



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

# **Control y caracterización de los suministradores de bobina negra. Optimización de la calidad y de la producción.**

Autor: Francisco de Asís Marín Gómez

Director: Nicolás Maraver Baselga

Madrid

Agosto 2016





## **AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN ACCESO ABIERTO (RESTRINGIDO) DE DOCUMENTACIÓN**

### ***1ª. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.***

El autor D. Francisco de Asís Marín Gómez, como Ingeniero de master de la UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS, **DECLARA** que es el titular de los derechos de propiedad intelectual, objeto de la presente cesión, en relación con la obra CONTROL Y CARACTERIZACIÓN DE LOS SUMINISTRADORES DE BOBINA NEGRA. OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD Y DE LA PRODUCCIÓN que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual como titular único o cotitular de la obra.

En caso de ser cotitular, el autor D. Francisco de Asís Marín Gómez declara asimismo que cuenta con el consentimiento de los restantes titulares para hacer la presente cesión. En caso de previa cesión a terceros de derechos de explotación de la obra, el autor declara que tiene la oportuna autorización de dichos titulares de derechos a los fines de esta cesión o bien que retiene la facultad de ceder estos derechos en la forma prevista en la presente cesión y así lo acredita.

### ***2ª. Objeto y fines de la cesión.***

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad y hacer posible su utilización de *forma libre y gratuita (con las limitaciones que más adelante se detallan)* por todos los usuarios del repositorio y del portal e-ciencia, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución, de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra (a) del apartado siguiente.

### ***3ª. Condiciones de la cesión.***

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia, el repositorio institucional podrá:

- (a) Transformarla para adaptarla a cualquier tecnología susceptible de incorporarla a internet; realizar adaptaciones para hacer posible la utilización de la obra en formatos electrónicos, así como incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- (b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- (c) Comunicarla y ponerla a disposición del público a través de un archivo abierto institucional, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.<sup>1</sup>
- (d) Distribuir copias electrónicas de la obra a los usuarios en un soporte digital.<sup>2</sup>

#### **4º. Derechos del autor.**

El autor, en tanto que titular de una obra que cede con carácter no exclusivo a la Universidad por medio de su registro en el Repositorio Institucional tiene derecho a:

- a) A que la Universidad identifique claramente su nombre como el autor o propietario de los derechos del documento.
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada. A tal fin deberá ponerse en contacto con el vicerrector/a de investigación ([curiarte@rec.upcomillas.es](mailto:curiarte@rec.upcomillas.es)).
- d) Autorizar expresamente a COMILLAS para, en su caso, realizar los trámites necesarios para la obtención del ISBN.

---

<sup>1</sup> En el supuesto de que el autor opte por el acceso restringido, este apartado quedaría redactado en los siguientes términos:  
(c) Comunicarla y ponerla a disposición del público a través de un archivo institucional, accesible de modo restringido, en los términos previstos en el Reglamento del Repositorio Institucional

<sup>2</sup> En el supuesto de que el autor opte por el acceso restringido, este apartado quedaría eliminado.

d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

**5º. Deberes del autor.**

El autor se compromete a:

a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.

b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.

c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

**6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

a) Deberes del repositorio Institucional:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.

- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.

- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.



b) Derechos que se reserva el Repositorio institucional respecto de las obras en él registradas:

- retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 29 de Agosto de 2016

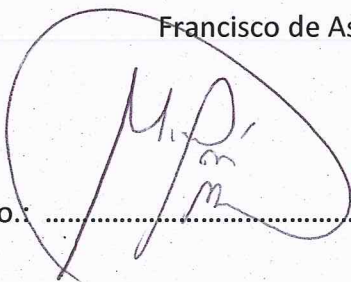
ACEPTA

Fdo.....

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
CONTROL Y CARACTERIZACIÓN DE LOS SUMINISTRADORES DE BOBINA NEGRA.  
OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD Y DE LA PRODUCCIÓN

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2015/2016 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de  
otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada  
de otros documentos está debidamente referenciada.

Francisco de Asís Marín Gómez

Fdo.:  .....

Fecha: 23/08/2016

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Nicolás Maraver Baselga

Fdo.: .....

Fecha: 23/08/2016

Vº Bº del Coordinador de Proyectos

Jaime de Rábago Marín

Fdo.: .....

