

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**MEJORA DEL TRATAMIENTO DE
PATENTADO EN ALAMBRES DE ACERO DE
MEDIO Y ALTO CARBONO**

Improvement of the patenting treatment of
medium and high carbon steel wire

Para acceder al Título de

Graduado/a en Ingeniería Química

Autor: Sandra Rasilla Fernández

FEBRERO 2015

AGRADECIMIENTOS:

Cuando un estudiante acaba sus estudios, posee unos conocimientos teóricos que ha ido adquiriendo durante los diferentes años de su carrera. Cuando estos conocimientos se ponen en práctica en circunstancias específicas, realmente se da cuenta que no toda la teoría puede ser seguida al pie de la letra. La capacidad para resolver problemas la da, sin duda alguna, la práctica; eso sí, basada y sustentada en unos conocimientos teóricos amplios. La posibilidad de contar con una empresa que te ayude y te enseñe la parte práctica, es lo ideal para la realización de un trabajo fiable.

Es por todo esto por lo que agradezco la oportunidad que me ha brindado la empresa **Trefilerías Quijano S.A.**, poniendo a mi disposición todos los conocimientos y personal técnico que me fueron necesarios durante el año que estuve a su disposición en período de prácticas.

Desde aquí me gustaría agradecer a todos los profesionales de la empresa que, de una u otra manera, me ayudaron en la realización de este proyecto fin de carrera, muy especialmente a *D^a. Marina Sáinz Baldor*, jefa del departamento de RRHH, por darme la oportunidad de realizar mis prácticas en la empresa y a *D. Luis Manuel Gutiérrez Martínez*, jefe del departamento de Control de Calidad, que fue quién me propuso el tema de este trabajo y sirvió de guía durante todo el desarrollo del mismo.

Agradecimientos también, a la empresa **Global Steel Wire**, a *D. Alberto González Cuenca* y *D. David Ruiz Ortiz*, por brindarme su ayuda, conocimientos y equipos necesarios para poder llevar a cabo este trabajo fin de grado. Y en especial, a mi tutor de este proyecto por parte de la universidad, *D. Antonio Dominguez Ramos*, con cuya experiencia y conocimientos pude contar siempre que fue necesario.

Y por último, gracias a mi familia y amigos, que me han apoyado en todo momento y siguen haciéndolo.

TÍTULO	MEJORA DEL TRATAMIENTO DE PATENTADO EN ALAMBRES DE ACERO DE MEDIO Y ALTO CARBONO		
AUTOR	SANDRA RASILLA FERNÁNDEZ		
DIRECTOR/CODIRECTOR	ANTONIO DOMÍNGUEZ RAMOS		
TITULACIÓN	<i>GRADO EN INGENIERIA QUÍMICA</i>	FECHA	27/02/2015

PLABRAS CLAVE

Patentado, Alambrón, Perlita, Sorbita

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Trefilerías Quijano se fabrican entre otros productos alambre de acero patentado derivado del alambrón [1]. Con el paso del tiempo este proceso ha ido sufriendo diferentes fenómenos de degradación, alejándose así las características del alambre de sus respectivos óptimos. En el contexto de la realización de prácticas académicas en la empresa, para afrontar este problema, se procedió a proponer como mejora del proceso de patentado la modificación de la temperatura de enfriamiento de la caldera de plomo de la instalación. Para ello, se realizó un seguimiento de la variación de la resistencia mecánica y estructura [2] de las distintas calidades de alambrón en función de las temperaturas de la caldera de plomo. De esta forma se corrigieron las temperaturas de enfriamiento hacia los respectivos puntos de transformación sorbítica ideales, con el fin de obtener una resistencia óptima del producto.

RESULTADOS

La variación sugerida para la variable de temperatura de enfriamiento del baño de plomo ha resultado exitosa. Debido a la modificación de las temperaturas superior e inferior en las dos zonas izquierda y derecha de la caldera de plomo ha sido posible una mejora en la resistencia mecánica estimada en 7,54% (de acuerdo a [3]) para aceros de calidades con contenidos en carbono de 0,83%C-0,85%. Para contenidos en carbono inferiores, no se ha obtenido ninguna evidencia fiable que demuestre la mejora, ya que el muestreo ha sido

insuficiente como consecuencia de que el cliente no ha solicitado el producto analizado una vez realizada la mejora en la temperatura de enfriamiento.

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones del presente trabajo fin de grado son las siguientes:

- Para la zona de enfriamiento derecha de la caldera de plomo se obtienen mejores resultados de formación de sorbita y de resistencia, al trabajar con una temperatura máxima menor y una temperatura mínima mayor.
- En el caso de la zona izquierda, se ha aumentado la temperatura superior e inferior, trabajando en rangos de temperatura más elevados para obtener un menor porcentaje de estructura acircular (bainita).
- En general, para diámetros grandes (8-9 mm) existe un aumento del porcentaje de perlita laminar, lo cual se relaciona con la temperatura del horno de austenización, la cual es demasiado baja. Por lo tanto, no llega a disolverse el carbono completamente en el centro del alambre.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Hormaechea. 1970. *“Tecnología del patentado y del recocido”* (descripción de los procesos de planta). Nueva Montaña (Santander).
- [2] Norma UNE-EN 10002-1: “Materiales metálicos. Ensayo de tracción. Parte 1: Método de ensayo (a la temperatura ambiente). Marzo, 1990.
- [3] Montgomery, Douglas, 3ª ed. *Control estadístico de la calidad*.

TITLE	IMPROVEMENT OF THE PATENTING TREATMENT OF MEDIUM AND HIGH CARBON STEEL WIRE		
AUTHOR	SANDRA RASILLA FERNÁNDEZ		
DIRECTOR/CO-DIRECTOR	ANTONIO DOMINGUEZ RAMOS		
CERTIFICATION	<i>CHEMICAL ENGINEERING DEGREE</i>	FECHA	27/02/2015

KEYWORDS

Patenting, Wire rod, Pearlite, Sorbite

SCOPE

At Trefilerías Quijano’s wire-drawing factory, among other products they manufacture patented steel wire from wire rod [1]. Due to the progressive decay of the facility, this process has undergone various phenomena of degradation, thus the characteristics of the wire has moved from their respective optimal value. In the context of an internship at the facility, to tackle this problem, it was proposed a patenting process improvement based on the modification of the cooling temperature in the lead boiler. In order to complete this improvement, tracking of the mechanical resistance variation and different qualities structure [2] for each wire rod quality according to the temperatures in the bulk of lead boiler. This way, cooling temperatures were rectified to the corresponding ideal sorbitic transformation points, in order to obtain an optimum strength of the product.

RESULTS

The changes suggested for the variable temperature of the lead boiler has been successful. Due to the modification of the upper and lower bond temperatures in the two sides (left and right) of the lead boiler, it was possible an improvement in the mechanical resistance to 7.54% estimated for quality steels with carbon contents above 0.83%C-0.85% [3]. Lower carbon contents it was not obtained any trusted evidence showing improvement, since sampling was insufficient

because of the client not to request the product analyzed after the improved cooling temperature.

CONCLUSIONS

The main conclusions of this project are:

- In the right cooling zone of the lead boiler, better results of sorbite and resistance were obtained by working with a lower maximum temperature and upper minimum temperature.
- In the case of the left side, the temperature upper and lower have been increased, working in higher temperature ranges for a lower percentage of non-circular structure (bainite).
- In general, in large diameters (8-9mm) there is an increased percentage of lamellar pearlite, which is related to the austenitizing furnace temperature, which is considered too low. Therefore, it seems to fail at the complete dissolution of the carbon in the center of the wire.

REFERENCES

- [1] J. Hormaechea. 1970. *“Tecnología del patentado y del recocido”* (description of the plant processes). Nueva Montaña (Santander).
- [2] Norma UNE-EN 10002-1: “Materiales metálicos. Ensayo de tracción. Parte 1: Método de ensayo (a la temperatura ambiente). Marzo, 1990.
- [3] Montgomery, Douglas, 3^a ed. *Control estadístico de la calidad*.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	8
1.1 BREVE HISTORIAL DE LA EMPRESA	8
1.2 PLANTEAMIENTO Y OBJETIVO DEL PROYECTO	8
2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO	10
2.1. RECEPCIÓN DEL ALAMBRÓN	10
2.2. DECAPE	11
2.3. TREFILADO DEL ALAMBRÓN	11
2.4. TRATAMIENTO TERMICO “PATENTADO”	12
2.5. TRATAMIENTO SUPERFICIAL “GALVANIZADO”	13
2.6. COMPACTADO	14
3. TRATAMIENTOS DEL ACERO	15
3.1 INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA DEL PATENTADO	15
3.2. OPERACIONES FUNDAMENTALES DEL PROCESO DE PATENTADO	16
— CALENTAMIENTO DEL ALAMBRE EN LOS HORNOS	16
— ENFRIAMIENTO BRUSCO MEDIANTE BAÑO DE PLOMO	18
3.3. CARACTERISTICAS METALURGICAS Y METALOGRAFICAS DE LOS ACEROS PATENTADOS AL PLOMO	19
3.3.1 MICROESTRUCTURAS HABITUALES EN LOS ACEROS PATENTADOS	20
3.3.2. DIAGRAMAS DE TRANSFORMACIÓN ISOTERMICA DE LA AUSTENITA	21
3.3.3. RELACIÓN ENTRE LA ESTRUCTURA METALOGRAFICA Y LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	21
3.3.4. INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN QUIMICA DEL METAL SOBRE LAS CARACTERISTICAS QUE SE OBTIENEN EN EL PATENTADO	23
3.4. PROBLEMAS MÁS COMUNES EN LA CALDERA DE LA INSTALACIÓN DE PATENTAR	25

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL	26
4.1 PRUEBAS MÉCANICAS	26
4.1.1 PROCESO DE PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS	26
4.1.2 ENSAYO DE TRACCIÓN A TEMPERATURA AMBIENTE	27
4.2 ANALISIS METALOGRAFICO	28
4.2.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA EN BAKELITA	28
4.2.2 ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA INTERNA	30
5. RESULTADOS OBTENIDOS	31
5.1. ESTUDIO DEL SEGUIMIENTO DEL PROCESO INICIAL	31
▪ GRUPO K53 - K70	34
▪ GRUPO K73 - K80	35
▪ GRUPO K83 - K85	35
5.2. ESTUDIO DEL SEGUIMIENTO DEL PROCESO MEJORADO	37
▪ GRUPO K53 - K70	39
▪ GRUPO K73-K80	40
▪ GRUPO K83-K85	41
5.3. COMPARACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURA INTERNA	42
6. CONCLUSIONES	44
7. BIBLIOGRAFIA	45
ANEXOS	
ANEXO I: SEGUIMIENTO INICIAL	47
ANEXO II: SEGUIMIENTO TRAS LA MEJORA	56
ANEXO III: ANALISIS METALOGRÁFICO INICIAL	60
ANEXO IV: ANALISIS METALOGRÁFICO TRAS LA MEJORA	65

LISTADO DE TABLAS	
Tabla 1.	Microestructuras habituales en aceros patentados
Tabla 2.	Contenidos límite en % de cada elemento
Tabla 3.	Problemas y soluciones para anomalías en la caldera de plomo
Tabla 4.	Resultados del control estadístico inicial en la caldera de plomo
Tabla 5.	Resultados del control estadístico inicial de la resistencia a tracción para el conjunto de las 3 calidades estudiadas previo a las mejoras introducidas
Tabla 6.	Resultados del control estadístico en la caldera de plomo tras la mejora introducida
Tabla 7.	Resultados del control estadístico de la resistencia a tracción tras la introducción de la mejora en la temperatura de la caldera de Pb
Tabla 8.	Resultados de la comparación de la resistencia a la tracción
Tabla 9.	Mediciones de las temperaturas del horno y caldera en la situación inicial
Tabla 10.	Resultados de los parámetros mecánicos para el grupo K53-K70 en la situación inicial
Tabla 11.	Resultados de los parámetros mecánicos para el grupo K73-K80 en la situación inicial
Tabla 12.	Resultados de los parámetros mecánicos para el grupo K83-K85 en la situación inicial
Tabla 13.	Mediciones de las temperaturas del horno y caldera
Tabla 14.	Resultados de los parámetros mecánicos para el grupo K53-K70
Tabla 15.	Resultados de los parámetros mecánicos para el grupo K73-K80
Tabla 16.	Resultados de los parámetros mecánicos para el grupo K83-K85
Tabla 17.	Resultados del análisis inicial metalográfico para el grupo K53
Tabla 18.	Resultados del análisis inicial metalográfico para el grupo K73
Tabla 19.	Resultados del análisis inicial metalográfico para el grupo K83
Tabla 20.	Resultados del análisis metalográfico para el grupo K53
Tabla 21.	Resultados del análisis metalográfico para el grupo K73
Tabla 22.	Resultados del análisis metalográfico para el grupo K83

LISTADO DE FIGURAS	
Figura 1.	Esquema del proceso productivo de la materia prima
Figura 2.	Rollos de alambón en el parque de Trefilerías Quijano
Figura 3.	Instalaciones de decape de TQ
Figura 4.	Máquina de trefilar en funcionamiento
Figura 5.	Esquema hilera-dado
Figura 6.	Horno de austenización
Figura 7.	Caldera de Pb
Figura 8.	Cubas de HCl
Figura 9.	Limpieza química de la superficie
Figura 10.	Salida del baño de Zn
Figura 11.	Recogida de alambre
Figura 12.	Rollo etiquetado
Figura 13.	Operación de compactado
Figura 14.	Perfil temperatura de las fases del patentado
Figura 15.	Acero laminado de 0,75 %C (1000X)
Figura 16.	Acero patentado de 0,75 %C (1000X)
Figura 17.	Estructura de un acero austenizado
Figura 18.	Austenita (5000 X).
Figura 19.	Red Fe ₃ C (1000X).
Figura 20.	Ferrita (5000X)
Figura 21.	Perlita (5000 X).
Figura 22.	22 Sorbita (1000x).
Figura 23.	Bainita (10000X).
Figura 24.	Curva de la S y constituyentes microscópicos resultantes de la transformación isotérmica de la austenita de un acero de 0,88%C.
Figura 25.	Variación de la temperatura del baño de Pb en la resistencia a la tracción de un acero de \varnothing 11 mm y 0,88%C.
Figura 26.	Curva de la S y constituyentes microscópicos resultantes de la transformación isotérmica de la austenita de un acero de 0,88%C.
Figura 27.	Variación de la temperatura del baño de Pb en la resistencia a la tracción de un acero de \varnothing 11 mm y 0,88%C.
Figura 28.	Muestra de alambón con su etiqueta al llegar al laboratorio
Figura 29.	Medición del cuello de estricción
Figura 30.	Medida de la longitud final
Figura 31.	Metodología para bakelitas: antes de la transformación, tras el llenado y después de la transformación de la bakelita en el horno
Figura 32.	Papeles de desbaste
Figura 33.	Pulidora de bakelitas automática
Figura 34.	Bakelitas pulidas
Figura 35.	Resistencias a tracción de K83- K85 y representación de los límites de control reales y teóricos.

LISTADO DE FIGURAS	
Figura 36.	Muestreo y representación de los límites de control para la zona derecha de la caldera
Figura 37.	Muestreo y representación de los límites de control para la zona izquierda de la caldera
Figura 38.	Resistencias a tracción de K53- K70 y representación de los límites de control reales y teóricos
Figura 39.	Resistencias a tracción de K73- K80 y representación de los límites de control reales y teóricos.
Figura 40.	Resistencias a tracción de K83- K85 y representación de los límites de control reales y teóricos.
Figura 41.	Resistencias a tracción de K83- K85 y representación de los límites de control reales y teóricos.
Figura 42.	Muestreo y representación de los límites de control para la zona derecha de la caldera
Figura 43.	Muestreo y representación de los límites de control para la zona izquierda de la caldera
Figura 44.	Resistencias a tracción de K53- K70 y representación de los límites de control reales y teóricos
Figura 45.	Resistencias a tracción de K73- K80 y representación de los límites de control reales y teóricos.
Figura 46.	Estructura interna 2654071, K83 Ø5,5mm a 489°C (x1000) zona I
Figura 47.	Estructura interna 2684824, K83 Ø5,5mm a 499°C (x1000) zona I
Figura 48.	Estructura interna 2651999, K83 Ø6mm a 489°C (x1000) zona I
Figura 49.	Estructura interna 2692855, K83 Ø6mm a 500°C (x1000) zona I
Figura 50.	Estructura interna 2652801, K83 Ø7mm a 502°C (x1000) zona D
Figura 51.	Estructura interna 2688711, K83 Ø7mm a 477°C (x1000) zona D
Figura 52.	Estructura interna 2664667, K83 Ø8mm a 488°C (x1000) zona D
Figura 53.	Estructura interna 2692902, K83 Ø8mm a 477°C (x1000) zona D

1. INTRODUCCIÓN

1.1. BREVE HISTORIAL DE LA EMPRESA

Trefilerías Quijano S. A., es la heredera de aquel taller de puntas que en 1873 creara D. José María Quijano en Los Corrales de Buelna. En etapas sucesivas se fue integrando en la fabricación de alambre y posteriormente en la de alambrón. Paso a paso fue situándose, a la cabeza del mercado mundial del alambre. En 1988 la Compañía se divide en dos entidades separadas, una para la fabricación del alambrón, GSW, y la otra, Trefilerías Quijano, fabricando alambres de acero, cordones y derivados del alambre. Después de más de 140 años, ha conseguido un lugar líder en el mercado español y en el mercado internacional y ha mantenido a través de los años un esfuerzo continuo de superación, obteniendo en 1995 la certificación de que su Sistema de Aseguramiento de la Calidad está conforme con la Norma ISO 9001, así como fabricando los alambres de acero de acuerdo a todas las normas internacionales (DIN, BS, UNE, ASTM...).[6][8]

1.2. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVO DEL PROYECTO

En Trefilerías Quijano se fabrica alambre de acero con distintos tratamientos térmicos (patentado, recocido...) dependiendo de las características del producto que exige el cliente. Desde 1970, la instalación consta de un horno de austenización donde se lleva a cabo el patentado del alambrón con el fin de mejorar su capacidad de trefilado y dureza. Sin embargo, con el paso del tiempo este proceso ha ido sufriendo diferentes fenómenos de degradación, alejándose así las características del alambre de sus respectivos óptimos.

