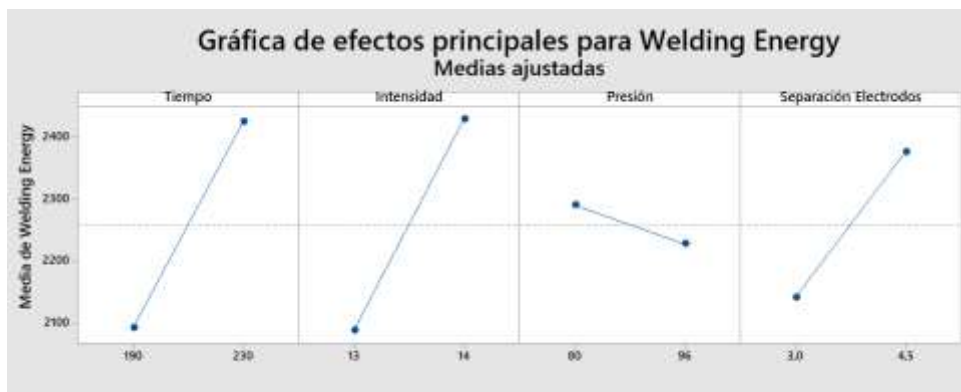
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
388,829	64,13%	29,39%	0,00%

Figura 62. Resumen estadístico del modelo creado (Fuente: Elaboración propia).

En este resumen del modelo se encuentran los coeficientes de determinación calculados del modelo, los cuales permiten identificar si el modelo es lo suficientemente correcto. El coeficiente de  $R^2$  indica la cantidad de variación en la energía que es capaz de explicar este modelo. Se puede considerar un valor relativamente alto teniendo cuenta la cantidad de parámetros que podían producir variabilidad que escapaban del control del experimento (anchura de las orejetas, colocación de las uniones...etc.). El siguiente coeficiente es la  $R^2$  ajustada, la cual indica que el modelo contiene demasiados parámetros (no influyentes) y se ve excesivamente restringido a la muestra, por lo que se deberán filtrar los datos tomados para obtener otro mejor modelo. El último de los coeficientes es la  $R^2$  prevista, la cual indica en este caso la excesiva restricción del modelo a las muestras, y no al conjunto. Por lo tanto, se deben eliminar las combinaciones que el mismo modelo ha considerado menos importantes (*Figura 58*) para reajustar el modelo. En este caso, al haber sido demostrada la nula diferencia entre los dos cabezales (utilizando el mismo juego de electrodos), es posible eliminar el factor del cabezal, y realizar otro DOE con las muestras ya tomadas, en este caso con cuatro muestras para cada combinación de cada factor. Realizando este nuevo diseño, se han obtenido resultados similares a los mostrados en la *Figura 57*.



*Figura 63. Diagrama de Pareto sobre los efectos de cada variable para el segundo modelo (Fuente: Elaboración propia).*



*Figura 64. Gráfica de los principales efectos sobre la energía para cada parámetro en el segundo modelo (Fuente: Elaboración propia).*

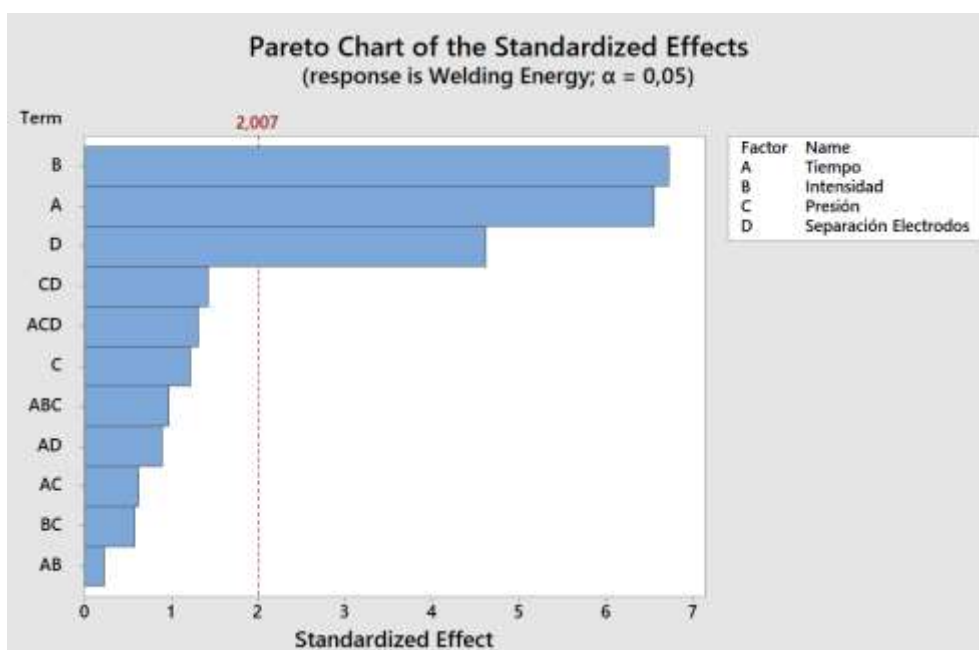
Con esta información, es posible afirmar que la variabilidad de la energía en función del cabezal efectivamente es nula, ya que se ha obtenido la misma variabilidad para el resto de los parámetros, aumentando ligeramente la presión debido a la reducción de parámetros.

### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
209,375	69,90%	60,50%	46,49%

**Figura 65. Resumen estadístico del segundo modelo realizado (Fuente: Elaboración propia).**

Como puede observarse a partir de los coeficientes de determinación obtenidos, el modelo ha mejorado sustancialmente en todos los niveles. Pese a haber eliminado un parámetro, el valor de  $R^2$  aumenta, debido a que ese parámetro (cabezal) no aportaba información válida para el modelo al ser no significativo. Al eliminar el factor del cabezal, la  $R^2$  ajustada aumenta al tratarse de un modelo que sigue siendo válido, pese a tener menos parámetros. Por último, puede observarse en el coeficiente de la  $R^2$  prevista, como la capacidad de predecir futuras muestras del modelo es mucho mayor. Pese a ello, en el diagrama de Pareto pueden observarse como existen demasiadas combinaciones con poca relevancia que afectan a estos resultados, por lo que se procederá a filtrar estas combinaciones menos relevantes para eliminarlas del modelo, obteniendo unos nuevos coeficientes de determinación.