Fecha: 23/08/2016



---

# CONTROL Y CARACTERIZACIÓN DE LOS SUMINISTRADORES DE BOBINA NEGRA DE BAHRU STAINLESS. OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD Y DE LA PRODUCCIÓN

**Autor: Marín Gómez, Francisco de Asís**

Director: Maraver Baselga, Nicolás

Entidad colaboradora: ICAI-Universidad Pontificia Comillas

## RESUMEN DEL PROYECTO

### Introducción

La importancia del acero inoxidable en la industria se ha ido incrementando con el paso de los años debido a una demanda mundial que no ha dejado de crecer a lo largo de las últimas décadas.

Debido a las propiedades anticorrosivas del acero inoxidable, éste es utilizado en múltiples industrias en las cuales la estética y la duración de las propiedades mecánicas del material son atributos indispensables, tales como en la construcción o en el mundo de la automoción. Además, al no formarse óxido de hierro, este tipo de acero destaca por sus propiedades higiénicas, lo que lo hacen imprescindible en la fabricación de utensilios de cocina.

Acerinox es la empresa líder a nivel mundial en capacidad de producción del acero inoxidable. Mediante su fábrica principal situada en Algeciras y sus distintas filiales nacionales e internacionales, es capaz de producir más de 3,5 millones de toneladas al año. La fábrica más reciente pertenece a su filial Bahru Stainless, situada en Johor Bahru (Malasia). Su construcción en el año 2011 supuso un nuevo paso del grupo en su objetivo de internacionalizarse centrándose esta vez en el emergente mercado asiático.

Debido a la fuerte competencia que sufre Bahru Stainless originada en los últimos años por un fuerte crecimiento en la producción de este acero en China, la empresa se ve obligada a reinventarse año tras año. Uno de los aspectos importantes para mantenerse competitivos es la búsqueda de una mejora continua en la calidad del producto final. Otro tema importante es el ahorro de costes. Para ello, resulta importante realizar un control y caracterización de los distintos suministradores de la materia prima principal, la bobina

---

negra, con el fin de analizar los costes de rendimiento, así como llevar a cabo análisis de sensibilidad para encontrar el reparto óptimo que conlleve el mayor ahorro posible.

Por tanto, llevar a cabo y desarrollar estas ideas, las cuales son objeto de estudio de este proyecto, son necesarios, entre otras muchas cosas, para afrontar el futuro de la empresa.

## Metodología

El objetivo principal de realizar este proyecto consiste en recoger y gestionar una gran cantidad de datos contenidos en el sistema de gestión de información de la fábrica con el fin de analizar el impacto económico que genera el reparto de los distintos suministradores de materia prima de la planta, así como llevar a cabo un estudio de las distintas medidas para la mejora de la calidad y del rendimiento de Bahru Stainless.

Para ello, se llevarán a cabo diversas tareas que permitirán cumplir con los objetivos del proyecto.

El primer bloque consiste en estudiar las bobinas de caliente, es decir, antes de laminación. Para ello, en primer lugar, se realizará un análisis de las principales características de las bobinas negras que entraron en la fábrica en el año 2015 en función de su suministrador, y se efectuará un estudio de los rendimientos en caliente que presentan, así como su peso medio y los costes de rendimiento en función de distintos parámetros.

Acto seguido, se llevará a cabo un estudio acerca de la calidad de las bobinas de caliente a la salida de la línea de producción. Para ello se analizarán los defectos en cabeza y cola de las bobinas estudiadas.

Más tarde, como medida adicional de calidad, se estudiarán las coronas (espesores medidos a lo largo de todo el ancho de la banda) que presentan las bobinas, y usando las normas internacionales y las propias de Bahru se comprobará si estas medidas cumplen las tolerancias requeridas. Esto es fundamental a la hora de vender un producto al cliente.

Una vez hecho esto, se elaborará un análisis del rendimiento de cada línea de la planta en base a los distintos parámetros de las bobinas con el objetivo de comprobar en qué parte del proceso de producción se encuentran los mayores problemas de rendimiento, hecho que repercute directamente en los costes de producción.

A continuación, se realizarán unas tablas de productividad de cada línea de la fábrica con el fin de calcular la ocupación media de ésta y ver si su capacidad es la adecuada. También se comparará el nivel de producción real con el teórico de diseño con el fin de ver lo óptimo del proceso.

Una vez terminado esto, se procederá con el segundo bloque del proyecto, que consiste en analizar las bobinas en frío, o lo que es lo mismo, una vez laminadas y al final del proceso. Para ello se volverán a analizar los rendimientos y la calidad en este nuevo punto. También se añadirá un estudio estadístico sobre las propiedades mecánicas que presentan las bobinas. A partir de muestras del producto final, se somete al material a un ensayo de tracción en el laboratorio, obteniéndose los valores de límite elástico, elongación o tensión máxima a rotura, entre otros.