El objetivo del presente trabajo fin de grado es mejorar la calidad del alambrón obtenido, acercando el proceso a un funcionamiento cercano al ideal a través de modificaciones en las condiciones de proceso, con el propósito final de obtener un producto de mayor calidad que el que se obtiene actualmente. Dicha mejora se obtendrá mediante un seguimiento de la variación de la resistencia y estructura de las distintas calidades de alambrón en función de las temperaturas de enfriamiento en la caldera de plomo, de tal forma que se varíen las temperaturas hacía los respectivos

puntos de transformación sorbítica ideales, con el fin de obtener una resistencia óptima del producto. En consecuencia, el presente trabajo fin de carrera presenta una breve descripción del proceso productivo en el apartado 2. En segundo lugar se presenta una descripción de los tratamientos térmicos del acero que se realizan en la factoría de Los Corrales de Buena en el apartado 3. Una vez se describen los tratamientos del acero, se detalla la metodología seguida para el análisis de la variación de resistencia y estructura de los productos de diferentes calidades en el apartado 4. En el apartado 5 se describen los resultados obtenidos, mostrando como la variación sugerida para las variables de temperaturas de enfriamiento en la caldera de plomo ha resultado exitosa en la consecución del objetivo propuesto.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

Desde que es recibido el alambρόn en Trefilerías Quijano procedente del tren de laminación de Global Steel Wire, en Santander, hasta que sale de la fábrica con destino al cliente, éste atraviesa una serie de fases durante el proceso productivo hasta conseguir el alambre de acero para: cribas, Muelles Técnicos Grises y Galvanizados, cables de comunicación y de uso agrícola... La Figura 1 muestra un esquema del proceso de fabricación. A continuación se describe con más detalle cada una de las operaciones del proceso.

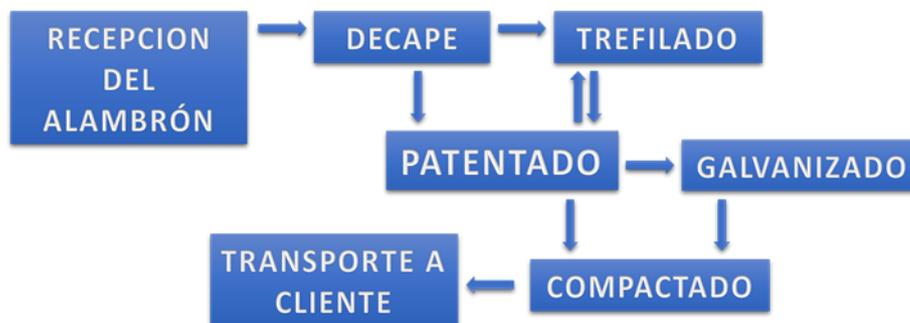


Figura 1. Esquema del proceso productivo de la materia prima

2.1. RECEPCIÓN DEL ALAMBRÓN

El alambρόn de acero llega a Trefilerías Quijano en forma de rollos procedentes de Global Steel Wire donde han sido laminados. Estos rollos vienen identificados mediante una etiqueta. Una vez en Trefilerías Quijano, se introducen en el sistema informático trasladando todos los datos. Después de identificarlos se les asigna una de las zonas en las que se divide el parque (Figura 2) de Trefilerías Quijano y se almacenan allí mientras esperan su paso al decape.



Figura 2. Rollos de alambρόn en el parque de Trefilerías Quijano

2.2. DECAPE

Cada rollo se carga en el comienzo de la línea de decapado (Figura 3) y se introduce en el sistema informático de la línea el proceso de decape que lleva. En este caso, el alambón que va a ser patentado, llevará el tratamiento de decapado de la línea 2, sin desengrase.



Figura 3. Instalaciones de decape de TQ

El principal objetivo de este baño es el de eliminar la capa de óxidos que recubren el alambón y que procede de los procesos de laminación. Esta capa es dura, frágil y con un alto coeficiente de rozamiento entre otras superficies metálicas. Este baño de decapado está compuesto de tres elementos principalmente:

- **Sustancia decapante:** el HCl tiene un efecto de desprendimiento por presión de la cascarilla mediante la formación de H_2 que se forma en el interior de las grietas.
- **Inhibidores de la acción del ácido sobre el metal:** disminuyen el consumo de ácido, evitan el sobredecapado.
- **Agentes espumantes:** se han usado con el objetivo de reducir humos, pérdidas de ácido y disminuir la evolución de vapor.

2.3. TREFILADO DEL ALAMBRÓN

El trefilado (Figura 4) es un mecanismo de endurecimiento por deformación en frío el cual consiste en estirar el alambón que sale del decape. Se realiza a temperatura ambiente, para mejorar la aptitud que éste presenta a su paso a través de las hileras (Figura 5). En cada uno de los pasos se va reduciendo la sección del alambre.



Figura 4. Máquina de trefilar en funcionamiento

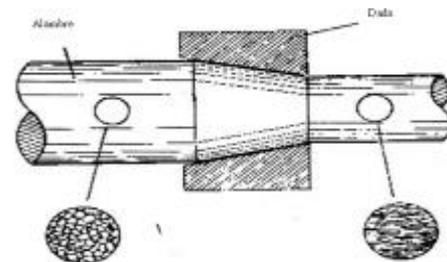


Figura 5. Esquema hilera-dado

El acabado superficial que ha recibido el alambón en el proceso de decape ayuda al trefilado. En esta etapa, el alambre se refrigera al aire reuniéndose en bobinas; en las hileras se añaden jabones para que no se produzcan tensiones superficiales o grietas. Una vez trefilado el alambón, se recogerá en carretes.

2.4. TRATAMIENTO TÉRMICO “PATENTADO”

En Trefilerías Quijano, el tratamiento térmico que se lleva a cabo es el **patentado** en continuo. Desenrollando el alambón de las bobinas, que provienen del decape o de un trefilado anterior, se



Figura 6. Horno de austenización

hace pasar a través de un horno de calentamiento denominado **horno de austenización** (Figura 6). El alambón se calienta continuamente a una temperatura entre 800-1050 °C, dicha temperatura varía en función del diámetro de alambón que se introduzca en él. El horno de austenización es un conjunto de 4 hornos en serie alimentados de gas natural, cada uno a distintas temperaturas, donde en uno de ellos la temperatura tiene que ser superior a la de austenización (895 °C). El alambre circula con una velocidad constante en todas las fases del horno.

La etapa de calentamiento está seguida de un enfriamiento brusco destinado a producir una estructura perlítica y homogénea denominada **sorbita**, estructura óptima para generar las mejores propiedades mecánicas y lograr una mayor deformación en frío. El enfriamiento se lleva a cabo en una caldera de plomo (Pb) (Figura 7) recubierta por vermiculita mantenido a una temperatura entre 450-600 °C, para propiciar una

transformación isotérmica que produzca sorbita. La caldera de Pb está provista de un rodillo sumergidor, en cada uno de sus extremos, para mantener el hilo por debajo de la superficie del Pb. Al finalizar este tratamiento térmico, el alambre se decapa en unas cubas de HCl (Figura 8), para eliminar toda la cascarilla producida en el tratamiento térmico. Dicha cascarilla se elimina, decapando el alambre ya patentado de forma continua, en unas cubas de HCl a una temperatura entre 45-55 °C.



Figura 7. Caldera de Pb



Figura 8. Cubas de HCl

Una vez decapado se bobina (Figura 11), para un posterior trefilado o directamente para el compactado del rollo. Dependiendo de las exigencias del cliente, si quiere un alambre que pueda combatir la corrosión, el alambón decapado pasa directamente al tratamiento superficial denominado **galvanizado** (ver 2.5), una vez galvanizado se bobina paulatinamente.

2.5. TRATAMIENTO SUPERFICIAL “GALVANIZADO”

En Trefilerías Quijano se lleva a cabo una galvanización en caliente, se trata de un procedimiento electroquímico por el cual se puede cubrir un metal con otro, mediante el cual se evita la oxidación. En esencia, consiste en sumergir el alambón



Figura 9. Limpieza química de la superficie

de superficie químicamente limpia (Figura 9), en un baño de zinc (Zn) fundido (440-460 °C), que reacciona con el hierro y forma un recubrimiento. La superficie del baño del Zn está cubierta por una pequeña capa de vermiculita, por donde pasa el alambre al tiempo que entra en el baño de Zn.

Este apartado es opcional dependiendo de las exigencias del cliente, ya que no todo proceso patentado tiene que ser galvanizado. El alambón antes de ser galvanizado

tiene que pasar por un proceso de preparación de la superficie, después de la eliminación de la cascarilla, y se introduce el alambón a una cuba con una sustancia llamada mordiente (sal doble de cloruro de zinc y amonio), para que el Zn se deposite correctamente en la superficie, eliminar los restos de óxidos y prevenir que otros óxidos se formen en la superficie del metal antes de ser galvanizado. Sobre la superficie de salida del baño de Zn (Figura 10), se encuentra depositado finas partículas de carbón, para mejorar la adherencia del Zn al acero. El alambón pasa por un circuito de secado al aire mientras se va enrollando en la bobina. En esta figura 11, se observa la recogida en forma de bobinas tanto del alambre patentado como el galvanizado.



Figura 10. Salida del baño de Zn



Figura 11. Recogida de alambre

2.6. COMPACTADO

Los rollos son empaquetados e identificados mediante etiquetas como muestra la figura 12. Cada rollo de 2,5 Tn se puede dividir en 2 o 3 iguales, cada rollo es compactado (Figura 13) en la compactadora y es flejado. De allí pasará directamente al camión para su transporte.



Figura 12. Rollo etiquetado



Figura 13. Operación de compactado

3. TRATAMIENTOS TÉRMICOS DEL ACERO

El tratamiento térmico (Figura 14) es una combinación de operaciones que comprenden el calentamiento o enfriamiento del metal, con el fin de mejorar algunas propiedades, en relación con la condición original del material. Los propósitos generales del tratamiento térmico son: afino de grano, eliminación de tensiones internas, homogeneización de las estructuras de moldeo y cambio de estructura. En el presente caso se desea obtener una estructura perlítica fina denominada **sorbita**.

3.1. INTRODUCCIÓN AL PATENTADO

El trefilado modifica las características del alambre de tal manera que llega un momento (después de una determinada reducción) en que no puede continuarse. Para continuar, el alambre debe ser tratado térmicamente mediante el tratamiento térmico denominado **patentado** (Figura 14), para obtener una mejora en la maleabilidad y ductilidad por transformación de su estructura metalográfica. El proceso consiste en calentar el alambre a una temperatura comprendida entre los 850 °C y los 1050 °C, denominada **temperatura de austenización**, enfriándolo a continuación bruscamente en un baño de plomo entre 450°C y 600°C.

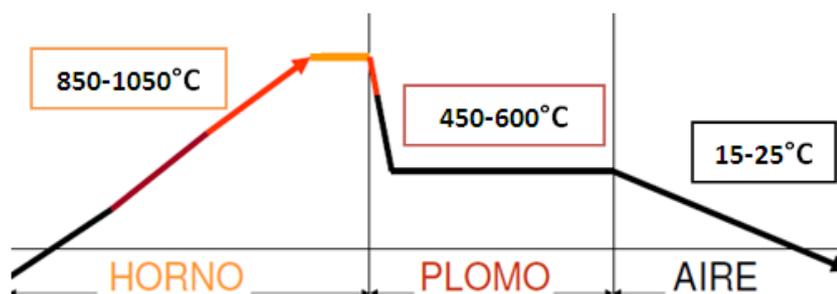


Figura 14. Perfil temperatura de las fases del patentado

El **patentado** tiene por objeto generar una estructura interna del alambre la cual permita aumentar la capacidad de trefilado sin llegar al punto en el que la fragilidad del material impida seguir estirándolo. Cuando casi se alcance dicho punto, el tratamiento térmico puede volver a repetirse. Y así, alternando los trefilados y los patentados, un acero duro puede ser reducido de sección tanto cuanto se desee. La estructura microscópica resultante tras el tratamiento térmico, se transforma en una

estructura más homogénea llamada **sorbita**, en la que el carbono se distribuye en forma de finísimas láminas de Fe_3C . [1][3]

3.2. OPERACIONES FUNDAMENTALES EN EL PROCESO DE PATENTADO

El patentado se utiliza para tratar térmicamente todos los aceros con porcentajes de carbono comprendidos entre 0,3% y 0,9%. Está compuesto por 2 operaciones fundamentales: calentamiento del alambre en los hornos y enfriamiento brusco en Pb.

— CALENTAMIENTO DEL ALAMBRE EN LOS HORNOS

Entre los factores que influyen el calentamiento del alambre en los hornos es posible destacar los 3 siguientes:

- **La velocidad de transferencia del calor por el horno al alambre:** la velocidad de transferencia varía en función de:
 - **La temperatura del horno:** cuanto mayor sea la temperatura en los hornos, más rápido será el calentamiento. El alambre alcanzará aproximadamente 50 °C por debajo de la temperatura del horno.
 - **El contenido en carbono:** Si el acero que atraviesa los hornos es más rico en carbono, los hornos necesitarán menos temperatura.
 - **La capacidad de absorción de calor que posea la superficie**
 - **El diámetro del alambre:** Cuanto más grande sea el diámetro del alambre, el calentamiento será más lento y por lo tanto el tiempo de calentamiento del hilo será menor cuanto menor sea el grosor de éste.

Esto nos lleva a la conclusión de que la velocidad de calentamiento es inversamente proporcional al diámetro del hilo. Requerirá menor velocidad de paso un diámetro del alambre mayor, que uno menor.

- **El tiempo de permanencia del alambre en el horno:** deberá ser determinado experimentalmente para cada horno. Se determinan las diferentes resistencias a la tracción del alambre variando la velocidad de paso. Cuanto mayor sea la velocidad, menor será la resistencia del alambre. Al ir disminuyendo la velocidad de paso, la resistencia a tracción aumentará, hasta un máximo a partir del cual al seguir disminuyendo la velocidad comenzará a disminuir lentamente la resistencia debido a que el tamaño de grano del alambre se va haciendo cada vez más grande. Esa

velocidad de paso a la cual la resistencia del alambre es la mayor es precisamente la máxima velocidad permisible. Finalmente, este método se completa con un estudio metalográfico con el fin de comprobar si quedaban carburos en forma de láminas gruesas sin disolver, en cuyas circunstancias la velocidad de paso debería ser disminuida.

– **Cálculo de la velocidad en función del diámetro del alambre:**

Las velocidades para los restantes diámetros se estiman mediante la expresión:

$$K=dv \quad (ec.1)$$

Donde K es un parámetro constante del horno de austenización, D es diámetro del hilo (mm) y v es la velocidad de paso (mm/min).

Sin embargo, existen ciertas limitaciones para esta expresión (ec.1).

– Cuando se alcanza la máxima capacidad del horno:

$$R= 0,37 D^2 v \quad (ec.2)$$

Siendo R el rendimiento del Horno en kg/h.

– Cuando el diámetro del hilo es muy pequeño: hay que tender a velocidades de paso más pequeñas y reducir la temperatura del horno para evitar sobrecalentamientos.

En el caso actual, para realizar estos cálculos suponemos que la velocidad de absorción de calor por superficie del alambre es $60 \frac{mm^2}{min}$. El procedimiento de calentamiento empleado se basa en elevar lo más rápidamente posible la temperatura del hilo y mantenerle a la máxima temperatura, estable al menos durante la última cuarta parte del horno.