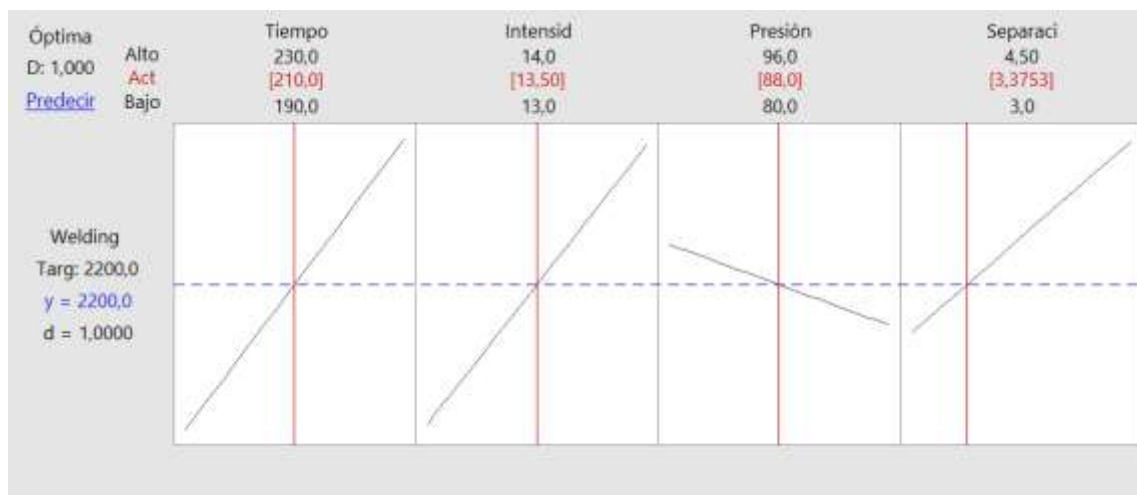
**Figura 66. Diagrama de Pareto sobre los efectos de cada variable para el segundo modelo, tras filtrar las combinaciones menos relevantes (Fuente: Elaboración propia).**

### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
203,251	69,27%	62,77%	53,45%

**Figura 67. Resumen estadístico del segundo modelo realizado tras el filtrado (Fuente: Elaboración propia).**

Al filtrar las combinaciones, el modelo pierde algo de eficacia en explicar las muestras tomadas (disminuye ligeramente  $R^2$ ). Sin embargo, se trata de un modelo menos restringido, por lo que aumenta en capacidad de predicción. Con este último modelo, los parámetros calculados para obtener una energía de soldadura de 2200 Ws son los siguientes:



**Figura 68. Segundo modelo predictivo creado a partir de los datos introducidos, tras realizar el correspondiente filtrado (Fuente: Elaboración propia).**

Según el nuevo modelo, los parámetros de entrada del proceso para obtener la energía deseada (2200 Ws) son los mismos que en el primer modelo (Figura 61) salvo en la separación de electrodos, que se ve algo reducida. Este último modelo será utilizado para la extracción de conclusiones con las que se justificarán las distintas mejoras a implementar.

### 5.5. Conclusiones de la Fase Analizar

Del modelo obtenido, se puede conocer el comportamiento del proceso en función de cada uno de los distintos parámetros. Además, ha sido posible obtener un valor de cada uno de los parámetros con el que alcanzar un objetivo (evitar las proyecciones). La mayoría de estos parámetros calculados coinciden con los parámetros que actualmente tiene la máquina como consigna estándar, evidenciando el conocimiento previo que la fábrica ya tenía del proceso. Sin embargo, la relevancia que se creía previamente de cada uno de los factores dista de la obtenida en el modelo. En la *Figura 68* puede observarse como los factores relevantes son intensidad, tiempo de soldadura y cierre de electrodos, mientras que la presión (y los cabezales, eliminados para este segundo modelo) son irrelevantes. Hasta el momento, se realizaba un control por parte del inspector de calidad por día de la presión, y no se tenía en cuenta el cierre de los electrodos, ya que tampoco se tenía un valor objetivo de referencia. De esta nueva información se pueden extraer algunas mejoras:

- Actualizar el documento sobre parámetros de trabajo (PR) de la línea 1 sobre el valor en el que se debe encontrar la distancia de cierre de los electrodos.
- Añadir al informe diario de calidad rellenado por el inspector un espacio dedicado al control del cierre de electrodos, con los nuevos valores definidos en el PR.
- Actualización del documento referido al plan de actuación en caso de que se produzcan proyecciones durante la producción.

Al tratarse todas estas mejoras de actualizaciones de los métodos de control sobre el proceso, estas mejoras se desarrollarán en la parte correspondiente de la Fase Controlar.

Otra de las conclusiones principales extraíbles del DOE es la ausencia de relevancia del parámetro del cabezal. Sin embargo, en la fase Medir se han sacado datos en los cuales si se veía diferencia entre un cabezal y otro (*Figura 36* y *Figura 37*) con unos mismos parámetros de entrada. Esta diferencia ha sido eliminada al utilizar electrodos en el mismo estado en ambos cabezales, por lo que ha quedado demostrada la influencia del número de soldaduras realizadas por el electrodo en la energía final. Por este motivo, se debe establecer algún tipo de procedimiento para intentar reducir esta diferencia, como es la limpieza de los electrodos durante la producción. Sin embargo, no se conoce la verdadera influencia de limpiar los electrodos durante la producción sobre la energía, por lo que es necesario añadir un breve análisis sobre la limpieza de los electrodos el cual se realizará dentro de la Fase Mejorar.



## 6. Fases Mejorar y Controlar

### 6.1. Introducción

En este capítulo se van a desarrollar todas las mejoras que se han podido extraer a lo largo del proyecto, y se establecerá un plan de acción para continuar con la aplicación del proyecto al resto de líneas en la que sea necesario. En la Fase Mejorar se desarrollarán las mejoras que no impliquen una actualización de los documentos de control (cuyas mejoras se verán desarrolladas en la siguiente fase: Controlar). Estas mejoras corresponden en primer lugar al ajuste del orden de soldadura, la cual requiere realizar una estimación de ahorros independiente a la del capítulo 4 al tratarse de una mejora que no tiene por objetivo reducir proyecciones, sino reducir la cantidad de material rechazado debido a este defecto. La otra mejora desarrollada en esta fase es la referida al establecimiento de una limpieza por turno, para la que se requiere un cálculo sobre el efecto de la limpieza sobre el proceso antes de establecer un procedimiento estándar para producción. En la Fase Controlar se explicarán todos los documentos de control de producción que se han actualizado gracias a la información obtenida de las fases Analizar y Mejorar. Además, se realizará un cálculo de los ahorros obtenidos tras la implementación de todas las mejoras en el último mes de estancia de prácticas, extrapolándolos a un año natural para poder comparar los ahorros obtenidos con los estimados, además de una estimación de los ahorros que se podrían obtener si se alcanza el mismo objetivo para el resto de las líneas de camión. Por último, se detalla el plan de acción propuesto para poder ampliar el proyecto al resto de líneas, implementar mejoras aún pendientes y controlar el proyecto en el próximo año.