Por último, se volverá a obtener nuevas tablas de productividad, pero esta vez de las líneas posteriores al proceso de laminación.

La metodología utilizada proporcionará unos resultados que se resumen en el siguiente apartado.

## Resultados

Se establecieron grupos de bobinas en función de sus características para facilitar el análisis posterior. Se realizaron grupos de ancho, espesor y tipos de acero. Después, se realizaron tablas dinámicas para ver el número de toneladas de materia prima que suministra cada proveedor y ver así cuál de ellos es el más importante para la empresa. La siguiente tabla muestra el porcentaje de suministro de cada uno de ellos respecto al total del grupo de espesor.

Sum of Mass In (MT)	Gauge (mm)					Grand Total
Supplier	3	4	5-7	8-9	10-12	
Suministrador B	26,1%	35,8%	39,7%	51,4%	33,8%	35,3%
Suministrador A	44,4%	29,2%	34,5%	43,4%	66,2%	38,5%
Suministrador E	2,8%	5,7%	7,1%	3,2%	0,0%	4,6%
Suministrador F	0,9%	0,4%	0,4%	0,2%	0,0%	0,5%
Suministrador D	8,8%	6,6%	6,4%	1,8%	0,0%	6,5%
Suministrador C	16,9%	22,3%	11,9%	0,0%	0,0%	14,6%
<b>Grand Total</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>

En cuanto a los rendimientos, se hizo un estudio de ellos en función del suministrador. Previamente se hicieron análisis para determinar si las distintas características de las bobinas influían en el rendimiento. Se hicieron grupos que tuvieran valores parecidos, para que se pudieran analizar los suministradores sin importar el tipo de bobina que venden. El resultado para un mismo grupo viene a continuación:

Average of Yield	Gauge (mm)	
Supplier	3	4
Suministrador B		
Suministrador A	0,30%	0,28%
Suministrador E	0,57%	0,43%
Suministrador F	0,18%	0,30%
Suministrador D	0,93%	0,62%
Suministrador C	0,87%	0,72%

Los resultados vienen representados como variación porcentual respecto al suministrador B, que se coge como referencia.

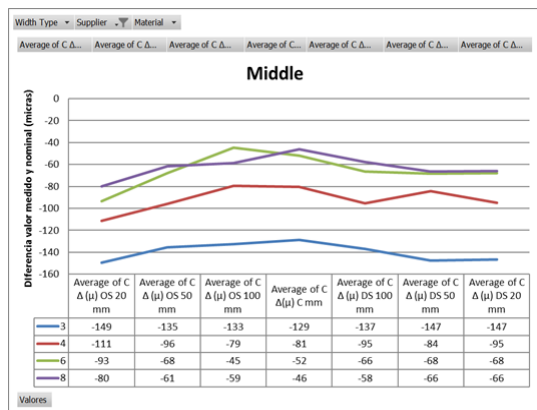
Otro parámetro importante a evaluar es el coste de rendimiento, que cuantifica las pérdidas en las cuáles incurre la empresa debido a la pérdida de masa que sufren sus bobinas por no presentar un rendimiento del 100%. Los resultados obtenidos se reflejan a continuación, de nuevo como variación porcentual respecto al suministrador B.

Average of Yield Cost (\$/Mt) Gauge (mm)						
Supplier	3	4	5-7	8-9	10-12	Total general
Suministrador B						
Suministrador A	-21,4%	-21,0%	-11,8%	-10,5%	-13,8%	-15,6%
Suministrador E	-39,4%	-35,5%	-35,4%	-32,3%		-36,1%
Suministrador D	-62,8%	-50,1%	-36,6%	-38,2%		-49,0%
Suministrador C	-58,8%	-57,9%	-48,7%			-52,0%

En cuanto a la calidad, se estableció como indicador el número medio de metros de defectos que presentaban las bobinas en cabeza y cola. Los resultados, una vez agrupados en grupos parecidos, fue el siguiente:

Supplier	Average of Top Head (m)	Average of Top Tail (m)
Suministrador B	9,26	9,34
Suministrador A	9,15	9,17
Suministrador E	9,40	9,18
Suministrador D	8,58	8,66
Suministrador C	9,24	9,32
<b>Total general</b>	<b>9,15</b>	<b>9,20</b>

Ahora se muestran algunos de los resultados del perfil de coronas obtenido. Las gráficas representan las distintas medidas de espesor realizadas a lo largo de todo el ancho de la bobina en su parte central. Los valores mostrados representan la diferencia media (en micras) entre el espesor medido y el nominal de cada bobina, para cada punto. A la izquierda la gráfica es en función del espesor, y a la derecha en función del suministrador.