- **La sección transversal del alambre:** El calor que atraviesa la superficie en dirección a el núcleo del hilo necesita un tiempo, que será mayor cuanto mayor sea el radio (y a su vez el diámetro) para conseguir una homogenización de la estructura. Para un correcto calentamiento, cuanto más grueso sea el alambre, menor deberá ser la velocidad de paso. En los alambres de mucha sección transversal existe el peligro de que la temperatura de sus capas superficiales sea muy superior a las centrales, ya que el tiempo de calentamiento puede ser escaso y no homogenizarse

totalmente, con lo que las estructuras metalográficas y las características mecánicas serán distintas en la parte externa y en el núcleo. [1]

— ENFRIAMIENTO BRUSCO MEDIANTE BAÑO DE PLOMO

Durante el calentamiento en el horno, el carbono se distribuye entre el Fe en forma de solución sólida. Cuando tiene lugar el enfriamiento, el carbono se separa en láminas de Fe_3C . Durante el patentado tiene lugar un enfriamiento brusco a una temperatura constante inmediatamente después de salir el alambre caliente (por encima de los 850 °C) del horno. El objeto de este enfriamiento es controlar lo mejor posible la separación del carbono en láminas finísimas. Con este procedimiento, la resistencia a la tracción del alambre tratado puede ser variada a voluntad cambiando la temperatura del baño de Pb. El tiempo de permanencia dentro del Pb ha de ser el necesario para que los carburos disueltos en el Fe salgan de la solución y se concentren en finísimas láminas; es necesario que la caldera tenga la longitud suficiente para que el hilo permanezca dentro de ella el tiempo que sea necesario.

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL ENFRIAMIENTO:

Los 3 factores por los que se ve influida la caldera de plomo fundido son los siguientes:

- **Capacidad de enfriamiento de la caldera:** mayor cuanto más grande sea la masa de Pb y más baja la temperatura.
- **Tiempo de inmersión:** influye en que se homogenice mejor o peor la estructura del material patentado.
- **Sección transversal el hilo:** Cuanto mayor sea la sección transversal, el núcleo tardará en enfriarse más que las capas superficiales, con lo que las estructuras obtenidas no serán las mismas en todos los puntos de su sección transversal. [1]

3.3. CARACTERÍSTICAS METALÚRGICAS Y METALGRÁFICAS DE LOS ACEROS PATENTADOS AL PLOMO

El C se encuentra en el acero, en forma de Fe_3C . Este compuesto tiene elevada dureza, una gran fragilidad y muy poca ductilidad. En el laminado forma láminas gruesas y grandes de Fe_3C , (Figura 15). Cuando se pretende deformar por trefilado se vuelve frágil después de 1o 2 pasadas. El patentado cambia la microestructura del acero laminado en otra que ya puede ser trefilada a través de seis o más hileras sin que aparezca la fragilidad (Figura 16).



Figura 15. Acero laminado de 0,75 %C (1000X)



Figura 16. Acero patentado de 0,75 %C (1000X)



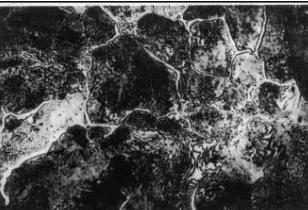
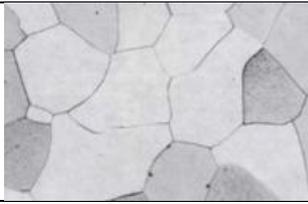
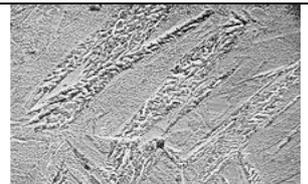
Figura 17. Estructura de un acero austenizado

En la primera parte del proceso de patentado, el alambre se calienta a una temperatura por encima de los 870 °C. A esta temperatura la Fe_3C se disuelve por todo el hierro en forma de solución sólida denominada austenita (Figura 17). El tamaño del grano depende de la temperatura a la que haya sido calentado. Este proceso por el cual el carbono se distribuye homogéneamente por toda la masa de Fe se le denomina **austenización**. Al producirse el enfriamiento vuelven a aparecer las láminas de Fe_3C . Cuanto más baja sea la temperatura de enfriamiento, más finas y delgadas serán las láminas de Fe_3C (Figura 16). [1]

3.3.1. MICROESTRUCTURAS HABITUALES EN LOS ACEROS PATENTADOS

Las microestructuras [5] habituales en aceros patentados son las siguientes:

Tabla 1. Microestructuras habituales en aceros patentados

ESTRUCTURA	OTROS	MICROESTRUCTURA
AUSTENITA	Solución Solida de C en Fe _γ	No se puede apreciar en nuestro estudio ya que se obtiene a 910-1400 °C
 Figura 18. Austenita (5000 X).		
CEMENTITA	Compuesto intermetálico (Fe ₃ C), (6,67%C y 93,3%Fe)	Constituyente más duro y quebradizo.
 Figura 19. Red Fe ₃ C (1000X).		
 Figura 20. Ferrita (5000X).		
PERLITA	Microconstituyente eutectoide (Ferrita+Fe ₃ C)	Láminas de Fe ₃ C en espacio de Ferrita
 Figura 21. Perlita (5000 X).		
SORBITA	Agregado de Fe _α y Fe ₃ C	Estructura poco definida (perlita de grano muy fino).
 Figura.22 Sorbita (1000x).		
BAINITA	Agregado de Fe ₃ C y ferrita	Acircular (agujas de Fe ₃ C) en una matriz ferrítica.
 Figura 23. Bainita (10000X).		

3.3.2. DIAGRAMAS DE TRANSFORMACIÓN ISOTERMICA DE LA AUSTENITA

La Curva S o diagrama TTT de los aceros dependen de la composición en carbono y en aleantes. En la figura 24, las dos líneas gruesas señalan para una misma temperatura el principio y el final de la transformación.

- A unos 700 °C las placas de Fe₃C son gruesas y la dureza es baja. Si la temperatura desciende las láminas son más finas y el acero es más duro.
- La transformación más rápida tiene lugar a los 550 °C. A esta temperatura las láminas de Fe₃C son muy finas, esta perlita muy fina se denomina sorbita. Esta estructura es la óptima para el trefilado y la que se busca obtener siempre en el patentado.

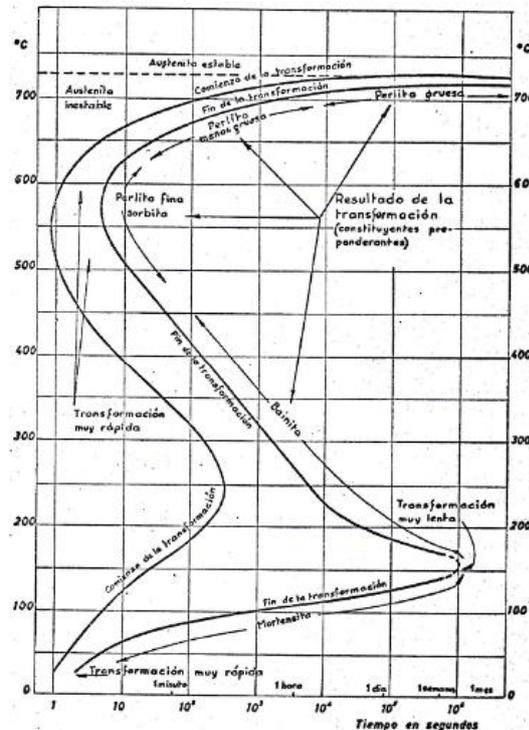


Figura 24. Curva de la S y constituyentes microscópicos resultantes de la transformación isotérmica de la austenita de un acero de 0,88%C.

- Por debajo de los 500 °C la transformación vuelve a ser más lenta y comienza a formarse bainita (en mayor proporción cuanto más baja sea la temperatura). Esta estructura no es recomendable para el trefilado por su baja ductilidad.

3.3.3. RELACIÓN ENTRE LA ESTRUCTURA METALGRÁFICA Y LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Las láminas de Fe₃C, que son muy finas, pueden ser dobladas sin que se rompan, mientras que en el material que ha sido patentado, las láminas de carburo son muy finas, razón por la cual ese material puede ser estirado con relativa facilidad. Cuanto mayor es la fineza de las láminas, mayor será la resistencia del material y mayor será su ductilidad. A una temperatura constante de Pb, la resistencia aumenta al elevarse el contenido en C. En cambio, para el mismo %C, la resistencia varía con la temperatura

del Pb en forma tal que la máxima resistencia se obtiene a una determinada temperatura para cada calidad de alambre. De acuerdo a la figura 25, se tiene que si la temperatura del baño desciende por debajo de la óptima, la resistencia desciende, aunque comienza a aumentar a temperaturas del Pb muy bajas donde se forman unas estructuras muy duras y que no pueden ser trefiladas. A temperaturas del Pb por encima de la óptima, la resistencia del alambre va disminuyendo a medida que la temperatura del baño aumenta. [1]

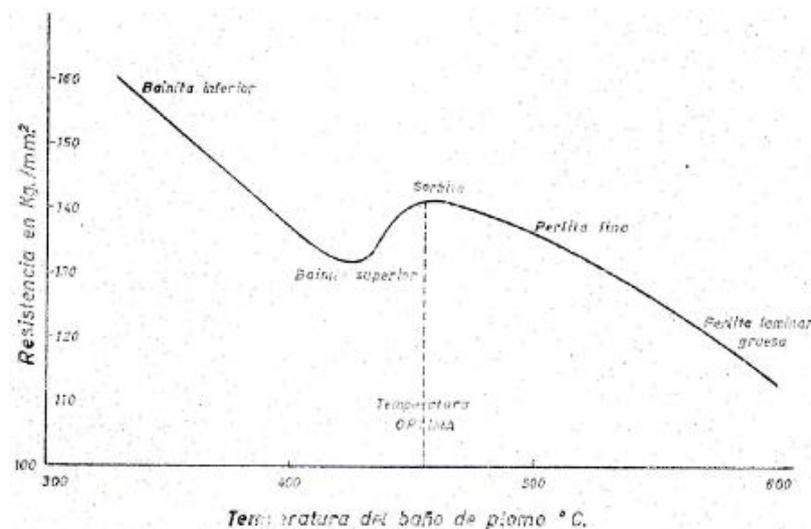


Figura 25. Variación de la temperatura del baño de Pb en la resistencia a la tracción de un acero de Ø11 mm y 0,88%C.

Solamente variará la situación en el punto de inflexión correspondiente a la temperatura de Pb óptima, a la cual se debe patentar para conseguir la mejor aptitud de trefilado y la resistencia a la rotura más elevada. En general, la situación del punto de inflexión (T óptima), estará más o menos desplazada hacia temperaturas de baño bajas en función de los diámetros de hilo gruesos y la disminución del porcentaje de Mn. La principal razón por la que varía la resistencia después del tratamiento con el mismo porcentaje de C, es la variación en la distancia entre las láminas de Fe₃C. Dicho espacio depende de la temperatura a la que tiene lugar la transformación ya que esta temperatura es fundamental para la difusión del carbono y manganeso en el Fe. Para variar la resistencia con la temperatura de plomo podemos considerar la expresión de la resistencia óptima donde

$$\text{Resistencia óptima} = 34 + (110 \cdot \%C) + (15 \cdot \%Mn) \quad (\text{ec. 3})$$

Ya que 10 °C de temperatura de plomo varían 1-2 Kg/mm² la resistencia. [1]

3.3.4. INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL METAL SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS QUE SE OBTIENEN EN EL PATENTADO

Los **elementos aleantes** no tienen un tanto por ciento fijo, sino que varían para adaptarse al uso del producto acabado, siendo este inferior al estipulado en la UNE-EN 10020 (Tabla 2) ya que se consideraría acero aleado. A continuación se describe por qué se emplean estos elementos, así como las propiedades que cada uno transmite.

- **Aluminio:** con este elemento se consigue afinar el grano, pues se forman partículas de alúmina que mejoran la resistencia a la corrosión.
- **Cromo:** forma unos carburos que sirven para aumentar: la dureza, la resistencia a la tracción, el límite elástico, la resistencia al desgaste, la inoxidableidad...
- **Molibdeno:** aumenta la dureza, la resistencia a la tracción, el límite elástico, manteniendo los mismos valores a temperaturas relativamente elevadas.
- **Níquel:** es el principal formador de austenita, que aumenta la tenacidad y resistencia al impacto. Evita el crecimiento del grano en los tratamientos térmicos, hace que los tratamientos puedan hacerse a temperaturas ligeramente más bajas. Aumenta considerablemente la resistencia a la corrosión.
- **Silicio:** aumenta la resistencia a tracción, al desgaste y la temperatura crítica interior utilizada en los tratamientos térmicos.
- **Nitrógeno:** se agrega a algunos aceros para promover la formación de austenita.
- **Manganeso:** se añade para neutralizar la influencia del S y del O₂, que suelen contener los aceros en estado líquido en los hornos. Actúa también como desoxidante y evita que en la solidificación del acero que se desprendan gases que den lugar a porosidades. El manganeso aumenta la templabilidad de los aceros desplazando levemente la curva "S" hacia la derecha, hace que el tratamiento pueda hacerse a temperaturas más bajas. Además aumenta la resistencia a la tracción, al desgaste y eleva su límite elástico.

Se denomina impurezas a todos los elementos indeseables en la composición de los aceros. En los casos en los que eliminarlas resulte imposible o costoso, se admite su presencia en cantidades mínimas. Es posible destacar el fósforo, cuyo límite máximo aproximado es 0,04%. Al disolverse en la ferrita se forma FeP, junto con la austenita y la Fe₃C, forma esteadita, el que es sumamente frágil y transmitiéndole al material su fragilidad. También se considera el azufre, cuyo límite máximo aproximado es 0,04%. Al disolverse en Fe forma sulfuro, que con la austenita, da lugar a un eutéctico cuyo punto de fusión es bajo y que, se produce el desgranamiento del material. [4]

Tabla. 2. Contenidos límite en % de cada elemento

% límite para clasificación de aceros	
ELEMENTOS	%
Aluminio	0,1
Bismuto	0,1
Boro	0,0008
Circonio	0,1
Cobalto	0,1
Cobre	0,4
Cromo	0,3
Manganeso	1,6
Molibdeno	0,08
Niobio	0,05
Niquel	0,3
Plomo	0,4
Selenio	0,1
Silicio	0,5
Telurio	0,1
Titanio	0,05
Vanadio	0,1
Wolframio	0,1
Lantánidos	0,05
Otros (excepto C, P, N y O)	0,05

3.4. PROBLEMAS MÁS COMUNES EN LA CALDERA DE LA INSTALACIÓN DE PATENTAR

Como se ha descrito anteriormente, la resistencia se ve afectada independientemente de la naturaleza de la colada por el enfriamiento en el baño de plomo. Es necesario indicar en qué situaciones podemos obtener un producto no conforme, anomalías en sus características mecánicas o un fallo en el proceso. Dichas situaciones se detallan a continuación:

Tabla 3. Problemas y soluciones para anomalías en la caldera de plomo

PROBLEMAS	CONSECUENCIAS	POSIBLE SOLUCIÓN
Subida de la temperatura de plomo	<ul style="list-style-type: none"> - Cambios en la estructura del alambre (PL) y cambio en las características mecánicas. - Oxidación mayor del plomo (aumento del coste). 	<ul style="list-style-type: none"> - Revisar válvulas y mechero. - Revisar sistema refrigerador.
Bajada de la temperatura del plomo	<ul style="list-style-type: none"> - Cambios en la estructura del alambre (estructura bainítica) y cambio en las características mecánicas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Revisar válvulas, mechero pirómetro, sistema de calentamiento. - Revisar, sustituir o mejorar el aislamiento.
Arrastre de Pb debido a la oxidación	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de consumo, inconvenientes para efectuar el decapado y galvanizado. - Mal aspecto exterior. 	<ul style="list-style-type: none"> - Comprobar el estado de los rodillos y nivel de la caldera. - Inspeccionar y corregir el estado de la arena.
Poca profundidad de sumergido de los rodillos	<ul style="list-style-type: none"> - Arrastre de plomo. - Mal enfriamiento y consiguiente mala estructura del alambre (PL) y fallos en las características mecánicas. - Roturas y rallado del alambre. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sumergirlos bien o rellenar la caldera si estuviera baja de nivel. - Cambiar los rodillos si fuera preciso.

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para poder comprobar el efecto de la variación de las diferentes temperaturas en la calidad del producto final se evaluaron diferentes propiedades de tipo mecánico y estructural, cuya medición se describe a continuación:

4.1 PRUEBAS MÉCÁNICAS

Las pruebas mecánicas han sido realizadas en el laboratorio de Trefilerías Quijano, contando con la colaboración de personal cualificado para la realización de los diferentes ensayos.

4.1.1 PROCESO DE PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Toma de muestra: la muestra (Figura 26) se corta con unas tijeras en el momento que éste es desflejado. Una vez cortada se etiqueta para su identificación posterior y se almacena hasta el momento en que vaya a ser manipulada.