### 6.2. Fase Mejorar

#### 6.2.1. Mejora procedente de las fases Definir y Medir

El objetivo de las fases definir y medir es principalmente adquirir un orden de magnitud y conocimientos suficientes sobre el proceso a mejorar para poder posteriormente analizar el mismo y obtener resultados concluyentes. Sin embargo, durante la medición del proceso (apartado 4.5.1 más atrás) se encontró una posibilidad de mejora. Durante la definición del flujo del proceso, se encontró que la máquina comienza el orden de las soldaduras del segundo cabezal de dos formas distintas, alternando para cada batería debido a la posición inicial y final en la que se encuentra el cabezal en el proceso, como se detalla en la *Figura 30* y en la *Figura 34*. Como se ha explicado en el apartado correspondiente, existe una diferencia entre empezar por un lado o por el otro, ya que según la configuración se podrán ahorrar más o menos paquetes de placas en función del punto en el que se rechace la batería debido a proyección. Por lo tanto, a continuación, se va a realizar una estimación del ahorro que podría suponer realizar este cambio, y en el caso de tratarse de un ahorro importante, se procedería a añadir en el plan de control la toma de contacto con el proveedor para consultar la posibilidad de realizar este cambio.

Al no existir ninguna relación conocida sobre si se realizan más o menos proyecciones en cada una de las uniones, y se va a calcular la modificación solo en el segundo cabezal, se deberán realizar una serie de presuposiciones para realizar esta estimación de ahorros.

- 4/5 partes de las proyecciones totales se producen en el segundo cabezal.
- El total de proyecciones se extraerá la Tabla 1, un total de 1800 baterías.
- Se asumirá una proyección por batería para suponer el máximo ahorro estimado con esta mejora (1800 proyecciones).
- Al realizar las soldaduras alternando el orden para cada batería, se supondrán la mitad de las proyecciones a cada configuración de orden de soldadura.
- Al no haber ningún indicio de diferencia en cada unión sobre la aparición de proyecciones, se supondrán la misma cantidad de proyecciones en cada cabezal (un 25%).
- Se utilizarán el número de paquetes desperdiciados para calcular el coste como si tratara de una única proyección, teniendo en cuenta únicamente el orden de soldadura.

Configuración 1 (Figura 30)		Configuración 2 (Figura 34)	
Fallo	SCRAP	Fallo	SCRAP
Soldadura 1	3 paquetes	Soldadura 1	4 paquetes
Soldadura 2	4 paquetes	Soldadura 2	6 paquetes
Soldadura 3	5 paquetes	Soldadura 3	6 paquetes
Soldadura 4	6 paquetes	Soldadura 4	6 paquetes

**Figura 69. Número de paquetes rechazados según la unión en la que se produce la proyección para cada configuración (Fuente: Elaboración propia).**

A partir de todas estas presuposiciones, se ha desarrollado el cálculo estimado de los ahorros correspondientes a producir el mismo número de proyecciones utilizando solo la primera configuración de la máquina:

		FY22	FY23
Nº Total de proyecciones		1800	1800
% Configuración 1		50%	100%
% Configuración 2		50%	0%
Nº Proyecciones Configuración 1		900	1800
Nº Proyecciones Configuración 2		900	0
Configuración 1	Proyecciones Soldadura 1	225	450
	Proyecciones Soldadura 2	225	450
	Proyecciones Soldadura 3	225	450
	Proyecciones Soldadura 4	225	450
Configuración 2	Proyecciones Soldadura 1	225	0
	Proyecciones Soldadura 2	225	0
	Proyecciones Soldadura 3	225	0
	Proyecciones Soldadura 4	225	0

**Figura 70. Cálculo estimado del número de proyecciones en cada una de las configuraciones antes y después de la modificación (Fuente: Elaboración propia).**

Para el cálculo del ahorro por paquete, se han presupuesto 14 placas positivas y 14 negativas, la cantidad más utilizada en las baterías de la línea, mientras que se ha estimado la unión de plomo del paquete en un sexto del total de plomo utilizado en COS, que son 2800 gramos. Con este coste, ya es posible calcular los ahorros completos siguiendo las estimaciones mencionadas previamente:

	Cantidad	Precio	Coste
Placa positiva	14	0,4	5,6
Placa negativa	14	0,33	4,62
Unión	0,466667	2	0,933333
		<b>Total</b>	<b>11,153 €</b>

**Figura 71. Cálculo del coste de cada paquete de placas (Fuente: Elaboración propia).**

			Nº Proyecciones	Scrap paquetes / proyección	Paquetes a SCRAP
FY22	Conf. 1	Soldadura 1	225	3	675
		Soldadura 2	225	4	900
		Soldadura 3	225	5	1125
		Soldadura 4	225	6	1350
	Conf. 2	Soldadura 1	225	4	900
		Soldadura 2	225	6	1350
		Soldadura 3	225	6	1350
		Soldadura 4	225	6	1350
FY23	Conf. 1	Soldadura 1	450	3	1350
		Soldadura 2	450	4	1800
		Soldadura 3	450	5	2250
		Soldadura 4	450	6	2700
	Conf. 2	Soldadura 1	0	4	0
		Soldadura 2	0	6	0
		Soldadura 3	0	6	0
		Soldadura 4	0	6	0
<b>Total FY22</b>					<b>9000</b>
<b>Total FY23</b>					<b>8100</b>
<b>Ahorro paquetes</b>					<b>900</b>
<b>Coste por paquete</b>					<b>11,153 €</b>
<b>Ahorro total / año fiscal</b>					<b>10.038,00 €</b>

**Figura 72. Cálculo estimado de los ahorros anuales alcanzables con la implementación de la mejora (Fuente: Elaboración propia).**

En este cálculo se puede apreciar el potencial de la mejora, estimando unos ahorros de unos 10.000€ para el periodo de 10 meses de los datos extraídos. Si extrapolamos este ahorro a 12 meses anuales, el ahorro podría llegar a alcanzar los 12.045,6€/año. Por lo tanto, en el plan de acción posterior se incluirá contactar con el proveedor para consultar si sería posible realizar esta modificación en la configuración de la máquina.