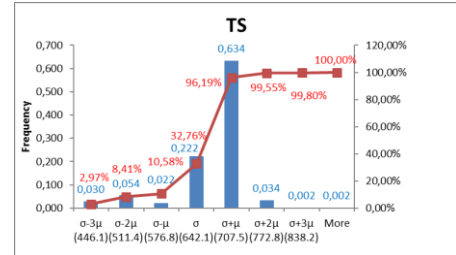


En cuanto a los rendimientos en frío, se obtuvo la siguiente gráfica. En ella aparece el rendimiento global y desglosado en: rendimiento de caliente (HY), de frío (CY) y de las líneas de acabado (FLY). Los números hacen alusión a los valores relativos de rendimiento respecto del suministrador B:

Suministrador	Average of HY	Average of CY	Average of FLY	Average of Overall
Suministrador B				
Suministrador A	0,3%	-0,2%	-0,1%	0,0%
Suministrador E	0,6%	-1,7%	0,0%	-1,1%
Suministrador D	0,9%	-1,0%	-0,4%	-0,5%
Suministrador C	0,9%	-0,6%	0,4%	0,6%
<b>Grand Total</b>				

Después, se obtuvieron las propiedades mecánicas medias por suministrador, para aceros 304 y espesores intermedios, al igual que un histograma para la tensión máxima a rotura con todos los rangos estadísticos con criterio sigma, 2-sigma y 3-sigma, y la cantidad de veces que caían en cada rango.

Supplier	Average of TS	Average of YS	Average of A50	Average of HRB
Suministrador B	660,6	314,2	53,9	81,2
Suministrador A	685,4	298,9	56,8	80,6
Suministrador E	651,4	311,7	53,6	81,6
Suministrador D	687,7	283,3	54,1	79,9
Suministrador C	693,9	292,4	54,7	81,2
<b>Grand Total</b>	<b>679,4</b>	<b>300,2</b>	<b>55,2</b>	<b>80,8</b>



Por último, se obtuvieron las tablas de productividad de las líneas de frío para sacar las conclusiones que se pueden encontrar en el siguiente apartado.

Conclusiones

El suministrador B es el más importante, ya que entrega a Bahru un 38% de las bobinas. Le siguen el A (35%) y el C (16%).

En cuanto a tipos de acero, el material 304 es el más importante, y con un 87%, acapara la mayor cuota de la fábrica. Le sigue de lejos el 316, con un 7%. El resto de los aceros apenas representan el 6%.

A lo que anchos se refiere, los más importantes son los que tienen un ancho de 1220 y 1524 mm (aproximadamente un 40% cada uno). Después, el 1250 tiene una cuota del 15%. Las bobinas de 3 pies (1000mm) aparecen en último lugar, con sólo un 3,3%.

El espesor más común en caliente es el grupo de 3mm (32,5%), seguido del grupo de 4 mm y de 5-7, ambos con un 26,5%.

Las bobinas más pesadas son suministradas por el proveedor B y el A. Las más ligeras corresponden al D para bobinas de 4 pies y al F para las de 5 pies. La diferencia entre los dos suministradores extremos es de entre 15 y 20%.

El mayor rendimiento de caliente corresponde al suministrador D y C, con un valor casi un 1% mayor a los que presentan los valores más bajos, el B y el A. Este hecho hace que el coste de rendimiento en el caso de D y F sea casi un 50% inferior que los dos últimos.

Al estudiar la calidad en caliente, se pudo comprobar que el suministrador no afectaba de forma importante a este aspecto.

---

En el estudio de coronas, la parte central para casi todos los casos tiene unos valores de espesor algo mayores que en los extremos. Además, casi la totalidad del perfil se encuentra en valores menores al espesor nominal. Aunque todos los suministradores apuntan a espesores menores que el teórico, el suministrador B es el que más se acerca. Por contra, el D presenta los valores más alejados, moviéndose a lo largo de todo el ancho entre 150 y 200 micras por debajo del espesor nominal. Al comparar las tolerancias con las normas de la empresa (más estrictas que la norma internacional del acero), se comprobó que todas las medidas a excepción de algún caso aislado y poco representativo se encuentran dentro de los límites requeridos.

El rendimiento en frío sumado al caliente previamente calculado hace que, en el general, el suministrador A y B, los dos principales, mejoren y se sitúen con valores intermedios de rendimiento, sin embargo, el C sigue siendo el mejor.