Figura 26. Muestra de alambroón con su etiqueta al llegar al laboratorio

- **Calibrado de la muestra:** consiste en medir el diámetro de la sección de la muestra. Para ello, se utiliza un micrómetro de escala de medición 0-25 mm, con una precisión de $\pm 0,01$ mm. Una vez medido el diámetro se verifica que está dentro de las tolerancias de fabricación.
- **Enderezado:** la muestra proviene de un rollo de alambroón tiene una forma curva, por lo que para su manipulación y ensayo ha de encontrarse lo más recta posible, procurando que no sufra modificaciones en cuanto a su acritud.
- **Preparación de la superficie de la muestra:** la mayoría del material patentado en Trefilerías Quijano es galvanizado, por lo que el recubrimiento de Zn, puede provocar un deslizamiento de la muestra en la mordaza. Para evitar esto, se sumergen los extremos de la muestra en HCl para eliminar la capa de Zn, hasta que deje de “burbujear”.

- **Marcado de la longitud inicial entre puntos (Lo):** los extremos de la longitud inicial entre puntos se materializan sobre la muestra (Figura 27) mediante marcas a 50 mm. Se suele dejar un margen de unos 10-15 mm en ambos extremos a la marca.



Figura 27. Muestra enderezada con las marcas de la longitud inicial

4.1.2. ENSAYO DE TRACCIÓN A TEMPERATURA AMBIENTE

Los resultados de la carga se obtuvieron mediante el software de la máquina universal de tracción de Trefilerías Quijano.

El ensayo se realiza en una máquina universal y la operación consiste en someter una probeta a una carga uniaxial gradualmente creciente hasta que ocurra la rotura, para determinar las pertinentes características del material. El ensayo se lleva a cabo a temperatura ambiente, para conseguir un ambiente favorable se considera la utilización de aire acondicionado. Con la ayuda del software, comenzamos el ensayo destructivo hasta la rotura de la probeta.

Una vez fracturada, observamos el tipo de fractura. En el caso que la rotura sea frágil, no se dará como válido el ensayo. Si el tipo de fractura es dúctil, se determina la resistencia a la tensión, la ductilidad (estricción y alargamiento). Para obtener la estricción de la muestra una vez realizado el ensayo, con ayuda de un micrómetro, se mide el diámetro del cuello (mm) de estricción como se muestra en la figura 29.



Figura 28. Muestra en la máquina de tracción de TQ después de la rotura

La estricción se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$E(\%) = \frac{A_0 - A}{A_0} 100 \quad (\text{ec. 4})$$

Donde A_0 es el área original de la sección transversal de la muestra y A es el área final de la sección transversal del cuello. El alargamiento se mide una vez fracturada la muestra, midiendo la longitud entre marcas de la zona fracturada, como se muestra en la figura 30 y se obtiene mediante:

$$\Delta L(\%) = \frac{L_0 - L}{L_0} 100 \quad (\text{ec. 5})$$

Donde L_0 es la longitud inicial entre las marcas y L es la distancia entre las marcas al ocurrir la fractura. [2] Aunque no es un objetivo del presente trabajo, si es posible señalar que a tenor de los resultados de temperatura de P_b , estos no parecen influir en las características de alargamiento y estricción para temperaturas comprendidas entre los 460-500 °C.



Figura 29. Medición del cuello de estricción



Figura 30. Medida de la longitud final

4.2 ANALISIS METALOGRAFICO

Los análisis metalográficos han sido realizados en el laboratorio de G.S.W.

4.2.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA EN BAKELITA

Es necesario realizar una serie de etapas, tal y como se describe a continuación:

- **Corte por disco abrasivo:** la superficie resultante es suave, y el corte se realiza rápidamente. Los discos para los cortes abrasivos, están formados por granos abrasivos (carburo de silicio), aglutinados con goma.
- **Montaje de las muestras:** para pulir la muestra es necesario embutirla en una pastilla. El material de la pastilla es bakelita (resina termoendurecible). Se puede apreciar en las Figuras 31, las probetas antes y después de ser montadas.



Figura 31. Metodología para bakelitas: antes de la transformación, tras el llenado y después de la transformación de la bakelita en el horno

- **Desbaste:** una vez montada la muestra, se inicia el desbaste sobre una serie de lijas (Figura 32) con abrasivos cada vez más finos con el fin de obtener una superficie exenta de rayas. En cada fase se debe tener en cuenta el sistema refrigerante, cada vez que se cambie de papel, debe girarse 90°, en dirección perpendicular a la que se seguía con el papel de lija anterior.



Figura 32. Papeles de desbaste



Figura 33. Pulidora de bakelitas automática

El proceso de desbaste se divide en 3 fases:

- **Desbaste Grosero:** sirve para aplanar la bakelita, utilizando una pulidora automática (Figura 33). El papel de lija utilizado es de carburo de silicio con granos de 80. La presión sobre la lija debe ser suave, para evitar la distorsión y rayado excesivo del metal.
- **Desbaste Intermedio:** Se realiza apoyando la bakelita sobre el papel de lija, colocado sobre una mesa plana. En esta fase se utilizan los papeles de lija de tamaño de grano 180 primero y 320 posteriormente.
- **Desbaste Final:** Se realiza de la misma forma que los anteriores, con papel de lija de grano 600.

- **Pulido:** La última aproximación a una superficie plana libre de ralladuras se obtiene mediante una rueda giratoria húmeda cubierta con un paño cargado con partículas abrasivas, en este caso pasta de diamante de 3 micras. (Figura 34)



Figura 34. Bakelitas pulidas

4.2.2. ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA INTERNA

Para poder conocer la estructura interna del material es necesario completar una serie de etapas, las cuales se describen a continuación:

- **Ataque químico:** Permite poner en evidencia la estructura, sumergiendo la muestra con cara pulida (Figura 31) hacia arriba en un reactivo NITAL2 (98% alcohol, 2% ácido nítrico). Para observar la estructura de los aceros, interesa que se distinga bien la Fe_3C . Para ello se ataca la probeta con NITAL2, que hace que la Fe_3C se aprecie oscura dejando la ferrita brillante. Posteriormente se lava con agua, se enjuaga con alcohol y se seca en corriente de aire.
- **Observación:** el estudio de las superficies metálicas se realiza por reflexión en un microscopio metalográfico.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

Los diagramas de control (Figura 35) constituyen la herramienta fundamental utilizada para controlar y optimizar un proceso. Dicho diagrama representa un estadístico T del proceso frente al número de la muestra o al tiempo. Una línea central representa el valor medio del estadístico, mientras que los límites de control suelen definir una zona de control que abarca 3σ por encima y por debajo de la línea central, donde σ es la desviación estándar. Estos límites son escogidos de manera que si el proceso está bajo control, casi la totalidad de los puntos muestrales se hayan entre ellos. Así, un punto que se encontrase fuera de los límites de control se interpreta como una evidencia de que el proceso está fuera de control. [9]

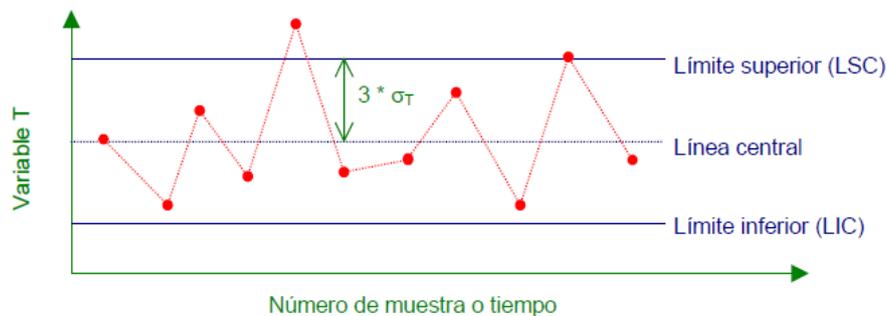


Figura 35. Fundamento diagrama de control estadístico de variables

Media muestral	Desviación típica	Límite de control Superior	Límite de control Inferior
$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}}$	$LCS = \bar{X} + 3\sigma$	$LCI = \bar{X} - 3\sigma$
(ec. 6)	(ec. 7)	(ec. 8)	(ec. 9)

5.1. ESTUDIO DEL SEGUIMIENTO DEL PROCESO INICIAL

Se recogieron del ordenador controlador del proceso, las temperaturas de la caldera de Pb de las diferentes muestras durante un periodo de 2 meses (según las instrucciones recogidas en la ficha de instrucción técnica del horno de patentado). Para observar cómo afecta el enfriamiento a la resistencia y formación de la estructura del producto, se desprecian los efectos de la temperatura de calentamiento en el horno previo porque a la temperatura mínima de calentamiento del horno de austenización, se disuelve todo el carbono de la perlita laminar procedente del alambro del tren de laminación. En la caldera de plomo existen dos zonas distintas de calentamiento

(izquierda y derecha), para poder trabajar paralelamente con 2 tipos distintos de alambres y no retrasar la producción. Las mediciones aparecen en el anexo I (Tabla 10) y los gráficos de los límites de control se muestran en Figura 36 y 37.

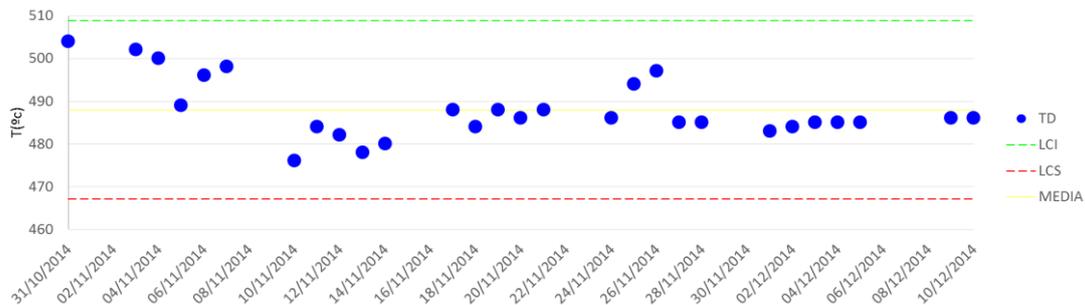


Figura 36. Muestreo inicial y representación de los límites de control para la zona derecha de la caldera

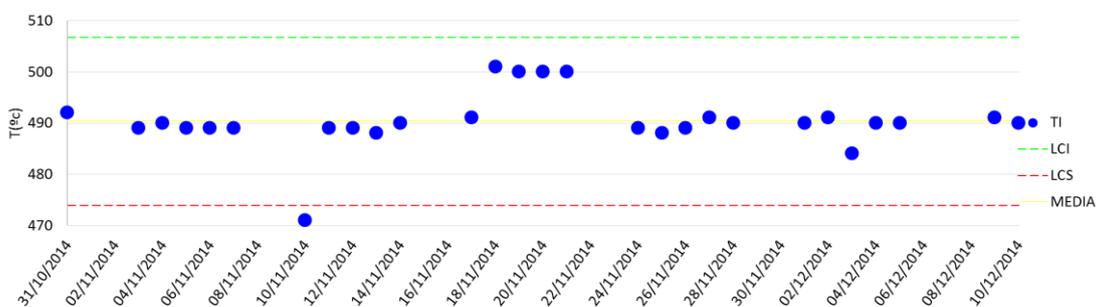


Figura 37. Muestreo inicial y representación de los límites de control para la zona izquierda de la caldera

Para la zona derecha de la caldera de plomo, el valor medio de los set points es de 488 ± 7 °C en el periodo controlado. Tras la representación de los límites de control, se observa que existe una importante variabilidad relativa en las mediciones, dicha variabilidad depende del diámetro y de la naturaleza química del alambre. Para la zona izquierda de la caldera se obtiene un valor medio de los set points de 490 ± 5 °C. Tras la representación de los límites de control, el muestreo es más constante en la zona izquierda que la zona derecha, estando alrededor de la media muestral, excepto un punto que se escapa del área de control. En este punto, debido a que la medición de la temperatura en ese día fue tomada cuando se introducía un lingote de plomo en el baño (para compensar pérdidas), la temperatura del baño disminuyó considerablemente. Así mismo, otras cuatro mediciones entre los días 18 y 21 de

noviembre se desvían ligeramente, debido posiblemente a que el diámetro, contenido en carbono o manganeso del alambre a enfriar fuese mayor.

Una vez mostrados los resultados correspondientes a las temperaturas, la siguiente tabla (Tabla 4), muestra los resultados obtenidos del control estadístico para las 2 zonas de la caldera:

Tabla 4. Resultados del control estadístico inicial en la caldera de plomo

Zona de la caldera	LCS (°C)	LCI (°C)	DIFERENCIA (°C)
Izquierda	507	474	33
Derecha	509	467	42

Como se ha detallado en el apartado anterior, la variabilidad de las mediciones en la zona derecha viene representada en la diferencia de los límites de control siendo su valor de 42 °C. Por otra parte, en la zona más constante existe una variabilidad de 33 °C, la cual es mucho más pequeña que la anterior. Esta menor variabilidad es útil a la hora de trabajar con la caldera de plomo, ya que al moverse en rangos menores de temperatura se ahorra tiempo para tratar un conjunto de calidades de forma conjunta, y por tanto se tiene que calentar o enfriar una menor cantidad de plomo. De esta forma se ahorra combustible de la caldera y se evitan pérdidas de calor por la pared que divide las zonas de la caldera.

Como en Trefilerías Quijano, la producción de acero patentado es muy variada, el muestreo se ha realizado para todo tipo de calidades exigidas por los clientes, dividiéndolas en 3 grupos en función de su composición en C: K53 – K70: (0,5%C-0,7%C), K73 - K80: (0,7%C-0,8%C) y K83 – K85: (0,83%C-0,85%C), donde el número adjunto a la K se corresponde con el porcentaje en carbono por 100. Una vez recogidos todos los datos del periodo de muestreo, se realiza un diagnóstico inicial calculando los límites de control en función de un rango de las distintas calidades, despreciando las subfamilias. El muestreo esta ordenado en orden creciente según la calidad, diámetro y colada. Como el muestreo se ha realizado en diferentes días, en algunos casos las temperaturas de enfriamiento y calentamiento no se corresponden con los mismos días (ver ANEXO I). En las Tablas 11, 12 y 13, se muestra posteriormente las resistencias de las citadas muestras iniciales.

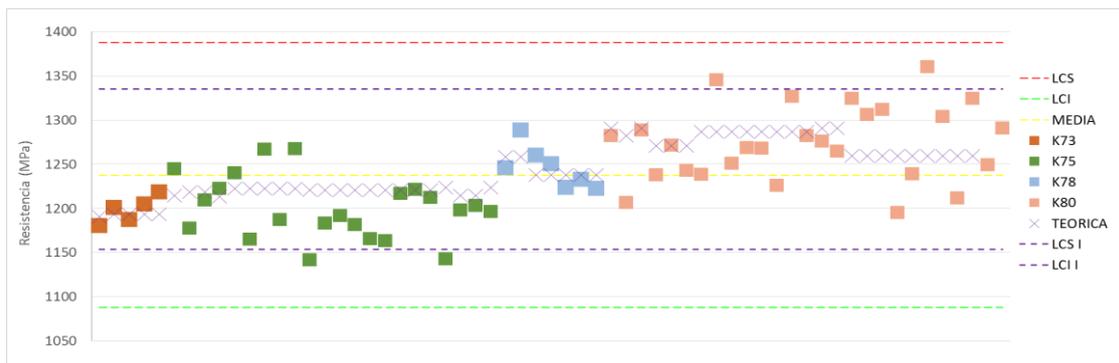


Figura 39. Resistencias a tracción de K73- K80 y representación de los límites de control reales y teóricos.

En la figura 39, se observa una cierta variabilidad de la resistencia obtenida con respecto a la teórica. Esta variabilidad da igualmente la posibilidad de mejorar aún más el proceso. Sin embargo, si bien el muestreo inicial fue abundante, una vez introducida la mejora del proceso, el cliente no demandó este grupo de calidades, por lo que igualmente no pudieron emplearse para el análisis de la mejora introducida. Los valores de las distancias de la resistencia de las muestras obtenida con respecto a la teórica se encuentran en el anexo I (Tabla 12).

▪ **Grupo K83-K85 (0,83%C-0,85%C)**

Finalmente, la Figura 40 recoge la evolución de la resistencia para el grupo de muestras correspondiente a las calidades K83 – K85. En este caso, al ser la calidad más demandada en la empresa, las mejoras introducidas pudieron comprobarse frente a los obtenidos a continuación. El cálculo de la resistencia teórica se obtiene mediante la expresión (ec.3) utilizada anteriormente.