### 6.2.2. Mejoras procedentes de la Fase Analizar

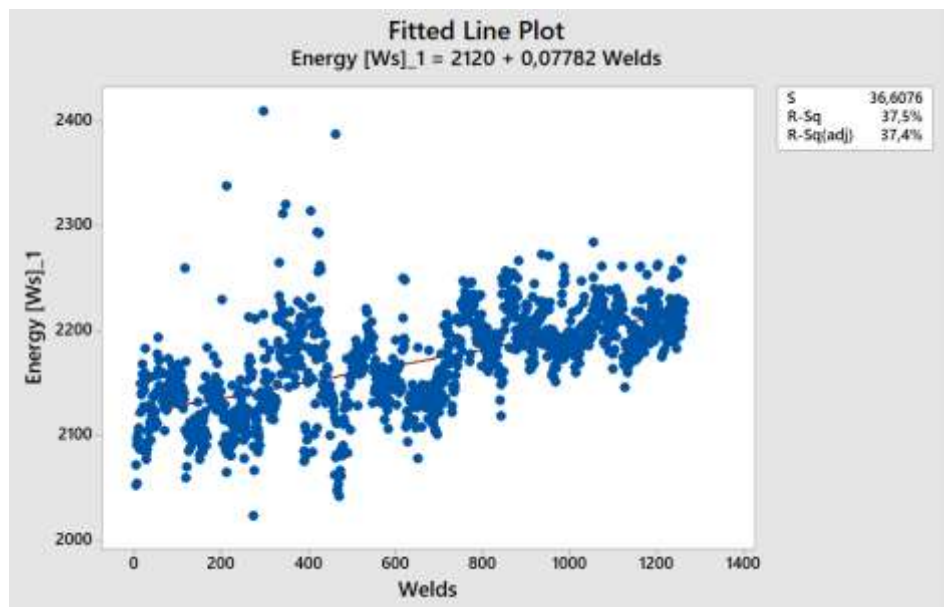
En este apartado se procederá a explicar el conjunto de mejoras que se han podido extraer para el proceso de soldadura a partir de la información obtenida gracias al diseño de experimentos de la fase Analizar y de las conclusiones extraídas del mismo.

De la Fase Analizar se ha podido extraer la importancia del estado del electrodo en el resultado del proceso, por lo que se ha decidido realizar un breve estudio antes de decidir si establecer o no una limpieza al turno por parte del operario.

Para este análisis, solo se necesitarán tomar una serie de medidas sobre la máquina TTP:

- Energía en la soldadura sobre un número suficientemente extenso de soldaduras para poder observar la tendencia ascendente conforme aumenta el número de soldaduras realizadas por el electrodo.
- Energía en la soldadura antes y después de realizar una limpieza de los electrodos por parte del operario, recogiendo cuanto baja la energía en la soldadura al realizar esta acción.

Para la primera muestra, se pueden utilizar los datos extraídos en la etapa de medición justo después de realizar el cambio de electrodos, filtrando algunos datos que pudieran afectar en el resultado.

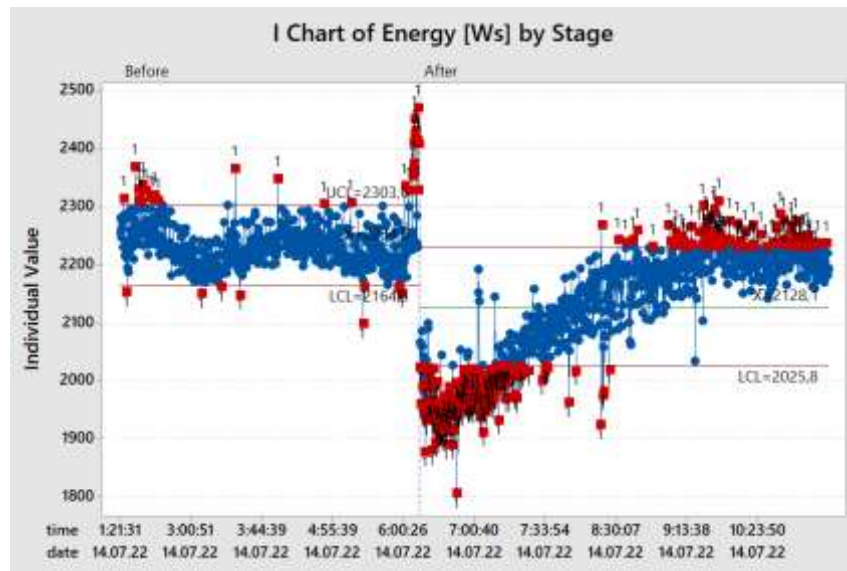


**Figura 73. Línea de tendencia de la energía en la soldadura tras realizar el cambio de electrodos (Fuente: Elaboración propia).**

En esta aproximación de modelo se puede observar cómo aumenta la energía manteniendo una tendencia lineal que sigue aproximadamente el modelo calculado:  $2120 + 0,07782 \cdot n^{\circ}$  soldaduras. Pese a que para la creación del modelo solo se ha tenido en cuenta el factor del número de

soldaduras, este es capaz de explicar el 37,5 % de las muestras (según el valor de  $R^2$ ), por lo que se puede tomar esta pendiente como fiable para explicar el aumento de energía.

Por otro lado, se ha tomado muestras tras la limpieza de los electrodos con un pequeño estropajo en un turno en el que se producían baterías de forma más continuada para evitar influencias externas, pudiendo observar la influencia de la suciedad de los electrodos en la energía.



**Figura 74. Muestras tomadas antes y después de realizar la limpieza de electrodos en el segundo cabezal (Fuente: Elaboración propia).**

En esta gráfica se puede apreciar las tres fases de la energía durante la limpieza: antes de limpiarse, justo después de limpiarse se produce una tendencia bastante ascendente que dura aproximadamente 3 horas de producción y de nuevo una estabilización en prácticamente el mismo valor de energía. Dividiendo estos datos en esas tres fases se pueden obtener los distintos valores medios:

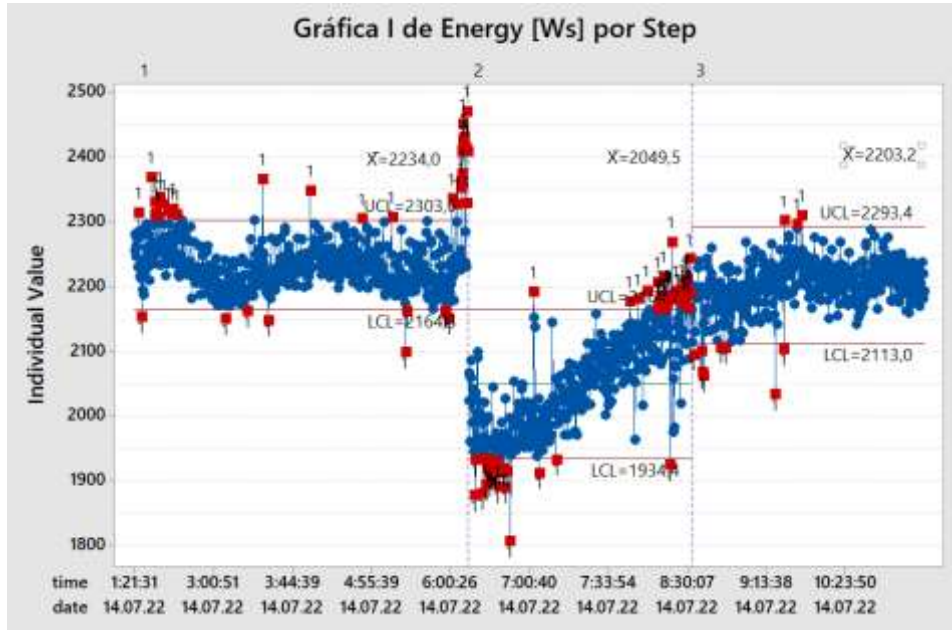


Figura 75. Muestras divididas en las tres fases de limpieza de los electrodos en el segundo cabezal (Fuente: Elaboración propia).