Las propiedades mecánicas de los distintos materiales cumplen con los requisitos mínimos de resistencia, elongación y dureza que establece la norma. Además, los aceros con alto contenido en manganeso (grupo 200) son los que poseen un mayor límite elástico y tensión máxima a rotura, y por tanto son los más resistentes. También se puede concluir que los aceros austeníticos tienen una mayor elongación y tensión máxima a rotura que los ferríticos, pero su dureza es algo menor que los segundos.

El ancho de las bobinas no afecta. Sin embargo, cuanto más delgado es el espesor, más resistente es la bobina y menos dureza tiene.

Por último, la ocupación de la línea de frío es algo menor que la de caliente, pero ninguna de las dos supera el 50%. Esto es debido a que la línea se sobredimensionó en su compra, pensando en la futura expansión de la planta. Por tanto, ninguna línea está en riesgo de convertirse en cuello de botella a corto y medio plazo.

### Presupuesto

Sólo se tuvo en cuenta el dinero que cuesta la licencia Excel (310 euros) y el sueldo del ingeniero que hizo el estudio (el precio medio mensual bruto de un ingeniero industrial medio con 15 años de experiencia es de 2900 euros).

Teniendo en cuenta que se emplean 300 horas en el estudio, los días de fiesta, y una jornada de 9 horas diarias, la cantidad a pagar al ingeniero asciende a 5961,82 euros, que sumados al Excel supone un total de **6271,82 euros**.

## CONTROL AND CHARACTERIZATION OF BLACK COIL SUPPLIERS FROM BAHRU STAINLESS. QUALITY AND PRODUCTION OPTIMIZATION

### Introduction

The importance of stainless steel in the industry has been increasing within the years due to a world demand that hasn't stopped during the last decades.

Due to the anticorrosive properties that stainless steel provides, it is used in multiple industries in which the aesthetic and the duration of the mechanical properties of the material are crucial features, such as in the building or in the automotive industry. Furthermore, due to the lack of oxide formation, this type of steel stands out because of its hygienic properties. This fact makes it essential in the manufacturing of kitchen tools.

Acerinox is the world leader company in stainless steel production capacity. Thanks to its main factory, located in Algeciras, and to its different national and international subsidiaries, is capable of producing more than 3.5 million tons per year. The most recent factory belongs to Bahru Stainless, located in Johor Bahru (Malasya). Build on 2011, it implied a new step in Acerinox's goal to internationalise, focusing this time on the emergent asiatic market.

Due to the strong competition that Bahru Stainless suffers, originated during the last few years because of a strong growth of production of stainless steel in China, the company finds itself forced to reinvent every year. One of the most important facts in order to maintain the competitive level is to look for a continuous improvement in the quality of the final product. Another important feature is the cost savings. For this, it is important to implement a control and a characterization of the suppliers that provide raw material, in form of black coils, with the aim of analyzing the yield costs, as well as carry out a sensitive analysis in order to find the correct distribution that would make the maximum savings.

Therefore, to carry out and to develop these ideas, which are subject of study in this project, are necessary, along with many other things, to deal with the future of the company.

---

## Methodology

The main goal of doing this project is to gather and to manage a great amount of data provided by the information management system of the factory in order to analyze the economic impact that generates the distribution of the different suppliers of raw material of the factory, as well as to conduct a study of the different measures in order to improve the quality and the performance in Bahru Stainless.

To that end, several tasks will be done that will allow to reach the goals of the present project.

The first block consists on making a study of the coils in the hot process, that is, before lamination. For that, in the first place, an analysis of the main features of the black coils that entered in the factory on 2015 will be done, according to its supplier, and a study of hot yields will be conducted, as well as the evaluation of its average weight and the yield cost, depending on different parameters.

Thereone, a hot quality study of the coils will be carried out. For this purpose, the defects in the head and tail of the coils that are going to be studied will be analyzed.

Afterwards, as an additional quality measurement, the crowns (gauges measured along the width of the coil) will be studied, using international norms and also internal norms from Bahru. Then, the measures taken will be compared with the required tolerances in order to see if they fulfill those. This is really important when a selling to a customer is going to be made.

Once after having done this, a yield analysis of every line in the factory will be done, depending on different parameters of the coils, with the aim of checking in which part of the production process the biggest yield problems can be founded, an issue that directly affects the production costs.

Next, production tables of every line of the factory will be made, with the purpose of calculating the average occupation of Bahru and also to see if the capacity is appropriate. Also, the level of real production and the theoretical designed production will be compared in order to see the level of optimization of the process.