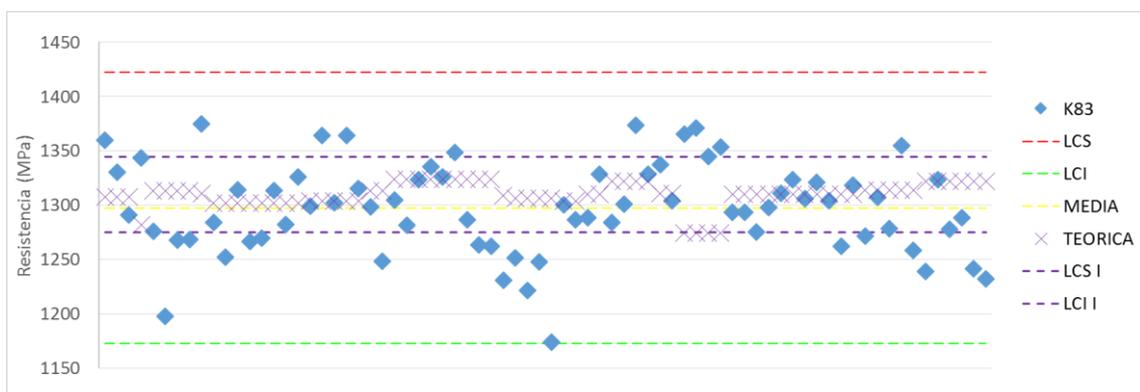


Figura 40. Resistencias a tracción de K83- K85 y representación de los límites de control reales y teóricos.

En la figura 40, se observa una gran variabilidad de la resistencia obtenida a la deseada, ya que la distancia de los límites de control (Tabla 5) es superior a los grupos anteriores, pudiendo ser este grupo de muestras el ideal para cuantificar la mejora introducida. Los valores de las distancias de la resistencia de las muestras obtenida con respecto a la teórica se encuentran en el anexo I (Tabla 13).

La distancia entre los límites de control es menor cuanto más controlado este el proceso productivo. Por lo tanto, habrá que calcular la distancia de los límites de control para la situación real e ideal y obtener el estado del proceso frente al teórico. Los resultados obtenidos de las distancias entre los LC reales e ideales son los siguientes de acuerdo a la Tabla 5:

Tabla 5. Resultados del control estadístico inicial de la resistencia a tracción para el conjunto de las 3 calidades estudiadas previo a las mejoras introducidas

GRUPO	Nº MUESTRAS	DISTANCIA LC REAL (MPa)	DISTANCIA LC IDEAL (MPa)	DIFERENCIA (MPa)
K53-K70	26	513,98	349,69	164,29
K73-K80	62	299,85	181,76	118,09
K83-K85	75	249,35	69,51	179,84

Al comparar los resultados de la situación obtenida y la deseada, se observa que la distancia para el caso teórico basado en el contenido en carbono es menor que el obtenido experimentalmente. El fin de esta herramienta es el de reducir dicha distancia; una reducción de la misma implica la obtención de un producto con menor número de no conformidades, lo que se traduce en un producto de mejor calidad.

5.2. ESTUDIO DEL SEGUIMIENTO DEL PROCESO MEJORADO

En el presente documento se ha mostrado como la temperatura de enfriamiento en la cámara de Pb es capaz de influenciar las características del producto final. La velocidad de enfriamiento mostrada en el diagrama TTT (“también conocido como curva S”) determina las características microestructurales del producto final. Como consecuencia de ello, a tenor del conjunto de posibles mejoras a introducir, se procedió a evaluar de forma cualitativa las distintas opciones con el conjunto de responsables de la instalación.

- Opción 1: Aumento en la temperatura del horno de austenización.
- Opción 2: Variación de la velocidad de paso del alambre a lo largo de la instalación.
- Opción 3: Control en la temperatura de enfriamiento de caldera de plomo.

De entre todas estas, finalmente se optó por controlar la temperatura de la cámara de plomo, ya que de entre todas las opciones propuestas, ésta es sin duda la que conlleva una menor interferencia en la producción diaria de la instalación. Consecuentemente, tras el diagnóstico inicial, se decide modificar las temperaturas de enfriamiento de las dos zonas de la caldera, con el fin de obtener una mejora en la resistencia del producto. En el caso de la zona derecha, en virtud de los resultados presentados se tiende a establecer temperaturas inferiores. En el estudio metalográfico se aprecia un porcentaje considerable de muestras con láminas gruesas de perlita laminar, las cuales son el resultado de una operación a temperaturas demasiado elevadas. Para la zona izquierda, en cambio, se tiende a elevar las temperaturas, ya que el porcentaje de muestras con indicios de estructuras acirculares (correspondientes a una estructura de bainita) es elevado, aproximándonos en ambos casos al rango óptimo de temperatura para la formación de láminas finísimas de perlita laminar (sorbita) según los contenidos en carbono de los aceros analizados en el alambrón. Las mediciones aparecen en el anexo II (Tabla 14) y los gráficos de los límites de control se muestran a continuación en Figura 41 y Figura 42.



Figura 41. Muestreo y representación de los límites de control para la zona derecha de la caldera

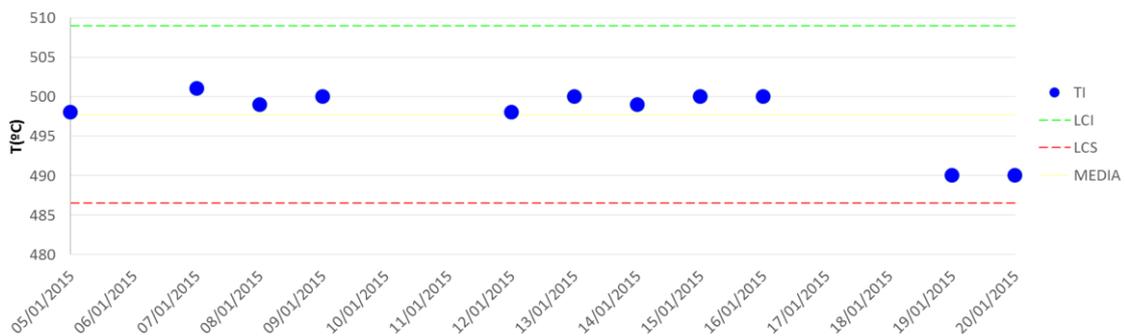


Figura 42. Muestreo y representación de los límites de control para la zona izquierda de la caldera

Para la zona derecha de la caldera de plomo, el nuevo valor medio de los set points es de 480 ± 3 °C y para la izquierda de 498 ± 4 °C. Tras la representación de los límites de control de la zona derecha (Figura 41), el muestreo se encuentra bastante próximo al valor medio, existiendo una diferencia de 10 °C entre la máxima y mínima. Se disminuye considerablemente la temperatura superior de enfriamiento desplazándose a temperaturas sobre los 485 °C, para evitar el aumento de las láminas de perlita laminar. Por su parte, se aumenta la temperatura inferior alrededor de 475 °C con el fin de evitar los indicios de bainita superior. De igual manera, para la zona izquierda (Figura 42), dos mediciones entre los días 19 y 20 de enero se desvían ligeramente, debido a una combinación de estos dos factores: composición química y diámetro. Por esta razón, se aumentó la temperatura del baño hasta casi los 500 °C aproximadamente, y tratar así de evitar la formación de estructuras acirculares. Una vez mostrados los resultados correspondientes a las temperaturas, la siguiente tabla

(Tabla 6), muestra los resultados obtenidos del control estadístico para las 2 zonas de la caldera:

Tabla 6. Resultados del control estadístico en la caldera de plomo tras la mejora introducida

Zona de la caldera	LCS (°C)	LCI (°C)	DIFERENCIA (°C)
Izquierda	509	486	23
Derecha	489	471	18

Como se ha detallado anteriormente, la variabilidad de las mediciones en la zona izquierda viene representada por la diferencia de los límites de control siendo su valor de 23 °C, mientras que en la zona derecha la diferencia es de 18 °C, la cual es menor que la anterior. Al igual que sucedía antes de la introducción de la mejora, esta menor variabilidad es útil a la hora de trabajar con la caldera de plomo, ya que se traduce en un ahorro de tiempo de procesamiento y combustible como resultado de las menores pérdidas de calor entre una zona y otra.

Las demandas de los clientes se producen en distintos periodos del año y como consecuencia de ello no para todas las calidades se pueden obtener muestras antes y después de la mejora introducida. Una vez realizado el nuevo muestreo, es preciso, recalculer los límites de control teniendo en cuenta el muestreo anterior. Para ello se utilizan las ecuaciones anteriores (ec.6) (ec.7) (ec.8) (ec.9), de tal forma que los límites de control incluyan al conjunto de todas las muestras y no únicamente aquellas que incluye la mejora. Las figuras 43, 44 y 45 muestran los valores introducidos tras la mejora, no todo su conjunto, los cuales se representan a continuación para cada una de las 3 calidades:

▪ **GRUPO K53 - K70 (0,5%C-0,7%C)**



Figura 43. Resistencias a tracción de K53- K70 y representación de los límites de control reales y teóricos

En la figura 43, se muestra una aproximación de la resistencia obtenida a la ideal, pero a ser tan escaso el muestreo no es posible extraer ningún tipo de mejora con respecto a los límites de control, ya que no es estadísticamente fiable. Considerando el estudio que se realiza, para que el muestreo tenga algún tipo de validez, el número de muestras ha de ser mayor de 30. Los valores de las distancias de la resistencia de las muestras obtenida con respecto a la teórica se encuentran en el anexo II (Tabla 15).

▪ **GRUPO K73-K80 (0,7%C-0,8%C)**



Figura 44. Resistencias a tracción de K73- K80 y representación de los límites de control reales y teóricos.

En la figura 44, se observa una aproximación de la resistencia obtenida a la teórica, excepto para el caso dos muestras, debido a que se produjo en el ensayo de tracción una rotura frágil. Aun así, como se ha citado anteriormente al ser tan escaso el muestreo no es posible obtener ningún valor de mejora fiable. Los valores de las distancias de la resistencia de las muestras obtenida con respecto a la teórica se encuentran en el anexo II (Tabla 16).

▪ **GRUPO K83-K85 (0,83%C-0,85%C)**

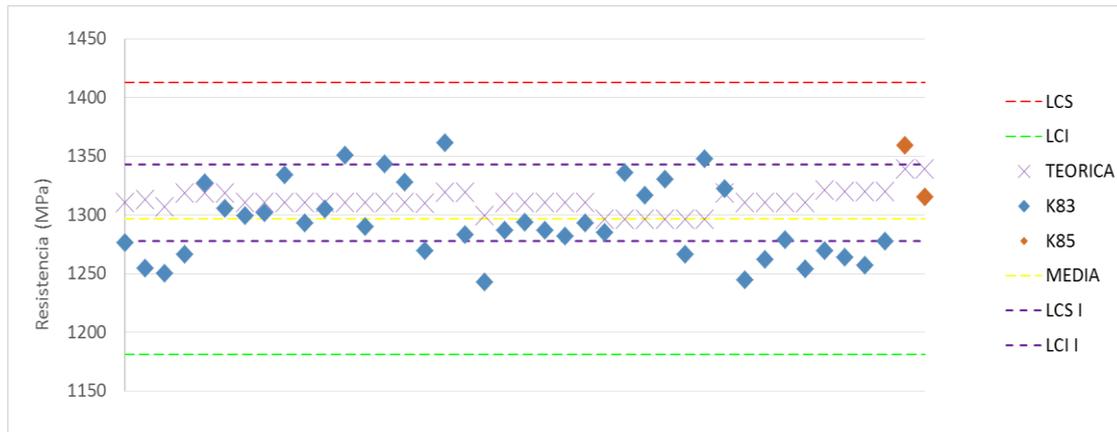


Figura 45. Resistencias a tracción de K83- K85 y representación de los límites de control reales y teóricos.

En la figura 45, se muestra una aproximación de la resistencia obtenida a la deseada, encontrándose la mayoría de la población entre los límites de control teóricos. Por lo tanto, la variabilidad de la resistencia es menor. Al ser el número de muestras superior a 30, este estudio de control estadístico es válido y está ineludiblemente asociado a una mejora del proceso. Los valores de las distancias de la resistencia de las muestras obtenida con respecto a la teórica se encuentran en el anexo II (Tabla 17).

Como se detalló en el apartado anterior, se quiere lograr una menor distancia entre los límites de control. Por lo tanto, se recalculan las distancias de los límites de control para la situación real e ideal (basada en el contenido de carbono) y se obtiene el estado del proceso frente al teórico. Los resultados obtenidos (Tabla 7) de las distancias entre los límites de control reales y teóricos se muestran a continuación:

Tabla 7. Resultados del control estadístico de la resistencia a tracción tras la introducción de la mejora en la temperatura de la caldera de Pb

GRUPO	Nº MUESTRAS	DISTANCIA LC REAL (MPa)	DISTANCIA LC IDEAL (MPa)	DIFERENCIA (MPa)
K53-K70	6	513,98	349,69	164,29
K73-K80	9	303,55	188,76	114,79
K83-K85	41	231,82	65,54	166,27

Consecuentemente la diferencia entre el valor real (experimental) y el ideal (teórico basado en el contenido en carbono) antes y después de los ajustes de la temperatura de las cámaras de Pb es de unos 13,57 MPa para la calidad K83-K85, que en términos relativos es del orden de 7,54% (tal y como se muestra en la Tabla 8).

Tabla 8. Resultados de la comparación de la resistencia a la tracción

GRUPO	INICIAL (MPa)	MEJORA (MPa)	DIF. (MPa)	DIF. (%)	OBSERVACIONES
K53-K70	164,29	164,29	0	0	Nº de muestras insuficiente
K73-K80	118,09	114,79	3,3	2,79	Nº de muestras insuficientes
K83-K85	179,84	166,27	13,57	7,54	Mejora considerable

Esta mejora próxima al 8% en esta calidad es considerada por los técnicos de la instalación como relevante de cara al proceso. Se espera que en un futuro, el resto de mejoras propuestas puedan estudiarse para intentar mejorar más aún este valor.

5.3. EVOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURA METALGRÁFICA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA

Una vez concluido el análisis metalográfico (detallado en el Anexo III) para ambas situaciones y calidades es posible concluir que el conjunto de calidades que se debe estudiar a fondo, es el grupo K83 – K85 (Tabla 20 y Tabla 23) debido a su validez por el importante número de muestras. A continuación, en la Tabla 9 se muestran varias micrografías para dicha calidad a una resolución x1000:

Tabla 9. Comparación de microestructuras antes y después de la mejora

SITUACIÓN INICIAL



Figura 46. Estructura interna 2654071, K83
Ø5,5mm a 489°C (x1000) zona I

SITUACIÓN TRAS MEJORA



Figura 47. Estructura interna 2684824, K83
Ø5,5mm a 499°C (x1000) zona I

SITUACIÓN INICIAL



Figura 48. Estructura interna 2651999, K83
Ø6mm a 489°C (x1000) zona I



Figura 50. Estructura interna 2652801, K83
Ø7mm a 502°C (x1000) zona D



Figura 52. Estructura interna 2664667, K83
Ø8mm a 488°C (x1000) zona D

SITUACIÓN TRAS MEJORA



Figura 49. Estructura interna 2692855, K83
Ø6mm a 500°C (x1000) zona I



Figura 51. Estructura interna 2688711, K83
Ø7mm a 477°C (x1000) zona D



Figura 53. Estructura interna 2692902, K83
Ø8mm a 477°C (x1000) zona D

En la Figura 46, se aprecia gran cantidad de estructura acircular para una temperatura de la zona derecha del baño de 489 °C. Para esa misma temperatura de la caldera, en la figura 48, se observa también la formación de bainita superior, pero en menor cantidad debido al grosor de su diámetro y a la colada de la que procede. Tras la mejora (Figura 47 y Figura 49), se ha aumentado la temperatura de trabajo, observándose la desaparición de bainita superior alrededor de 500 °C.

En la figura 50, se observa un porcentaje del 1% de perlita laminar para una temperatura de la zona derecha del baño de 502 °C. Tras la mejora (Figura 51), se ha disminuido considerablemente la temperatura de trabajo, para un alambre de las mismas características, observándose la desaparición de perlita laminar a 477 °C.

En las Figuras 52 y 53, se observa un aumento del porcentaje de perlita laminar respecto a otros diámetros. Para una temperatura del baño en la zona derecha de 488 °C se obtiene un 4% de perlita laminar, un incremento considerable frente a los diámetros tratados anteriormente. Este porcentaje se debe a que el carbono no se ha disuelto completamente en el horno de austenización, ya que tras la disminución de la temperatura de enfriamiento a 477 °C, el porcentaje de perlita laminar permanece prácticamente constante (Figura 52). Si esta temperatura aumentase, se incrementaría la probabilidad de formación de perlita.