De estas tres fases, se puede comprobar si se trata de poblaciones estadísticamente diferentes:

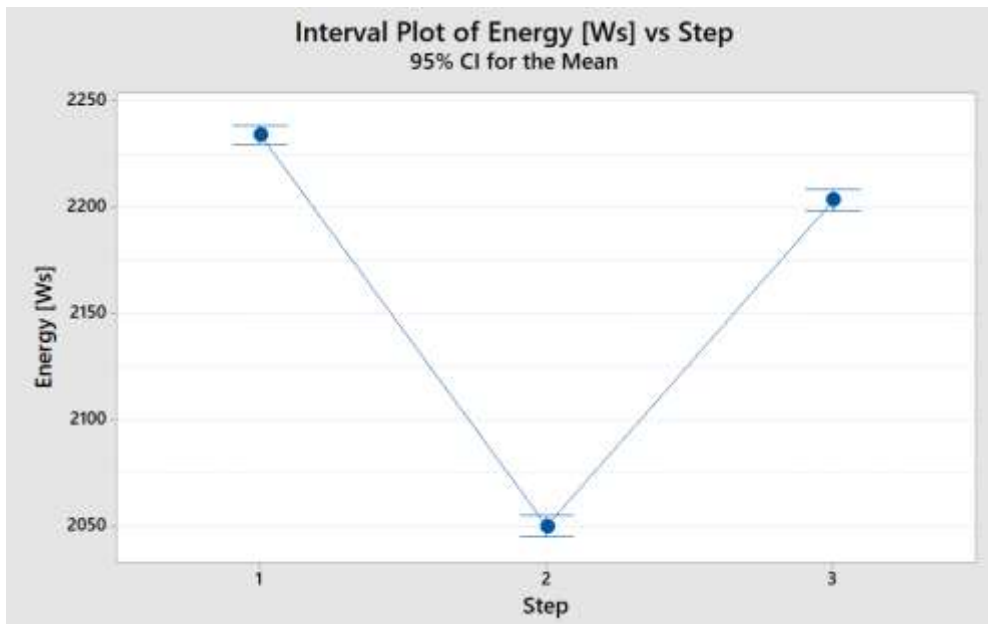


Figura 76. Representación del intervalo de confianza en un 95% de las tres fases de limpieza (Fuente: Elaboración propia).

Una vez conociendo la tendencia de la energía durante la producción, y la influencia de la limpieza de electrodos en ella, es posible establecer un criterio sobre el número mínimo de limpiezas a realizar por turno. Se supondrá un turno normal de 8 horas, en el que se producen unas 700 baterías (2800 soldaduras) teniendo en cuenta los tiempos de ciclo y los cuellos de botella de la línea. Utilizando el



modelo calculado, 2800 soldaduras (partiendo de 2120 Ws) acabaría teniendo una energía media de 2337 Ws. Para controlar este aumento de energía se establecerá una limpieza al inicio de cada turno, y por tanto se deberá actualizar también su documento correspondiente como se verá en la Fase Controlar.

### 6.3. Fase Controlar

#### 6.3.1. Implementación de las mejoras en la documentación de control

En esta fase se procederá por un lado a realizar una actualización de todos los documentos que se han creído necesarios tras el desarrollo de la Fase Mejorar, y por otro se establecerá un plan de acción con el que llevar a cabo alguna mejora pendiente de realizar, y comprobar los resultados de las mejoras ahora implementadas.

En primer lugar, se han actualizado los documentos referentes a la soldadura TTP de la línea 1 con la nueva información obtenida del DOE. Actualmente, existen documentos referentes a métodos de control de calidad, parámetros de trabajo, autocontroles...etc. Para cada una de las máquinas de producción de la planta. Los documentos a modificar en este caso son:

- Parámetros de trabajo de la máquina TTP de la línea 1 (PR).
- Documento de autocontrol de los inspectores de calidad para la inspección de la máquina TTP de la línea 1.
- Documento sobre la actuación en caso de que aparezcan proyecciones.

En el primero de estos documentos se detalla cual es el rango de valores sobre el que se deben encontrar todos los parámetros de la máquina. Actualmente, en este documento se establecía una separación del cierre de los electrodos de 3,7 mm en el primer cabezal, y 4,6 mm en el segundo. Sin embargo, se ha demostrado la nula diferencia entre un cabezal y otro, además de encontrar el valor óptimo calculado (*Figura 68*) por debajo. Por este motivo, entre los principales encargados de producción se ha tomado la decisión de establecer un rango de cierre entre 3,5 y 4 mm. Este valor sigue estando por encima de los 3,37 calculados, debido a que existen casos de baterías que requieren una mayor apertura de pinzas debido a que contienen menor número de placas. Al haber menos placas, las orejetas quedan más separadas entre sí (*Figura 31*), por lo que se necesita una mayor apertura para poder introducir ambas orejetas en las pinzas.



**Baterías:**

- D05 / D06

Escotado	Electrodo		Separación entre electrodos (valores de referencia)		Presión cabezal 1 (1)	Presión cabezal 2 (1)
	Tipo	Número máximo de soldaduras	Cabezal 1	Cabezal 2		
19x11 mm	JL1	50000	3,5 – 4 mm	3,5 – 4 mm	88 ± 2 bar	88 ± 2 bar

(1) Para baterías a pinzar que hayan quedado fabricadas en COS de 48 horas antes, subir la presión a 100 bar (la huella debe estar en torno a 9,5 – 10 mm de ancho y 7 – 7,5 mm de alto).