Once having finished with these tasks, the project will proceed with the second main block, which consists in analyzing the coils in the cold process (once having being laminated). For this purpose, the yields and quality of the coils will be once again analyzed in this new process place. Moreover, a statistical survey of the mechanical properties of the coils will be added. From the samples collected from the final product, the material is submitted to a tensile test in the laboratory, obtaining the values of tensile strength, yield strength, or elongation, along with others.

Lastly, new productivity tables will be obtained, this time from the lines after the lamination process.

The methodology used provided a series of results that are summarized in the next section.

## Results

In the first place, new coil groups were established, depending on their characteristics, in order to make the following analysis easier. Groups of width, gauge and steel type were made. Later on, dynamic tables were built in order to see the number of tons of raw material that was supplied by every provider and see therefore which one is more important for the company. The next table shows the percentage of the tons supplied by every company in relation to the total supplied for a whole gauge group.

Sum of Mass In (MT) Supplier	Gauge (mm)					Grand Total
	3	4	5-7	8-9	10-12	
Suministrador B	26,1%	35,8%	39,7%	51,4%	33,8%	35,3%
Suministrador A	44,4%	29,2%	34,5%	43,4%	66,2%	38,5%
Suministrador E	2,8%	5,7%	7,1%	3,2%	0,0%	4,6%
Suministrador F	0,9%	0,4%	0,4%	0,2%	0,0%	0,5%
Suministrador D	8,8%	6,6%	6,4%	1,8%	0,0%	6,5%
Suministrador C	16,9%	22,3%	11,9%	0,0%	0,0%	14,6%
<b>Grand Total</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>

Regarding to yields, a study of them was carried out, depending on the supplier. Before that, it was necessary to determine if the different features of the coils influenced in the yield. Groups with similar values were made, in order to analyze the different suppliers without taking into account the type of coil they were selling. The results for a same group can be founded right below:

Average of Yield Supplier	Gauge (mm)	
	3	4
Suministrador B		
Suministrador A	0,30%	0,28%
Suministrador E	0,57%	0,43%
Suministrador F	0,18%	0,30%
Suministrador D	0,93%	0,62%
Suministrador C	0,87%	0,72%

The results are represented as a porcentual variation regarding to supplier B, that is taken as a reference.

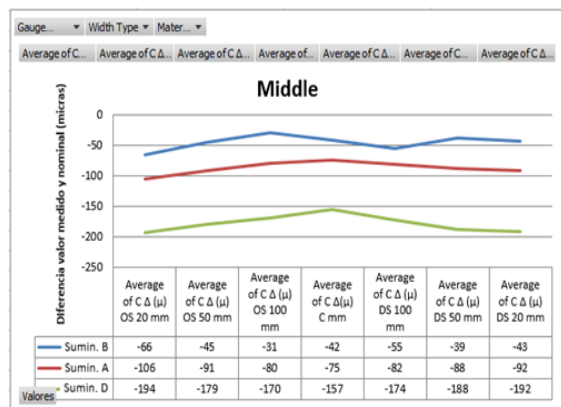
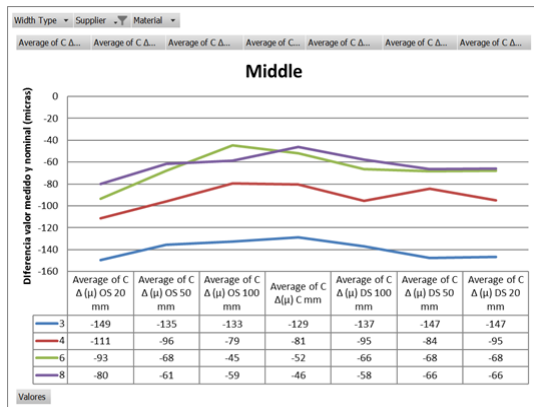
Another important parameter to evaluate is the yield cost, which quantifies the losses in which the company incurs, due to the mass loss that its coils suffer because of not having a 100% yield. The results obtained can be seen below, again shown as a porcentual variation regarding to supplier B.