6. CONCLUSIONES Y PROPUESTA DE FUTURO

Las principales conclusiones del presente trabajo fin de grado referido a la mejora del tratamiento de patentados de medio y alto contenido en carbono son las siguientes:

- 1) Para la zona de enfriamiento derecha de la caldera de plomo se obtienen mejores resultados de formación de sorbita (Figura 52 y Figura 53) y de resistencia, al trabajar con una temperatura máxima menor (485 °C) y una temperatura mínima mayor (476 °C). Con las temperaturas anteriores a la mejora, se obtuvo un mayor porcentaje de perlita laminar y bainita superior para la velocidad de paso del alambre constante.
- 2) En el caso de la zona izquierda, se ha aumentado la temperatura superior (501 °C) e inferior (490 °C), trabajando en rangos de temperatura más elevados para obtener un menor porcentaje de estructura acircular (bainita) (Figura 48, Figura 49, Figura 50 y Figura 51).
- 3) La modificación de las temperaturas superior e inferior en las dos zonas izquierda y derecha de la caldera de Pb ha permitido una mejora en la resistencia estimada en 7,54% para aceros 0,83%C-0,85% (Tabla 8). Para contenidos en carbono inferiores, no se ha obtenido ninguna evidencia que demuestre la mejora, ya que el muestreo ha sido insuficiente. Aunque se observa una muy ligera mejora en la resistencia de los aceros con contenido en carbono de 0,73%C-0,8%C, la pequeña cantidad de muestras es insuficiente para llegar a poder realizar las mismas afirmaciones que en el caso anterior.

Como propuesta de mejora en un futuro para el proceso se observa que, en general, para las muestras de K83 para diámetros grandes (8-9 mm) existe un aumento del porcentaje de perlita laminar (Figura 54 y Figura 55), lo cual se relaciona con la temperatura del horno de austenización, la cual es demasiado baja. Por lo tanto, no llega a disolverse el carbono completamente en el centro del alambre. En este caso, se debería aumentar la temperatura de calentamiento para obtener una estructura homogénea y libre de perlita laminar.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] J. Hormaechea. 1970. *“Tecnología del patentado y del recocido”* (descripción de los procesos de planta). Nueva Montaña (Santander).
- [2] Norma UNE-EN 10002-1: “Materiales metálicos. Ensayo de tracción. Parte 1: Método de ensayo (a la temperatura ambiente). Marzo, 1990.
- [3] CELSA GROUP, *Instalaciones de patentar galvanizar*, Trefilerías Quijano.
- [4] Norma UNE-EN 10020: “Definición y clasificación de los tipos de acero”. Marzo, 2000.
- [5] INGENIERIA MECANICA [Sitio web]. Sevilla. Consulta [13 diciembre 2014] Disponible en: <http://www.ingemecanica.com>
- [6] TREFILERIAS QUIJANO [Sitio web] 2008. Barcelona. Consulta [29 octubre 2014] Disponible en: <http://www.tquijano.com>
- [7] Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production [Sitio web] 2013. Luxemburgo. Consulta [16 diciembre 2014] Disponible en: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>
- [8] GLOBAL STEEL WIRE [Sitio web] 208. Barcelona. Consulta [29 Octubre 2014] Disponible en: <http://www.globalsteelwire.com/>
- [9] Montgomery, Douglas, 3ª ed. *Control estadístico de la calidad*.

ANEXO I: SEGUIMIENTO INICIAL

➤ TEMPERATURAS:

A continuación se muestra en la Tabla 8, las temperaturas del horno de austenización (TH1, TH2, TH3 y TH4) y de las dos zonas de la caldera de plomo (TI y TD):

Tabla 10. Mediciones de las temperaturas del horno y caldera en la situación inicial

FECHA	TH1 (°C)	TH2 (°C)	TH3 (°C)	TH4 (°C)	TI (°C)	TD (°C)
31/10/2014	855	907	876	885	492	504
03/11/2014	887	915	893	887	489	502
04/11/2014	892	918	893	887	490	500
05/11/2014	872	915	886	897	489	489
06/11/2014	846	900	870	875	489	496
07/11/2014	858	915	883	892	489	498
10/11/2014	849	915	884	890	471	476
11/11/2014	836	904	876	890	489	484
12/11/2014	908	915	888	890	489	482
13/11/2014	851	915	884	879	488	478
14/11/2014	856	915	886	885	490	480
17/11/2014	858	916	884	893	491	488
18/11/2014	862	915	886	896	501	484
19/11/2014	862	915	888	888	500	488
20/11/2014	864	915	884	890	500	486
21/11/2014	863	915	883	887	500	488
24/11/2014	866	915	883	885	489	486
25/11/2014	860	915	888	901	488	494
26/11/2014	871	915	884	891	489	497
27/11/2014	890	915	888	894	491	485
28/11/2014	904	915	883	888	490	485
01/12/2014	899	915	888	889	490	483
02/12/2014	879	904	875	876	491	484
03/12/2014	877	903	875	877	484	485
04/12/2014	889	905	875	885	490	485
05/12/2014	879	804	873	874	490	485
09/12/2014	886	901	874	872	491	486
10/12/2014	885	892	875	874	490	486

➤ **RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y OTRAS PROPIEDADES MECÁNICAS:**

A continuación se muestra en las siguientes tablas (Tabla. 11, 12 y 13), los parámetros mecánicos, obtenidos en los ensayos a tracción. Como la composición química y características de las muestras de alambre patentado. A continuación se detallan algunas tales como:

- Colada: etiqueta para el proceso que se realiza a partir del material fundido en los hornos. Cada colada, tiene una composición distinta.
- N° de bulto: Número identificador del rollo de alambrón.

• **GRUPO K53 - K70**

Tabla 11. Resultados de los parámetros mecánicos para el grupo K53-K70 en la situación inicial

FECHA	CALIDAD	∅ (mm)	COLADA	%C	%Mn	BULTO	C. Real (MPa)	C.Teórica (MPa)	Dif. (MPa)	Zona Pb	E (%)	A (%)
07/11/2014	K53	10	GS03344	0,519	0,645	2658818	1005	988	17	D	60,03	18
11/11/2014	K53	10	GS03344	0,519	0,645	2658821	965	988	-23	D	58,02	20
11/11/2014	K53	10	GS03344	0,519	0,645	2659585	944	988	-44	D	55,59	14
20/11/2014	K53	10	GS03878	0,519	0,68	2668354	981	993	-13	D	57,79	14
06/11/2014	K65	5,5	GS02302	0,645	0,64	2655191	1060	1123	-63	D	58,90	16
21/11/2014	K65	5,51	GS02302	0,645	0,64	2666666	1098	1123	-25	D	58,70	14
21/11/2014	K65	5,51	GS02302	0,645	0,64	2666667	1037	1123	-86	D	62,33	12
17/11/2014	K68	5,5	GS04045	0,65	0,675	2664264	1152	1134	19	D	56,25	12
20/11/2014	K68	5,5	GS04045	0,65	0,675	2666209	1160	1134	26	D	55,23	12
06/11/2014	K68	6,5	GS01985	0,66	0,67	2656163	1102	1144	-42	D	44,37	14
06/11/2014	K68	6,5	GS01985	0,66	0,67	2656194	1125	1144	-19	D	42,99	14
31/10/2014	K70	6,51	GS75033	0,68	0,6	2652826	1146	1155	-9	D	42,37	10
10/11/2014	K70	6,51	GS75033	0,68	0,6	2655247	1222	1155	67	D	41,10	12

FECHA	CALIDAD	Ø (mm)	COLADA	%C	%Mn	BULTO	C. Real (MPa)	C.Teórica (MPa)	Dif. (MPa)	Zona Pb	E (%)	A (%)
07/11/2014	K70	6,51	GS75033	0,68	0,6	2655726	1183	1155	28	D	43,46	11
10/11/2014	K70	6,51	GS75033	0,68	0,6	2655727	1216	1155	61	D	39,94	12
07/11/2014	K70	6,51	GS75033	0,68	0,6	2656202	1207	1155	52	D	45,88	10
07/11/2014	K70	6,51	GS75033	0,68	0,6	2657990	1223	1155	68	D	45,16	13
10/11/2014	K70	6,51	GS75033	0,68	0,6	2657991	1225	1155	69	D	42,44	12
07/11/2014	K70	6,51	GS75033	0,68	0,6	2657993	1216	1155	61	I	40,23	11
10/11/2014	K70	6,51	GS75033	0,68	0,6	2658004	1197	1155	41	D	41,50	13
14/11/2014	K70	6,51	GS75033	0,68	0,6	2662656	1195	1155	40	I	41,62	10
11/11/2014	K70	6,51	GS76232	0,68	0,61	2657992	1225	1157	69	I	37,56	12
11/11/2014	K70	6,51	GS76232	0,68	0,61	2660638	1165	1157	9	I	44,59	11
13/11/2014	K70	6,51	GS76232	0,68	0,61	2661111	1199	1157	42	I	40,58	10
11/11/2014	K70	8	GS75033	0,68	0,6	2659480	1133	1155	-22	D	34,21	12
28/11/2014	K70	8	GS75033	0,68	0,6	2672411	1096	1155	-59	D	40,11	13

• GRUPO K73-K80

Tabla 12. Resultados de los parámetros mecánicos para el grupo K73-K80 en la situación inicial

FECHA	CALIDAD	∅ (mm)	COLADA	%C	%Mn	BULTO	C. Real (MPa)	C.Teórica (MPa)	Dif. (MPa)	Zona Pb	E (%)	A (%)
02/12/2014	K73	6,51	GS02947	0,71	0,62	2676533	1180	1190	-10	D	41,88	12
31/10/2014	K73	6,51	GS03635	0,712	0,625	2648927	1201	1193	7	D	43,83	10
31/10/2014	K73	6,51	GS03635	0,712	0,625	2650428	1187	1193	-6	D	43,18	14
03/11/2014	K73	6,51	GS03635	0,712	0,625	2650429	1205	1193	11	D	44,04	12
28/11/2014	K73	6,51	GS03635	0,712	0,625	2668135	1219	1193	25	D	43,42	10
24/11/2014	K75	5,51	GS04013	0,732	0,62	2669735	1245	1214	31	D	44,87	12
10/12/2014	K75	5,51	GS04328	0,73	0,665	2678151	1177	1219	-41	D	45,60	10
09/12/2014	K75	5,51	GS04328	0,73	0,665	2678152	1209	1219	-9	D	48,82	
21/11/2014	K75	6,51	GS03540	0,73	0,63	2668759	1222	1213	9	D	39,20	10
20/11/2014	K75	6,51	GS03749	0,739	0,625	2665429	1240	1222	17	D	41,29	16
18/11/2014	K75	6,51	GS03749	0,739	0,625	2665430	1165	1222	-57	D	42,74	10
18/11/2014	K75	6,51	GS03749	0,739	0,625	2665910	1267	1222	44	D	39,35	10
21/11/2014	K75	6,51	GS03749	0,739	0,625	2666212	1187	1222	-35	D	43,02	10
19/11/2014	K75	6,51	GS03749	0,739	0,625	2667271	1267	1222	45	D	37,17	10
02/12/2014	K75	6,51	GS04534	0,735	0,64	2674496	1142	1220	-79	D	46,78	12
04/12/2014	K75	6,51	GS04534	0,735	0,64	2674497	1183	1220	-37	D	45,04	12
05/12/2014	K75	6,51	GS04534	0,735	0,64	2674498	1192	1220	-29	D	42,88	12
04/12/2014	K75	6,51	GS04534	0,735	0,64	2674499	1182	1220	-39	D	41,18	12
04/12/2014	K75	6,51	GS04534	0,735	0,64	2675202	1165	1220	-55	I	46,69	12
04/12/2014	K75	6,51	GS04534	0,735	0,64	2675260	1163	1220	-57	D	43,32	12
03/12/2014	K75	6,51	GS04534	0,735	0,64	2677029	1216	1220	-4	I	44,18	13
03/12/2014	K75	6,51	GS04534	0,735	0,64	2677031	1221	1220	1	I	44,79	11

FECHA	CALIDAD	Ø (mm)	COLADA	%C	%Mn	BULTO	C. Real (MPa)	C.Teórica (MPa)	Dif. (MPa)	Zona Pb	E (%)	A (%)
04/12/2014	K75	6,51	GS04534	0,735	0,64	2677032	1212	1220	-8	I	44,38	11
28/11/2014	K75	9	GS03793	0,74	0,625	2671772	1143	1224	-81	I	43,48	14
21/11/2014	K75	10	GS03077	0,729	0,645	2668009	1198	1215	-17	D	39,41	12
21/11/2014	K75	10	GS03077	0,729	0,645	2668010	1203	1215	-12	D	43,64	16
19/11/2014	K75	10	GS03793	0,74	0,625	2666720	1196	1224	-28	D	41,23	13
25/11/2014	K75	5,51	GS00143	0,77	0,64	2666791	1246	1258	-13	D	37,93	10
24/11/2014	K78	5,51	GS00143	0,77	0,64	2670507	1288	1258	30	D	39,01	13
25/11/2014	K78	5,5	GS03791	0,755	0,61	2670052	1260	1238	22	D	31,47	10
25/11/2014	K78	5,5	GS03791	0,755	0,61	2670065	1250	1238	13	D	33,71	10
26/11/2014	K78	5,5	GS03791	0,755	0,61	2671135	1224	1238	-14	D	37,96	10
26/11/2014	K78	5,5	GS03791	0,755	0,61	2671136	1233	1238	-5	D	42,38	10
27/11/2014	K78	5,5	GS03791	0,755	0,61	2671548	1222	1238	-15	D	39,64	10
18/11/2014	K80	6,5	GS03992	0,805	0,605	2664243	1282	1291	-9	D	45,63	14
24/11/2014	K80	6,51	GS03297	0,795	0,62	2666718	1206	1282	-76	D	33,79	12
14/11/2014	K80	6,51	GS03990	0,8	0,64	2660641	1288	1290	-2	D	40,89	10
10/11/2014	K80	6,51	GS03991	0,785	0,615	2659564	1237	1271	-33	D	43,78	11
10/11/2014	K80	6,51	GS03991	0,785	0,615	2659565	1271	1271	1	D	39,73	14
14/11/2014	K80	6,51	GS03991	0,785	0,615	2659573	1243	1271	-28	D	41,03	11
25/11/2014	K80	6,51	GS04531	0,795	0,65	2670047	1238	1287	-48	D	40,87	10
24/11/2014	K80	6,51	GS04531	0,795	0,65	2670048	1345	1287	59	D	35,16	14
26/11/2014	K80	6,51	GS04531	0,795	0,65	2671082	1251	1287	-36	D	35,88	10
26/11/2014	K80	6,51	GS04531	0,795	0,65	2671083	1268	1287	-18	D	42,30	12
27/11/2014	K80	6,51	GS04531	0,795	0,65	2671500	1268	1287	-19	I	39,68	10
02/12/2014	K80	6,51	GS04531	0,795	0,65	2671826	1226	1287	-61	D	39,80	10
28/11/2014	K80	6,51	GS04531	0,795	0,65	2671827	1327	1287	40	I	41,13	10

FECHA	CALIDAD	Ø (mm)	COLADA	%C	%Mn	BULTO	C. Real (MPa)	C.Teórica (MPa)	Dif. (MPa)	Zona Pb	E (%)	A (%)
27/11/2014	K80	6,51	GS04531	0,795	0,65	2673053	1282	1287	-4	I	40,04	12
14/11/2014	K80	8	GS03990	0,8	0,64	2662625	1276	1290	-14	I	41,84	14
14/11/2014	K80	8	GS03990	0,8	0,64	2662626	1265	1290	-26	I	42,73	13
24/11/2014	K80	5,5	GS67874	0,775	0,61	2655103	1324	1259	65	D	35,45	11
20/11/2014	K80	5,5	GS67874	0,775	0,61	2664196	1306	1259	47	D	42,76	12
19/11/2014	K80	5,5	GS67874	0,775	0,61	2664197	1312	1259	53	D	36,12	12
18/11/2014	K80	5,5	GS67874	0,775	0,61	2664694	1195	1259	-64	D	48,68	12
18/11/2014	K80	5,5	GS67874	0,775	0,61	2664695	1239	1259	-20	D	47,35	13
21/11/2014	K80	5,5	GS67874	0,775	0,61	2666125	1360	1259	101	D	29,65	10
21/11/2014	K80	5,5	GS67874	0,775	0,61	2667240	1304	1259	45	D	34,71	10
25/11/2014	K80	5,5	GS67874	0,775	0,61	2667994	1212	1259	-47	D	47,16	14
27/11/2014	K80	5,5	GS67874	0,775	0,61	2667995	1324	1259	65	D	45,32	12
27/11/2014	K80	5,5	GS67874	0,775	0,61	2668249	1249	1259	-10	D	48,00	10
24/11/2014	K80	5,5	GS67874	0,775	0,61	2669258	1291	1259	32	D	36,17	13

• GRUPO K83-K85

Tabla 13. Resultados de los parámetros mecánicos para el grupo K83-K85 en la situación inicial