**Figura 77. Extracto del documento PR referente a los parámetros de trabajo de TTP de la línea 1 actualizado (Fuente: Elaboración propia).**

El siguiente documento a modificar contiene todas las comprobaciones necesarias que debe realizar el inspector de calidad a lo largo de su turno de trabajo. Actualmente, este documento no contempla la revisión del cierre de pinzas, solo su alineación y la distancia con respecto a la orejeta. Por lo tanto, también se ha actualizado este documento para que a partir de ahora se deba comprobar esta apertura en todos los turnos (fila 7), teniendo en cuenta el rango que se ha establecido en el PR correspondiente (Figura 73)

3.- AUDITORÍA PROCESO Y PRODUCTO DE SOLDADURA A TRAVÉS DEL TABIQUE																		
LÍNEA Nº	1		2		3		4		5		6		7A		7B			
GPN																		
Todos los Turnos	1. Paso patrón control CC/ Falta de Paquete [L1: 1º SLAUGHTER   2º SLAUGHTER]		CC	FP	CC	FP	CC	FP	CC	FP	CC	FP	CC	FP	CC	FP	CC	FP
	Voltaje [V] / Limite Inferior		V1	V2														
			L11	L12														
	2. Anchura cordón HotMelt y localización según AV 4003.03 (IC)		Sup															
			Inf															
	3. Soldadura centrada (1)																	
	4. Cavidades en soldadura (1)																	
5. "Ring Welding" (1)																		
6. Distancia Electr. a borde de Orejeta (1)																		
7. Distancia electrodos (pinzas cerradas)																		
7. Trazabilidad CALCES : LOTE / FECHA																		

**Figura 78. Extracto del informe a realizar por los inspectores de calidad (Fuente: Material de la empresa).**

Para oficializar este cambio, también se ha debido actualizar el plan de control de la fábrica, añadiendo en el apartado 5 de la máquina TTP el control tanto de la posición como de la distancia de los electrodos.

Control Plan														
<input type="checkbox"/> Prototype <input type="checkbox"/> Pre-series <input checked="" type="checkbox"/> Production - series			Control Plan Number		Key Center/Phone		Plant access phone number (International)		Date (Orig)		Date (rev)			
Part Number/Latest level			Core team		JCN/JMC/PA/BU/AR		Customer Engineering Approval date (if req.)							
Part Name/Description			Supplier Plant Approval date (if req.)		Approval date from Exide		Customer Quality (if req.)							
Supplier Plant			Other Approval date (if req.)		Put date of other approval if any		Other Approval date (if req.)							
Part/Proc. N°	Process name Operation Description	M/C Device Jig. Tools for Mfg.	Characteristics			Special Char. Class	Product/Process Specification/ Tolerance	Evaluation/ Measurement Technique	Methods			Control Method & Record ref.	Reaction Plan	
			N°	Product	Process				Size	Sample Freq.	Resp.			
10-04	Through-partition welding operation	TTP machine	1	Aspect (Castened welding, RW, plastic inclusions, splashes)			As detailed in AU 4003.01	Visual	5 TTP/5hrs P	Release of Production [TTP First Piece]	L1: Worker	AU 4003.01 IGNITION	Acc/ AC-4003.01 - AC-4003.06	
			2	Splash welds			As detailed in AU 4003.01	Visual	1 4h	L1: Worker	L3: Quality	AU-4003.01 IGNITION C-70.08	Acc/ AC-4003.01 - AC-4003.06	
			3	Torque		IC	Measure	Calibrated torque	11 Live TTP/ECD L1	Months	Every Batch	L4: Lab	C-70.11 - IGNITION	Acc/ AC-4003.01 - AC-4003.06
			4	Electrode replacement			As detailed in C-70.11 A,B,C	Visual	1	As detailed in C-70.11 A,B,C	L3: Quality	As detailed in C-70.11 A,B,C	Acc/ AC-4003.01 - AC-4003.06	
			5	Electrode position & distance			AU-4003.01	Visual	1	Shift	L3: Quality	C-70.09	Acc/ AC-4003.01 - AC-4003.06	
			6	Pressure without current			30-40% of total surface	Visual	1	4h	L1: Worker	AU-4003.01 IGNITION	Acc/ AC-4003.01 - AC-4003.06	
			7	Welding current			As detailed in PR 4003.07 & PR4003.08	Current indicator	1	Day	L3: Quality	C-70.08	Acc/ AC-4003.01 - AC-4003.06	
			8	Other relevant parameters			As detailed in PR 4003.07 & PR4003.08	Machine indicators	1	Day	L3: Quality	C-70.08	Acc/ AC-4003.01 - AC-4003.06	
10-05	Wedge colocation	Wedge	1	Wedge colocation			As detailed in AV 4003.05	Visual	1	Shift (in HVR batteries)	L3: Quality	C-70.08	Acc/ AC-4003.07	
			2	Wedge Traceability			-	Visual	1	Day	L3: Quality	C-70.08	Acc/ AC-4003.07	

Figura 79. Extracto del plan de control actualizado de la fábrica (Fuente: Material de la empresa).

El último de los documentos a modificar consiste en un diagrama de flujo que recoge el orden de actuación en el caso de que comienzas a aparecer proyecciones durante la producción. Gracias a toda la información recopilada durante el DOE, se ha establecido un nuevo orden de actuación:

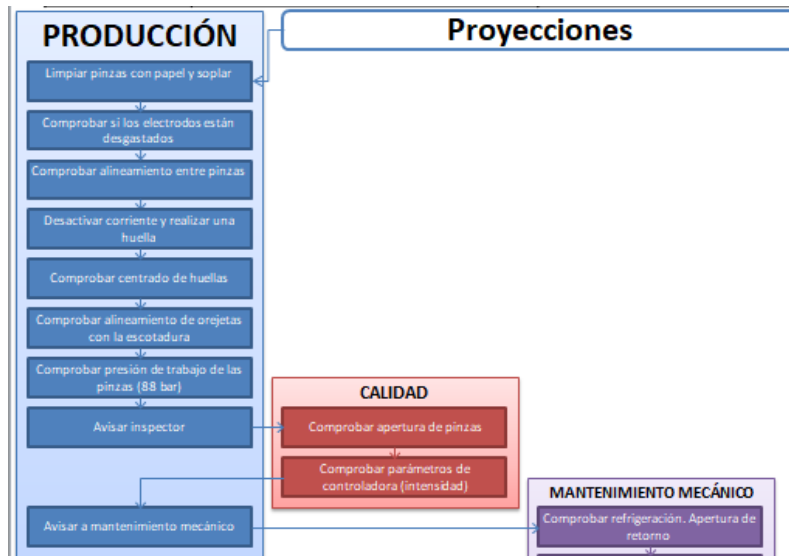


Figura 80. Extracto del documento modificado 'Acciones en caso de anomalías' (Fuente: Elaboración propia)