Average of Yield Cost (\$/Mt) Supplier	Gauge (mm)					Total general
	3	4	5-7	8-9	10-12	
Suministrador B						
Suministrador A	-21,4%	-21,0%	-11,8%	-10,5%	-13,8%	-15,6%
Suministrador E	-39,4%	-35,5%	-35,4%	-32,3%		-36,1%
Suministrador D	-62,8%	-50,1%	-36,6%	-38,2%		-49,0%
Suministrador C	-58,8%	-57,9%	-48,7%			-52,0%

Referring to quality, the average number of defect meters that the coils had was established as the indicator used for this purpose. The results, after being the coils grouped on similar categories, were these:

Supplier	Average of Top Head (m)	Average of Top Tail (m)
Suministrador B	9,26	9,34
Suministrador A	9,15	9,17
Suministrador E	9,40	9,18
Suministrador D	8,58	8,66
Suministrador C	9,24	9,32
<b>Total general</b>	<b>9,15</b>	<b>9,20</b>

Now, some of the crown profiles obtained are shown. The charts represent the different gauge measures taken along the whole width of the coil on its middle part. The values shown represent the average difference (in micrometers) between the measured gauge and the nominal gauge for every coil, at every point. On the left, the chart is according to supplier, and on the right, according to the supplier.

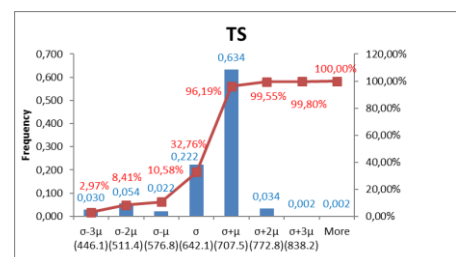


Regarding the cold yields, the next chart was obtained. It appears on it the overall yield and also broken-down into: hot yield (HY), cold yield (CY) and finishing lines yield (FLY). The figures refer to the relative values regarding to supplier B.

Suministrador	Average of HY	Average of CY	Average of FLY	Average of Overall
Suministrador B				
Suministrador A	0,3%	-0,2%	-0,1%	0,0%
Suministrador E	0,6%	-1,7%	0,0%	-1,1%
Suministrador D	0,9%	-1,0%	-0,4%	-0,5%
Suministrador C	0,9%	-0,6%	0,4%	0,6%
<b>Grand Total</b>				

Afterwards, the mechanical properties according to supplier were obtained, for 304-steels and intermediate gauges, as well as an histogram for the tensile strength with all the statistical ranges with sigma, 2-sigma and 3-sigma criteria, and the number of times a data was inside those ranges.

Supplier	Average of TS	Average of YS	Average of A50	Average of HRB
Suministrador B	660,6	314,2	53,9	81,2
Suministrador A	685,4	298,9	56,8	80,6
Suministrador E	651,4	311,7	53,6	81,6
Suministrador D	687,7	283,3	54,1	79,9
Suministrador C	693,9	292,4	54,7	81,2
<b>Grand Total</b>	<b>679,4</b>	<b>300,2</b>	<b>55,2</b>	<b>80,8</b>



---

Lastly, the productivity tables for cold lines were obtained, with the purpose of extracting conclusions that can be found in the next section.

### Conclusions

Supplier B is the most important, since it supplies to Bahru a 38% of its coils. Supplier B is closely followed by A (35%). The third one is supplier C (16%).

Regarding to steel types, 304 steel is the most important one, and with a 87% has the biggest share of the factory. It is followed, but far from it, by steel 316, with a 7%. The rest of Steel types only sum up a 6% of the total weight provided.

Regarding to widths, the most important ones are the ones that have a width of 1220 and 1524 mm (approximately a 40% each one). After those, the 1250 mm has a share of 15%. 3-feet coils (1000mm) appear in last place, with only a 3,3%.

The most common gauge in the hot process is the 3 mm group (32,5%), followed by the coils inside the 4 mm group and the 5-7 mm, both of them stand out with a percentage of 26,5%.

The heaviest coils are supplied by supplier B and A. The lightest ones correspond to D, in the case of 4-feet coils, and to F for the 5-feet ones. The difference between the heaviest and lightest suppliers is between 15 and 20%.

The highest hot yields correspond to suppliers D and C, with a yield almost 1% higher than the ones which have the lowest values, B and C. This fact produces a cost of yield almost a 50% higher in the case of A and B respect to D and C.

When studying the quality in the hot process, it was observed that the supplier didn't affect much this feature.

In the study of crowns, the central zone in almost every coil has a higher gauge value than those close to the borders. Furthermore, in almost every part of the coil, the whole crown is below the nominal gauge value. Supplier B is the one that gets closer to this value, but still below of it. In the other hand, supplier D has the furthest values compared to the nominal ones, being at all time between 150 and 200 micrometers below them. When comparing the tolerances with the company standards (more strict than the ones shown in the international Steel standards), it was verified that all measurements, with the only exceptions of few isolated and not representative ones, were inside the required limits.