FECHA	CALIDAD	Ø (mm)	COLADA	%C	%Mn	BULTO	C.Real (MPa)	C.Teórica (MPa)	Dif. (MPa)	Zona Pb	E (%)	A (%)
11/11/2014	K83	3,8	2659249	0,83	0,535	2659249	1360	1307	52	D	29,17	9
10/11/2014	K83	3,8	2659250	0,83	0,535	2659250	1331	1307	23	D	42,56	8
11/11/2014	K83	3,8	2659251	0,83	0,535	2659251	1291	1307	-17	D	39,00	10
06/11/2014	K83	4,05	2657022	0,81	0,51	2657022	1344	1282	62	D	50,03	14
11/11/2014	K83	3,7	2659447	0,825	0,61	2659447	1276	1313	-37	D	53,02	11
11/11/2014	K83	3,7	2659449	0,825	0,61	2659449	1198	1313	-115	D	52,09	10
11/11/2014	K83	3,7	2659450	0,825	0,61	2659450	1268	1313	-45	D	60,21	11
11/11/2014	K83	3,7	2660297	0,825	0,61	2660297	1269	1313	-44	D	55,87	11
02/12/2014	K83	6,01	2674652	0,82	0,63	2674652	1375	1311	64	I	32,14	10
17/11/2014	K83	8	2663295	0,813	0,625	2663295	1284	1302	-18	D	36,50	12
17/11/2014	K83	8	2663296	0,813	0,625	2663296	1252	1302	-50	D	34,05	14
17/11/2014	K83	8	2664222	0,813	0,625	2664222	1314	1302	12	D	39,18	12
17/11/2014	K83	8	2664667	0,813	0,625	2664667	1267	1302	-35	D	36,82	11
18/11/2014	K83	8	2664669	0,813	0,625	2664669	1270	1302	-33	D	38,65	14
18/11/2014	K83	8	2665352	0,813	0,625	2665352	1314	1302	11	D	38,75	12
17/11/2014	K83	8	2665852	0,813	0,625	2665852	1283	1302	-20	D	37,45	11
20/11/2014	K83	8	2667106	0,813	0,625	2667106	1326	1302	24	D	35,12	12
01/12/2014	K83	8	2672585	0,815	0,62	2672585	1299	1304	-4	D	39,04	10
01/12/2014	K83	8	2672886	0,815	0,62	2672886	1364	1304	61	D	39,20	13
28/11/2014	K83	8	2672887	0,815	0,62	2672887	1302	1304	-1	D	34,02	14
01/12/2014	K83	8	2672888	0,815	0,62	2672888	1364	1304	61	D	36,60	12
28/11/2014	K83	8	2673775	0,815	0,62	2673775	1315	1304	12	D	38,87	14
25/11/2014	K83	8,5	2671182	0,825	0,61	2671182	1299	1313	-14	D	37,85	14

FECHA	CALIDAD	∅ (mm)	COLADA	%C	%Mn	BULTO	C.Real (MPa)	C.Teórica (MPa)	Dif. (MPa)	Zona Pb	E (%)	A (%)
25/11/2014	K83	8,5	2671183	0,825	0,61	2671183	1248	1313	-65	D	38,28	12
24/11/2014	K83	8,5	2668710	0,835	0,61	2668710	1305	1324	-19	D	37,92	14
24/11/2014	K83	8,5	2668711	0,835	0,61	2668711	1282	1324	-42	D	39,62	14
24/11/2014	K83	8,5	2668713	0,835	0,61	2668713	1323	1324	0	D	34,60	14
24/11/2014	K83	8,5	2669439	0,835	0,61	2669439	1335	1324	12	D	37,18	14
24/11/2014	K83	8,5	2669441	0,835	0,61	2669441	1326	1324	2	D	35,68	12
24/11/2014	K83	8,5	2669740	0,835	0,61	2669740	1349	1324	25	D	37,89	14
24/11/2014	K83	8,5	2669803	0,835	0,61	2669803	1287	1324	-37	D	38,83	14
24/11/2014	K83	8,5	2669956	0,835	0,61	2669956	1264	1324	-60	D	39,53	12
25/11/2014	K83	8,5	2670093	0,835	0,61	2670093	1262	1324	-61	D	32,84	14
31/10/2014	K83	9,5	2652591	0,82	0,62	2652591	1231	1309	-78	D	40,11	14
13/11/2014	K83	9,5	2661382	0,819	0,61	2661382	1252	1307	-55	D	35,31	13
13/11/2014	K83	9,5	2661395	0,819	0,61	2661395	1222	1307	-85	D	31,06	14
14/11/2014	K83	9,5	2662045	0,819	0,61	2662045	1248	1307	-59	D	40,09	14
14/11/2014	K83	9,5	2662046	0,819	0,61	2662046	1174	1307	-133	D	40,21	13
03/12/2014	K83	9,5	2677424	0,815	0,62	2677424	1300	1304	-4	D	27,96	14
05/12/2014	K83	9,5	2678172	0,815	0,62	2678172	1286	1304	-17	D	36,08	12
04/11/2014	K83	5,5	2651892	0,82	0,625	2651892	1288	1310	-21	I	39,98	8
06/11/2014	K83	5,5	2654071	0,82	0,625	2654071	1329	1310	19	I	37,45	8
10/11/2014	K83	6	2651999	0,829	0,64	2651999	1284	1322	-38	I	32,49	10
05/11/2014	K83	6	2652059	0,829	0,64	2652059	1301	1322	-21	I	33,79	10
03/11/2014	K83	6	2652061	0,829	0,64	2652061	1374	1322	52	I	34,79	12
04/11/2014	K83	6	2654017	0,829	0,64	2654017	1329	1322	7	I	37,70	10
04/12/2014	K83	6	2671767	0,82	0,63	2671767	1338	1311	27	I	41,73	10
04/12/2014	K83	6	2679323	0,82	0,63	2679323	1304	1311	-7	I	40,12	10



FECHA	CALIDAD	Ø (mm)	COLADA	%C	%Mn	BULTO	C.Real (MPa)	C.Teórica (MPa)	Dif. (MPa)	Zona Pb	E (%)	A (%)
14/11/2014	K83	6,5	2658839	0,8	0,53	2658839	1366	1274	91	I	33,64	10
10/11/2014	K83	6,5	2658840	0,8	0,53	2658840	1371	1274	97	I	36,32	14
13/11/2014	K83	6,5	2660629	0,8	0,53	2660629	1345	1274	70	I	35,90	16
12/11/2014	K83	6,5	2660630	0,8	0,53	2660630	1353	1274	79	I	32,86	9
06/11/2014	K83	6,5	2655136	0,82	0,625	2655136	1293	1310	-16	I	38,75	12
05/11/2014	K83	6,5	2655754	0,82	0,625	2655754	1293	1310	-16	I	38,03	12
07/11/2014	K83	6,5	2655755	0,82	0,625	2655755	1275	1310	-34	I	34,17	11
06/11/2014	K83	6,5	2655756	0,82	0,625	2655756	1298	1310	-12	I	37,32	12
07/11/2014	K83	6,5	2656362	0,82	0,625	2656362	1311	1310	1	I	38,99	12
07/11/2014	K83	6,5	2658363	0,82	0,625	2658363	1324	1310	14	I	38,97	14
11/11/2014	K83	6,5	2660106	0,82	0,625	2660106	1306	1310	-4	I	38,41	11
11/11/2014	K83	6,5	2660108	0,82	0,625	2660108	1321	1310	11	I	41,02	10
14/11/2014	K83	6,5	2661069	0,82	0,625	2661069	1304	1310	-6	I	36,96	10
12/11/2014	K83	6,5	2662309	0,82	0,625	2662309	1262	1310	-48	I	38,94	11
10/12/2014	K83	6,5	2678917	0,82	0,625	2678917	1319	1310	9	I	36,91	10
03/11/2014	K83	7	2654785	0,826	0,61	2654785	1271	1314	-43	D	31,82	14
13/11/2014	K83	7	2661255	0,826	0,61	2661255	1307	1314	-7	I	30,06	10
13/11/2014	K83	7	2661260	0,826	0,61	2661260	1278	1314	-36	I	37,14	10
13/11/2014	K83	7	2661261	0,826	0,61	2661261	1355	1314	41	I	30,61	11
09/12/2014	K83	7	2677224	0,826	0,61	2677224	1258	1314	-56	I	39,76	12
31/10/2014	K83	7	2651517	0,829	0,64	2651517	1239	1322	-83	D	34,20	12
19/11/2014	K83	7	2652799	0,829	0,64	2652799	1323	1322	2	D	29,49	13
03/11/2014	K83	7	2652800	0,829	0,64	2652800	1278	1322	-44	D	35,45	16
03/11/2014	K83	7	2652801	0,829	0,64	2652801	1289	1322	-33	D	37,59	14
03/11/2014	K83	7	2654066	0,829	0,64	2654066	1242	1322	-80	D	35,31	12

ANEXO II: SEGUIMIENTO TRAS LA MEJORA

➤ TEMPERATURAS:

A continuación se expone en la siguiente tabla (Tabla. 14), las temperaturas tras la mejora del horno de austenización (TH1, TH2, TH3 y TH4) y de las dos zonas de la caldera de plomo (TI y TD):

Tabla 14. Mediciones de las temperaturas del horno y caldera

FECHA	TH1 (°C)	TH2 (°C)	TH3 (°C)	TH4 (°C)	TI (°C)	TD (°C)
05/01/2015	907	900	888	891	498	478
07/01/2015	907	900	886	889	501	477
08/01/2015	907	900	887	904	499	476
09/01/2015	907	900	887	891	500	477
12/01/2015	896	900	843	885	498	480
13/01/2015	900	901	885	906	500	485
14/01/2015	907	900	890	885	499	485
15/01/2015	904	900	888	890	500	480
16/01/2015	892	900	880	885	500	480
19/01/2015	893	900	889	885	490	480

➤ **RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y TORAS PROPIEDADES MECÁNICAS:**

A continuación se muestra en las siguientes tablas (Tabla. 15, 16 y 17), los parámetros mecánicos, obtenidos en los ensayos a tracción. Como la composición química y características de las muestras de alambre patentado. A continuación se detallan algunas tales como:

• **GRUPO K53 - K70**

Tabla 15. Resultados de los parámetros mecánicos para el grupo K53-K70

FECHA	CALIDAD	∅ (mm)	COLADA	%C	%Mn	BULTO	C. Real (MPa)	C.Teórica (MPa)	Dif. (MPa)	Zona Pb	E (%)	A (%)
19/01/2015	K60	10,01	GS03761	0,6	0,660	2698676	1096	1078	19	I	58,98	22
12/01/2015	K65	5,5	GS61269	0,63	0,610	2693788	1129	1103	27	D	37,33	12
05/01/2015	K68	5,5	GS03649	0,655	0,685	2659288	1130	1141	-11	D	52,29	14
19/01/2015	K68	5,51	GS03823	0,653	0,685	2700839	1146	1139	8	D	46,98	12
15/01/2015	K68	5,51	GS99029	0,665	0,670	2687911	1168	1149	19	D	39,97	14

• **GRUPO K73-K80**

Tabla 16. Resultados de los parámetros mecánicos para el grupo K73-K80

FECHA	CALIDAD	∅ (mm)	COLADA	%C	%Mn	BULTO	C. Real (MPa)	C.Teórica (MPa)	Dif. (MPa)	Zona Pb	E (%)	A (%)
05/01/2015	K73	6,51	GS03635	0,712	0,625	2688153	1151	1193	-43	D	41,08	10
15/01/2015	K75	6,51	GS04534	0,735	0,640	2696534	1195	1220	-25	D	39,44	12
14/01/2015	K75	6,51	GS04534	0,735	0,640	2697172	1192	1220	-28	I	43,78	10
20/01/2015	K75	6,51	GS04534	0,735	0,640	2698498	1226	1220	6	D	44,63	14
19/01/2015	K75	9	GS04941	0,72	0,670	2697825	1207	1209	-1	D	45,39	12
08/01/2015	K78	5,5	GS98628	0,765	0,620	2688424	1256	1250	6	D	16,99	10
08/01/2015	K80	5,5	GS72703	0,8	0,670	2685699	1240	1295	-54	D	38,16	12
19/01/2015	K80	5,5	GS72703	0,8	0,670	2698522	1296	1295	1	D	44,75	10

• GRUPO K83-K85

Tabla 17. Resultados de los parámetros mecánicos para el grupo K83-K85

FECHA	CALIDAD	∅ (mm)	COLADA	%C	%Mn	BULTO	C. Real (MPa)	C.Teórica (MPa)	Dif. (MPa)	Zona Pb	E (%)	A (%)
08/01/2015	K83	5,5	GS04290	0,82	0,630	2684824	1276	1311	-34	I	32,85	10
12/01/2015	K83	5,5	GS98658	0,825	0,610	2692987	1255	1313	-58	D	29,71	8
16/01/2015	K83	5,51	GS01141	0,83	0,530	2697682	1250	1307	-56	D	32,35	12
13/01/2015	K83	6	gs04289	0,83	0,610	2692855	1267	1318	-52	I	42,62	10
20/01/2015	K83	6	GS04289	0,83	0,610	2696537	1327	1318	9	I	39,65	10
19/01/2015	K83	6	GS04289	0,83	0,610	2696538	1306	1318	-13	I	35,71	12
15/01/2015	K83	6,5	GS04290	0,82	0,630	2692409	1300	1311	-11	D	32,43	10
14/01/2015	K83	6,5	GS04290	0,82	0,630	2694678	1302	1311	-9	I	36,32	13
15/01/2015	K83	6,5	GS04290	0,82	0,630	2694683	1334	1311	24	I	36,39	12
14/01/2015	K83	6,5	GS04290	0,82	0,630	2694971	1293	1311	-17	I	36,12	12
14/01/2015	K83	6,5	GS04290	0,82	0,630	2694972	1305	1311	-5	I	37,15	12
16/01/2015	K83	6,5	GS04290	0,82	0,630	2695190	1351	1311	41	I	36,44	12
16/01/2015	K83	6,5	GS04290	0,82	0,630	2695193	1290	1311	-20	I	32,91	11
15/01/2015	K83	6,5	GS04290	0,82	0,630	2695204	1344	1311	33	I	30,73	10
16/01/2015	K83	6,5	GS04290	0,82	0,630	2698822	1328	1311	18	I	32,18	10
09/01/2015	K83	7	GS00331	0,823	0,605	2683047	1270	1310	-41	D	34,76	12
20/01/2015	K83	7	GS02185	0,83	0,615	2700498	1361	1319	42	I	36,21	10
20/01/2015	K83	7	GS02185	0,83	0,615	2700516	1284	1319	-36	I	35,24	12
05/01/2015	K83	7	GS03754	0,813	0,605	2688705	1243	1299	-57	D	30,56	14
15/01/2015	K83	7	GS04290	0,82	0,630	2687507	1287	1311	-23	D	34,09	10
09/01/2015	K83	7	GS04290	0,82	0,630	2688711	1294	1311	-17	D	38,31	10
08/01/2015	K83	7	GS04290	0,82	0,630	2688713	1287	1311	-23	D	33,20	12



FECHA	CALIDAD	∅ (mm)	COLADA	%C	%Mn	BULTO	C. Real (MPa)	C.Teórica (MPa)	Dif. (MPa)	Zona Pb	E (%)	A (%)
07/01/2015	K83	7	GS04290	0,82	0,630	2689416	1282	1311	-28	I	10,67	12
07/01/2015	K83	7	GS04290	0,82	0,630	2689420	1293	1311	-18	I	38,47	10
12/01/2015	K83	7	GS60712	0,8	0,680	2693703	1285	1296	-11	D	39,85	10
12/01/2015	K83	7	GS60712	0,8	0,680	2693724	1336	1296	40	D	39,34	12
13/01/2015	K83	7	GS60712	0,8	0,680	2695142	1317	1296	20	D	38,98	11
13/01/2015	K83	7,01	GS60712	0,8	0,680	2694577	1330	1296	34	D	39,47	15
13/01/2015	K83	7,01	GS60712	0,8	0,680	2695164	1266	1296	-30	D	37,86	14
13/01/2015	K83	7,01	GS60712	0,8	0,680	2696080	1348	1296	52	D	34,39	13
19/01/2015	K83	8	GS04289	0,83	0,610	2699593	1322	1318	4	I	32,02	10
08/01/2015	K83	8	GS04845	0,82	0,630	2692218	1245	1311	-66	D	43,11	14
09/01/2015	K83	8	GS04845	0,82	0,630	2692229	1262	1311	-48	D	39,35	13
09/01/2015	K83	8	GS04845	0,82	0,630	2692902	1279	1311	-31	D	40,71	14
09/01/2015	K83	8	GS04845	0,82	0,630	2692915	1254	1311	-57	D	35,84	12
12/01/2015	K83	9	GS04530	0,83	0,630	2694504	1270	1321	-52	D	38,66	12
12/01/2015	K83	9	GS04845	0,83	0,620	2694706	1264	1320	-56	D	36,66	13
12/01/2015	K83	9	GS04845	0,83	0,620	2694707	1257	1320	-63	D	40,09	16
12/01/2015	K83	9	GS04845	0,83	0,620	2695137	1278	1320	-42	D	38,26	12
07/01/2015	K85	6,5	GS03630	0,847	0,625	2689072	1359	1339	20	D	32,91	10
05/01/2015	K85	6,5	GS03630	0,847	0,625	2689545	1315	1339	-24	D	36,00	10

ANEXO III: ANALISIS METALOGRAFICO INICIAL

A continuación se muestra en las siguientes tablas (Tabla. 18, 19 y 20), los resultados obtenidos en el análisis metalográfico, para los 3 grupos de calidades estudiados.