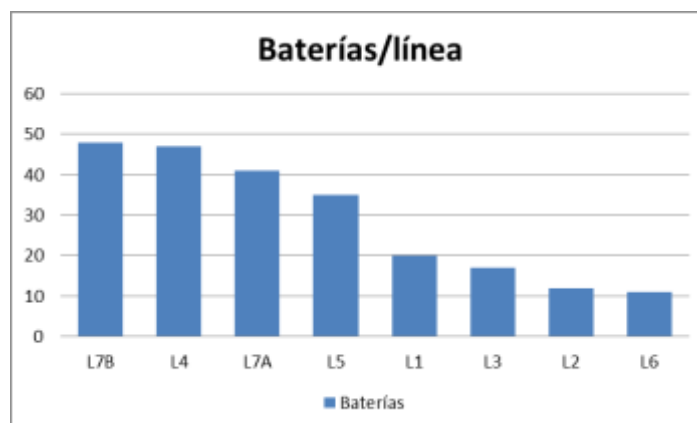
Los principales puntos que se han modificado son:

- En producción, la limpieza de pinzas se ha pasado al primer lugar debido a que las mismas proyecciones generan suciedad que afectará a las soldaduras posteriores, por lo que se deben eliminar antes de realizar más pruebas. Además, una correcta limpieza reduce la energía en la soldadura, disminuyendo la posibilidad de que aparezcan futuras proyecciones.
- En producción, se han actualizado los valores de referencia de la presión (88 bar) y se ha dejado en último lugar antes de avisar al inspector de calidad, debido a la poca relevancia en el resultado final.
- En el procedimiento de calidad, se ha puesto en primer lugar la apertura de pinzas debido a la relevancia de este factor en la energía aportada en la soldadura, como se ha demostrado.
- El resto de los procedimientos (por parte de mantenimiento) no se han modificado debido a que se tratan de correcciones de funcionamiento de la propia máquina.

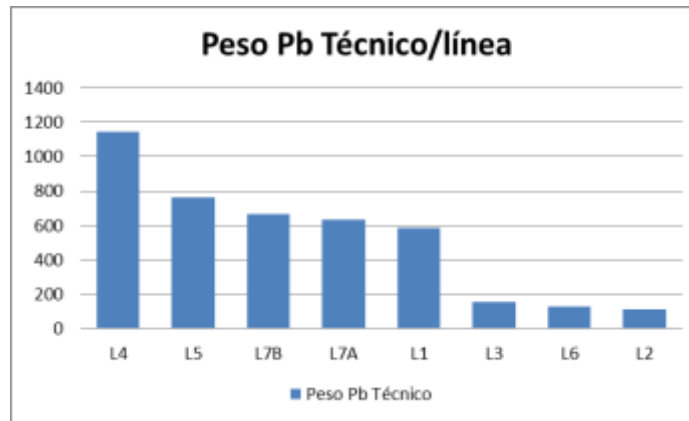
En segundo lugar, se va a realizar la propuesta de incluir en el procedimiento de trabajo del operario al menos una limpieza de los electrodos por turno con el objetivo de mantener la estabilidad del proceso. Tras la demostración y justificación de la Fase Mejorar, se ha establecido necesaria una limpieza al turno por parte del operario, por lo que se ha actualizado el documento AU-4003, que recoge por escrito todas las operaciones a realizar por parte del operario, incluyéndose en su procedimiento una limpieza con estropajo al iniciar su turno.

### 6.3.2. Control de las mejoras implementadas

En primer lugar, se va a realizar un cálculo del ahorro estimado que se obtendrá gracias a las mejoras implementadas. Para ello, se compararán los datos extraídos en la Fase Medir, extrapolados a un año de producción (FY22), con los datos obtenidos en el último mes tras la implementación de las mejoras y la actualización de los procedimientos.



**Figura 81. Diagrama de Pareto del número de baterías rechazadas en montaje por proyecciones en cada línea tras las mejoras (Fuente: Elaboración propia).**



**Figura 82. Diagrama de Pareto de la cantidad de plomo técnico rechazado en montaje por proyecciones en cada línea tras las mejoras (Fuente: Elaboración propia).**

A lo largo de este último mes, puede observarse como la relevancia de la línea 1 en cuanto a proyecciones se ha reducido con respecto al resto, más teniendo en cuenta que se trataba de la línea con más proyecciones antes de implementar las mejoras (Figura 17). Extrapolando esta reducción mensual (20 baterías, 585.5 kg de plomo) a un año completo, y teniendo en cuenta la diferencia de producciones entre un periodo medido y otro, es posible realizar el cálculo previsto de los ahorros a lo largo del próximo año:

		FY22	FY23
10 meses	Baterías L1	395	200
	Plomo L1 (kg)	12842,976	5855,87
	Producción	160433	170990
12 meses	Baterías L1	474	240
	Plomo L1 (kg)	15411,571	7027,044
	Producción	192519,6	205188
Plomo rechazado / batería producida		8,005%	3,425%
Reducción bruta		54,4%	
Reducción por producción		57,2%	
Precio plomo		2 €	
Coste Anual		25.686 €	11.712 €
Ahorro		13.974 €	

**Figura 83. Cálculo de los ahorros anuales de las mejoras implementadas (Fuente: Elaboración propia).**

En este caso, la reducción bruta corresponde a la calculada con el plomo técnico rechazado de los dos años, mientras que la reducción por producción si tiene en cuenta la cantidad de baterías, y se calcula a partir de la diferencia de plomo rechazado por batería producida de cada año, siendo ambas reducciones muy superiores a las establecidas como objetivo (Figura 19).

El potencial de este proyecto también reside es que se trata de un proyecto aplicable al resto de líneas (tanto de camión como de coche), aunque se debería dar prioridad a las líneas destinadas a camión, pues su coste de producción es mayor. Sin embargo, esta ampliación a las líneas 4 y 5 no podría llevarse a cabo hasta que no se realicen los correspondientes análisis realizados en la línea 1 para poder obtener valores de parámetros e influencia de los mismos, por lo que se deberá incluir en un plan de acción anual para dar continuidad al proyecto.

Este plan de acción para el próximo año incluye un seguimiento del proceso y el seguimiento del resultado de las mejoras a través de diferentes mediciones. También se ha planificado la implantación de la mejora sobre el orden de las soldaduras, la cual depende de un agente externo (el proveedor) y se debe consultar con él su realización.

PLAN DE ACCIÓN: SOLDADURA TTP	
Corto plazo (1 mes)	Consulta al proveedor sobre la posibilidad de ajustar el orden de las soldaduras
	Comprobar que se cumplen los nuevos protocolos de actuación
Medio plazo (6 meses)	Implementación de la mejora sobre el orden de las soldaduras
	Ampliar los estudios sobre proyecciones en el resto de líneas de camión (4 y 5) Nuevo DOE eliminando el factor del cabezal y sustituyéndolo por número de soldaduras
	Medición del nivel de proyecciones en la línea 1
Largo plazo (1 año)	Propuesta de un nuevo DOE con tres muestras y tres parámetros: intensidad, tiempo y número de soldaduras
	Aplicar las mejoras obtenidas en el resto de líneas de camión para obtener nuevos ahorros.