- **GRUPO K53 - K70**

Tabla 18. Resultados del análisis metalográfico para el grupo K53-K70

FECHA	CALIDAD	Ø	BULTO	ESTRUCTURA SORBITICA	UBICACIÓN
07/11/2014	K53	10	2658818		CD adjunto
11/11/2014	K53	10	2658821		CD adjunto
11/11/2014	K53	10	2659585	0,5% PL	CD adjunto
20/11/2014	K53	10	2668354		CD adjunto
06/11/2014	K65	5,5	2655191	MUY ACIRCULAR	CD adjunto
21/11/2014	K65	5,51	2666666	MUY ACIRCULAR	CD adjunto
21/11/2014	K65	5,51	2666667	MUY ACIRCULAR	CD adjunto
17/11/2014	K68	5,5	2664264		CD adjunto
20/11/2014	K68	5,5	2666209	ENTERA ACIRCULAR	CD adjunto
06/11/2014	K68	6,5	2656163	0,5% PL + RED DE Fe α	CD adjunto
06/11/2014	K68	6,5	2656194	0,5% PL + RED DE Fe α	CD adjunto
31/10/2014	K70	6,51	2652826	1% PL + ACIRCULAR	CD adjunto
10/11/2014	K70	6,51	2655247		CD adjunto
07/11/2014	K70	6,51	2655726	ACIRCULAR	CD adjunto
10/11/2014	K70	6,51	2655727		CD adjunto
07/11/2014	K70	6,51	2656202	1% PL	CD adjunto
07/11/2014	K70	6,51	2657990		CD adjunto
10/11/2014	K70	6,51	2657991		CD adjunto
11/11/2014	K70	6,51	2657992		CD adjunto
07/11/2014	K70	6,51	2657993		CD adjunto
10/11/2014	K70	6,51	2658004		CD adjunto
11/11/2014	K70	6,51	2660638	ACIRCULAR	CD adjunto
13/11/2014	K70	6,51	2661111	1% PL + POCO ACIRCULAR	CD adjunto
14/11/2014	K70	6,51	2662656		CD adjunto
11/11/2014	K70	8	2659480	2% PL + RED DE Fe α	CD adjunto
28/11/2014	K70	8	2672411	3% PL + RED DE Fe α	CD adjunto

• GRUPO K73-K80

Tabla 19. Resultados del análisis metalográfico para el grupo K73-K80

FECHA	CALIDAD	Ø	BULTO	ESTRUCTURA SORBITICA	UBICACIÓN
31/10/2014	K73	6,51	2648927		CD adjunto
31/10/2014	K73	6,51	2650428		CD adjunto
03/11/2014	K73	6,51	2650429	ACIRCULAR	CD adjunto
28/11/2014	K73	6,51	2668135		CD adjunto
02/12/2014	K73	6,51	2676533	ACIRCULAR	CD adjunto
24/11/2014	K75	5,51	2669735		CD adjunto
10/12/2014	K75	5,51	2678151	2% PL + ACIRCULAR EN PERIFERIA	CD adjunto
20/11/2014	K75	6,51	2665429		CD adjunto
18/11/2014	K75	6,51	2665430		CD adjunto
18/11/2014	K75	6,51	2665910		CD adjunto
21/11/2014	K75	6,51	2666212	0,5% PL	CD adjunto
19/11/2014	K75	6,51	2667271	1% PL	CD adjunto
21/11/2014	K75	6,51	2668759		CD adjunto
02/12/2014	K75	6,51	2674496		CD adjunto
04/12/2014	K75	6,51	2674499	0,5% PL	CD adjunto
04/12/2014	K75	6,51	2675202	1% PL	CD adjunto
03/12/2014	K75	6,51	2677029	2% PL	CD adjunto
03/12/2014	K75	6,51	2677031	ACIRCULAR EN PERIFERIA	CD adjunto
04/12/2014	K75	6,51	2677032		CD adjunto
28/11/2014	K75	9	2671772		CD adjunto
19/11/2014	K75	10	2666720	1,5% PL	CD adjunto
21/11/2014	K75	10	2668009	2% PL + RED Fe α FINA	CD adjunto
21/11/2014	K75	10	2668010	1% PL	CD adjunto
25/11/2014	K78	5,5	2670052	ACIRCULAR	CD adjunto
24/11/2014	K78	5,5	2670065	POCO ACIRCULAR	CD adjunto
25/11/2014	K78	5,5	2671135	POCO ACIRCULAR	CD adjunto
25/11/2014	K78	5,5	2671136		CD adjunto
26/11/2014	K78	5,5	2671548		CD adjunto
26/11/2014	K78	5,51	2666791	3% PL	CD adjunto
27/11/2014	K78	5,51	2670507	ACIRCULAR	CD adjunto
18/11/2014	K80	5,5	2655103	0,5% PL	CD adjunto
10/11/2014	K80	5,5	2664196	MEDIO ACIRCULAR	CD adjunto

FECHA	CALIDAD	Ø	BULTO	ESTRUCTURA SORBITICA	UBICACIÓN
10/11/2014	K80	5,5	2664197	1%PL + POCO ACIRCULAR	CD adjunto
14/11/2014	K80	5,5	2664694	MEDIO ACIRCULAR	CD adjunto
14/11/2014	K80	5,5	2664695	MUY ACIRCULAR	CD adjunto
24/11/2014	K80	5,5	2666125	MUY ACIRCULAR	CD adjunto
25/11/2014	K80	5,5	2667240	MEDIO ACIRCULAR	CD adjunto
24/11/2014	K80	5,5	2667994	POCO ACIRCULAR	CD adjunto
26/11/2014	K80	5,5	2668249	MUY ACIRCULAR	CD adjunto
26/11/2014	K80	5,5	2669258	MUY ACIRCULAR	CD adjunto
27/11/2014	K80	6,51	2659565		CD adjunto
02/12/2014	K80	6,51	2659573		CD adjunto
28/11/2014	K80	6,51	2664243		CD adjunto
27/11/2014	K80	6,51	2665641		CD adjunto
14/11/2014	K80	6,51	2666718	ACIRCULAR	CD adjunto
14/11/2014	K80	6,51	2670047	1% PL	CD adjunto
24/11/2014	K80	6,51	2670048		CD adjunto
20/11/2014	K80	6,51	2671082		CD adjunto
19/11/2014	K80	6,51	2671083		CD adjunto
18/11/2014	K80	6,51	2671499		CD adjunto
18/11/2014	K80	6,51	2671500		CD adjunto
21/11/2014	K80	6,51	2671826		CD adjunto
21/11/2014	K80	6,51	2671827	0,5% PL	CD adjunto
25/11/2014	K80	8	2662625		CD adjunto
24/11/2014	K80	8	2662626	0,5% PL	CD adjunto

• GRUPO K83-K85

Tabla 20. Resultados del análisis metalográfico para el grupo K83-K85

FECHA	CALIDAD	∅ (mm)	BULTO	ESTRUCTURA SORBITICA	UBICACIÓN
11/11/2014	K83	3,7	2659449	POCO ACIRCULAR	CD adjunto
10/11/2014	K83	3,7	2659450		CD adjunto
11/11/2014	K83	3,7	2660297		CD adjunto
06/11/2014	K83	3,8	2659249	1% PL	CD adjunto
11/11/2014	K83	3,8	2659250		CD adjunto
11/11/2014	K83	3,8	2659251	ACIRCULAR	CD adjunto
11/11/2014	K83	4,05	2657022		CD adjunto
02/12/2014	K83	5,5	2651892		CD adjunto
17/11/2014	K83	5,5	2654071	MUY ACIRCULAR	CD adjunto
17/11/2014	K83	6	2651999	ACIRCULAR	CD adjunto
17/11/2014	K83	6	2652059	POCO ACIRCULAR	CD adjunto
17/11/2014	K83	6	2652061	POCO ACIRCULAR	CD adjunto
18/11/2014	K83	6	2654017	MUY ACIRCULAR	CD adjunto
18/11/2014	K83	6	2671467	ACIRCULAR	CD adjunto
17/11/2014	K83	6	2679323	ACIRCULAR	CD adjunto
20/11/2014	K83	6,01	2674652		CD adjunto
01/12/2014	K83	6,5	2260108	ACIRCULAR	CD adjunto
01/12/2014	K83	6,5	2655136	POCO ACIRCULAR	CD adjunto
28/11/2014	K83	6,5	2655754		CD adjunto
01/12/2014	K83	6,5	2655755	0,5% PL	CD adjunto
28/11/2014	K83	6,5	2655756	POCO ACIRCULAR	CD adjunto
24/11/2014	K83	6,5	2656362	POCO ACIRCULAR	CD adjunto
24/11/2014	K83	6,5	2658363	POCO ACIRCULAR	CD adjunto
24/11/2014	K83	6,5	2658840		CD adjunto
24/11/2014	K83	6,5	2660106	POCO ACIRCULAR	CD adjunto
24/11/2014	K83	6,5	2660629	POCO ACIRCULAR	CD adjunto
24/11/2014	K83	6,5	2660630		CD adjunto
24/11/2014	K83	6,5	2662309		CD adjunto
25/11/2014	K83	7	2651517	POCO ACIRCULAR	CD adjunto
31/10/2014	K83	7	2652799	2% PL	CD adjunto
13/11/2014	K83	7	2652800		CD adjunto
13/11/2014	K83	7	2652801	1% PL	CD adjunto
14/11/2014	K83	7	2654066		CD adjunto
14/11/2014	K83	7	2654785	1% PL	CD adjunto
05/12/2014	K83	7	2661255	1% PL	CD adjunto
04/11/2014	K83	7	2661260		CD adjunto

FECHA	CALIDAD	Ø (mm)	BULTO	ESTRUCTURA SORBITICA	UBICACIÓN
06/11/2014	K83	7	2661261		CD adjunto
10/11/2014	K83	7	2677224		CD adjunto
05/11/2014	K83	8	2663295	POCO ACIRCULAR	CD adjunto
03/11/2014	K83	8	2663296	4% PL	CD adjunto
04/11/2014	K83	8	2664222	2% PL	CD adjunto
04/12/2014	K83	8	2664667	4% PL	CD adjunto
04/12/2014	K83	8	2664669	2% PL	CD adjunto
11/11/2014	K83	8	2665352	3% PL	CD adjunto
06/11/2014	K83	8	2665852	2% PL	CD adjunto
05/11/2014	K83	8	2667106	3% PL	CD adjunto
07/11/2014	K83	8	2672585	2% PL	CD adjunto
06/11/2014	K83	8	2672886	POCO ACIRCULAR	CD adjunto
07/11/2014	K83	8	2672887	1% PL	CD adjunto
07/11/2014	K83	8	2672888		CD adjunto
14/11/2014	K83	8	2673775		CD adjunto
10/11/2014	K83	8,5	2668710	2% PL	CD adjunto
11/11/2014	K83	8,5	2668711	1% PL	CD adjunto
13/11/2014	K83	8,5	2668712	2% PL	CD adjunto
12/11/2014	K83	8,5	2668713	1% PL	CD adjunto
12/11/2014	K83	8,5	2669439	2% PL	CD adjunto
14/11/2014	K83	8,5	2669441	1% PL	CD adjunto
10/12/2014	K83	8,5	2669740		CD adjunto
31/10/2014	K83	8,5	2669956	1% PL	CD adjunto
19/11/2014	K83	8,5	2669957		CD adjunto
03/11/2014	K83	8,5	2670093	2% PL	CD adjunto
03/11/2014	K83	8,5	2671183		CD adjunto
03/11/2014	K83	9,5	2652591	0,5% PL	CD adjunto
03/11/2014	K83	9,5	2661382	0,5% PL	CD adjunto
03/11/2014	K83	9,5	2661395	3% PL	CD adjunto
13/11/2014	K83	9,5	2662045	1,5% PL	CD adjunto
13/11/2014	K83	9,5	2662046	5% PL	CD adjunto
13/11/2014	K83	9,5	2676360	1% PL	CD adjunto
09/12/2014	K83	9,5	2678172	0,5% PL	CD adjunto

ANEXO IV: ANALISIS METALOGRAFICO TRAS LA MEJORA

A continuación se muestra en las siguientes tablas (Tabla. 21, 22 y 23), los resultados obtenidos en el análisis metalográfico, tras la mejora propuesta.

- **GRUPO K53 - K70**

Tabla 21. Resultados del análisis metalográfico para el grupo K53-K70

FECHA	CALIDAD	∅ (mm)	BULTO	ESTRUCTURA SORBITICA	UBICACIÓN
19/01/2015	K60	10,01	2698676	0,5% PL	CD adjunto
12/01/2015	K65	5,51	2693788		CD adjunto
05/01/2015	K68	5,5	2688290	0,5%PL	CD adjunto
19/01/2015	K68	5,5	2700839		CD adjunto
15/01/2015	K68	5,51	2687911		CD adjunto

- **GRUPO K73-K80**

Tabla 22. Resultados del análisis metalográfico para el grupo K73-K80

FECHA	CALIDAD	∅ (mm)	BULTO	ESTRUCTURA SORBITICA	UBICACIÓN
15/01/2015	K75	6,51	2696534	0,5% PL	CD adjunto
20/01/2015	K75	6,51	2698498	0,5% PL	CD adjunto
19/01/2015	K75	9	2697825	1% PL	CD adjunto
08/01/2015	K78	5,5	2688424	0,5% PL	CD adjunto
08/01/2015	K80	5,5	2685699	POCO ACIRCULAR	CD adjunto
08/01/2015	K80	5,5	2697999		CD adjunto
19/01/2015	K80	5,5	2698522		CD adjunto
19/01/2015	K80	5,5	2699765	POCO ACIRCULAR	CD adjunto

- **GRUPO K83-K85**

Tabla 23. Resultados del análisis metalográfico para el grupo K83-K85

FECHA	CALIDAD	∅ (mm)	BULTO	ESTRUCTURA SORBITICA	UBICACIÓN
08/01/2015	K83	5,5	2684824		CD adjunto
12/01/2015	K83	5,51	2692987	0,5% PL	CD adjunto
16/01/2015	K83	5,51	2697682		CD adjunto
13/01/2015	K83	6	2692855		CD adjunto
20/01/2015	K83	6	2696537	POCO ACIRCULAR	CD adjunto
19/01/2015	K83	6	2696538		CD adjunto
15/01/2015	K83	6,5	2692409	POCO ACIRCULAR	CD adjunto
14/01/2015	K83	6,5	2694678		CD adjunto

FECHA	CALIDAD	∅ (mm)	BULTO	ESTRUCTURA SORBITICA	UBICACIÓN
15/01/2015	K83	6,5	2694683		CD adjunto
14/01/2015	K83	6,5	2694971	POCO ACIRCULAR	CD adjunto
14/01/2015	K83	6,5	2694972		CD adjunto
16/01/2015	K83	6,5	2695190		CD adjunto
16/01/2015	K83	6,5	2695193		CD adjunto
15/01/2015	K83	6,5	2695204		CD adjunto
16/01/2015	K83	6,5	2698822		CD adjunto
09/01/2015	K83	7	2683047	0,5 % PL	CD adjunto
15/01/2015	K83	7	2687507		CD adjunto
05/01/2015	K83	7	2688705		CD adjunto
09/01/2015	K83	7	2688711		CD adjunto
08/01/2015	K83	7	2688713	0,5% PL	CD adjunto
07/01/2015	K83	7	2689416		CD adjunto
07/01/2015	K83	7	2689420	0,5% PL	CD adjunto
20/01/2015	K83	7	2700498		CD adjunto
20/01/2015	K83	7	2700516	1% PL	CD adjunto
12/01/2015	K83	7,01	2693703	0,5% PL	CD adjunto
12/01/2015	K83	7,01	2693724		CD adjunto
13/01/2015	K83	7,01	2694577		CD adjunto
13/01/2015	K83	7,01	2695164	0,5% PL	CD adjunto
13/01/2015	K83	7,01	2696080		CD adjunto
08/01/2015	K83	8	2692218	1% PL	CD adjunto
09/01/2015	K83	8	2692229	1,5% PL	CD adjunto
09/01/2015	K83	8	2692902	3% PL	CD adjunto
09/01/2015	K83	8	2692915	2% PL	CD adjunto
19/01/2015	K83	8	2699593	0,5% PL	CD adjunto
12/01/2015	K83	9	2694504	1,5% PL	CD adjunto
12/01/2015	K83	9	2694706	0,5% PL	CD adjunto
12/01/2015	K83	9	2694707	1% PL	CD adjunto
12/01/2015	K83	9	2695137	0,5% PL	CD adjunto