*Figura 84. Plan de acción anual sobre el proyecto de la máquina TTP (Fuente: Elaboración propia).*

#### 6.4. Conclusiones del proyecto

A lo largo de este proyecto se ha desarrollado en profundidad el proceso que se ha decidido mejorar (la soldadura TTP de las baterías), justificando las causas de su elección, y se ha analizado a partir de un Diseño de Experimentos con el que se ha obtenido información a partir de la cual establecer nuevos elementos de control con los que se han mejorado los resultados por encima del objetivo previamente marcado. Además, gracias a la Fase Definir que ha servido para conocer el proceso desde la base, se ha podido obtener otra mejora que también se puede extrapolar al resto de líneas de la misma área en el caso de que sea posible.

Este proyecto ha cumplido con las expectativas con las cuales se optó por realizar el mismo en colaboración con la empresa: poder formar al alumno en la realización de un proyecto completo y real en una empresa, además de poder conocer todo el funcionamiento de la misma, y poder ampliar los conocimientos sobre análisis de procesos y mejora de los mismos a partir de la metodología Six Sigma utilizada por la fábrica.

## 7. Bibliografía

- Anónimo. **'Standard TTP Booklet'** (Material de la empresa).
- Ernesto Ortiz y José Costas Gual. **'Lanzamiento de Six Sigma. La gestión de proyectos como factor clave de éxito'**. Revista Capital Humano, nº 195.
- Forrest W. Breyfogle III **'Implementing Six Sigma. Smarter Solutions Using Statistical Methods'**, 1999.
- Francisco Trinidad. **'Principios Teóricos de la batería de Plomo Ácido'** (Material de la empresa), 2013.
- José Francisco López. **'Coeficiente de determinación (R cuadrado)'**, Economipedia, 2017: <https://economipedia.com/definiciones/r-cuadrado-coeficiente-determinacion.html>
- José Francisco Lozano Martínez. **'Manual Lean Six Sigma'** (Material de la empresa), 2021.
- Miguel Ángel García Madurga. **'Six Sigma'**, Estudios Abiertos SEAS (Material de la empresa).
- Rita Koselka. **'The new mantra: MVT'**, revista FORBES, 11 marzo 1996.
- Thomas Pyzdek. **'The Six Sigma Handbook: Revised and Expanded'**, 2003.

## **II. PRESUPUESTO**



En este capítulo se incluyen todos los costes relativos a la realización de este proyecto, separados en las distintas etapas en las que se ha desarrollado el mismo. En cuanto a los costes relativos a la mano de obra, se ha tenido en cuenta el salario bruto real acordado para el periodo de prácticas a lo largo de las cuáles se ha desarrollado el proyecto (4,375 €/h) y el tiempo dedicado durante esta estancia exclusivamente al proyecto, incluyendo el desarrollo de este mismo documento, mientras que para el material informático cedido durante el periodo de prácticas (valorado en unos 1400€ aproximadamente), adquirido por la empresa en mayo de 2017, se le adjudica un periodo de amortización estimado de 8 años. Para los 220 días laborables, considerando una jornada de 8 horas al día, se obtiene un coste de amortización de unos 0,1 €/h. También se ha consultado el salario medio tanto de los dos operarios como del mecánico que estuvieron presentes durante la realización de todas las muestras, y el precio de los electrodos utilizados para el experimento. Este juego de electrodos está tasado en unos 105€.

**Tabla 4. Presupuesto para la elaboración del proyecto (Fuente: Elaboración propia).**

Nº	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
1	Definición	h	€/h	536.40 €
1.1	Autor TFG	120	4.375	525.00 €
1.1.1.	Reunión semanal con tutor	6	4.375	26.25 €
1.1.2.	Elaboración del proyecto	114	4.375	498.75 €
1.2	Material Informático	114	0.1	11.40 €
2	Medición	h	€/h	357.60 €
2.1	Autor TFG	80	4.375	350.00 €
2.1.1.	Reunión semanal con tutor	4	4.375	17.50 €
2.1.2.	Elaboración del proyecto	76	4.375	332.50 €
2.2	Material Informático	76	0.1	7.60 €
3	Análisis	h	€/h	981.60 €
3.1	Autor TFG	50	4.375	218.75 €
3.1.1.	Reunión semanal con tutor	2	4.375	8.75 €
3.1.2.	Elaboración de las muestras	10	4.375	43.75 €
3.1.3.	Elaboración del proyecto	38	4.375	166.25 €
3.2	Material Informático	38	0.1	3.80 €
3.3	Operario Línea	20	15.559	311.19 €
3.4	Mecánico	10	16.167	161.67 €
		Ud		
3.5	Juego Electrodo	2	105.5	211.00 €
3.6	Recipientes para muestras	16	4.7	75.20 €
4	Mejora	h	€/h	179.00 €
4.1	Autor TFG	40	4.375	175.00 €
4.1.1.	Reunión semanal con tutor	2	4.375	8.75 €
4.1.2.	Elaboración del proyecto	38	4.375	166.25 €
4.2	Material Informático	40	0.1	4.00 €
5	Control	h	€/h	179.00 €
5.1	Autor TFG	40	4.375	175.00 €
5.1.1.	Reunión semanal con tutor	2	4.375	8.75 €
5.1.2.	Elaboración del proyecto	38	4.375	166.25 €
5.2	Material Informático	40	0.1	4.00 €

En el presupuesto se incluye un desglose de las horas dedicadas a cada una de las etapas dentro de cada fase, entendiéndose por elaboración del proyecto las horas dedicadas a buscar la información

necesaria, a extraer conclusiones de esta y a elaborar la redacción de este documento. También se incluyen las horas utilizadas para la realización de las muestras por todos los implicados y las piezas utilizadas para la obtención de las mismas.

**Tabla 5. Presupuesto base de licitación del proyecto (Fuente: Elaboración propia).**

Nº PARTIDA	DESCRIPCIÓN	PRECIO
Partida 1	Definición	536.40 €
Partida 2	Medición	357.60 €
Partida 3	Análisis	981.60 €
Partida 4	Mejora	179.00 €
Partida 5	Control	179.00 €
Presupuesto ejecución material		2,233.60 €
Gastos Generales (13%)		290.37 €
Beneficio Industrial (6%)		134.02 €
Presupuesto de ejecución por contrata		2,657.99 €
IVA (21%)		558.18 €
Presupuesto base de licitación		3,216.17 €

Por lo que el presupuesto base de licitación del proyecto de “Análisis y mejora de procesos con la metodología Six Sigma para la reducción de desperdicios de producción en una fábrica de baterías de reposición” asciende a la cantidad de:

**TRES MIL DOSCIENTOS DIECISÉIS EUROS CON DIECISIETE CÉNTIMOS**