Cold yield added to the hot one previously calculated makes that for the overall yield, the two most important suppliers, A and B, improve, situating with intermediate yield values compared to the rest. However, supplier C remains as the best.

The mechanical properties of the different steels fulfill the minimum strength, elongation and hardness requirements that the standards show. Moreover, steels with a high

composition of Manganese (group 200) have the highest tensile and yield strength. It can also be concluded that austenitic steels have a higher elongation and tensile strength values than ferritics, but their hardness is a little bit lower.

The width of the coils does not affect. However, as the gauge gets thinner, more resistant the coil is and less hardness it has.

Lastly, the cold line occupation is a little lower than the hot line, but not any of them is above 50%. This is due to the fact that the line was overdimensioned when it was bought, thinking about the future expansion of the factory. To sum up, there are not any lines at risk of being a bottleneck in the near future.

### Budget

Only the money that the Excel's license costs and the salary of the engineer that carried out the study (average month salary of an average industrial engineer with 15 years of experience is 2900 euros) were taken into account.

Taking also into consideration that 300 hours were used for doing the project, the working days, and a workshop of 9 hours per day, the amount to pay to the engineer sums up 5961.82 euros, which added to the Excel amount results a total of **6271.82 euros**.







ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

# **Control y caracterización de los suministradores de bobina negra. Optimización de la calidad y de la producción.**

Autor: Francisco de Asís Marín Gómez

Director: Nicolás Maraver Baselga

Madrid

Agosto 2016



## Índice

1.	Memoria descriptiva.....	35
2.	Evaluación de las bobinas de caliente de la fábrica.....	73
3.	Evaluación de las bobinas de frío de la fábrica.....	103
4.	Cálculo del presupuesto.....	125
5.	Bibliografía.....	129
6.	Anexos.....	131



---

## Índice General

<b>1. Memoria Descriptiva</b> .....	35
<b>1.1. Introducción</b> .....	37
<b>1.2. Objetivos del proyecto.</b> .....	41
<b>1.3. Conceptos previos.</b> .....	42
1.3.1. <i>Tipos de acero inoxidable</i> .....	42
1.3.1.1. <i>Aceros inoxidables austeníticos</i> .....	42
1.3.1.2. <i>Aceros inoxidables ferríticos</i> .....	44
1.3.1.3. <i>Aceros inoxidables martensíticos</i> .....	46
1.3.1.4. <i>Aceros inoxidables dúplex</i> .....	48
1.3.2. <i>Proceso de fabricación del acero inoxidable</i> .....	48
1.3.2.1. <i>Acería</i> .....	49
1.3.2.2. <i>Laminación en caliente</i> .....	51
1.3.2.3. <i>Laminación en frío</i> .....	53
1.3.2.4. <i>Taller de acabados</i> .....	63
1.3.3. <i>Acerinox</i> .....	64
1.3.3.1. <i>Bahru Stainless</i> .....	65
1.3.4. <i>Fuentes de información</i> .....	71
<b>2. Evaluación de las Bobinas de Caliente de la Fábrica</b> .....	73
<b>2.1. Preprocesamiento de los datos</b> .....	75
<b>2.2. Estudio descriptivo</b> .....	76
<b>2.3. Análisis de las bobinas procesadas en caliente</b> .....	80
2.3.1. <i>Análisis de pesos y rendimientos medios</i> .....	80
2.3.2. <i>Estudio de la calidad en caliente</i> .....	87
2.3.3. <i>Análisis de Coronas</i> .....	89
2.3.4. <i>Estudio de productividad en caliente</i> .....	98
<b>3. Evaluación de las Bobinas de Frío de la Fábrica</b> .....	103
<b>3.1. Preprocesamiento de los datos</b> .....	105
<b>3.2. Análisis de las Bobinas Procesadas en Frío</b> .....	106
3.2.1. <i>Estudio de rendimientos en frío</i> .....	106
3.2.2. <i>Estudio de calidad en frío</i> .....	112
3.2.3. <i>Análisis de Propiedades Mecánicas</i> .....	113
3.2.4. <i>Estudio de productividad en frío</i> .....	121
<b>4. Cálculo de Presupuesto</b> .....	125
<b>5. Bibliografía</b> .....	129

---

<b>6. Anexos</b> .....	131
Anexo A: Ejemplo de la información suministrada por Supervisory reflejando el histórico de bobinas .....	133
Anexo B: Significado de las siglas que aparecen en Supervisory en "Process Code" .....	134
Anexo C: Significado de las siglas que aparecen en Supervisory en "Finish" .....	135
Anexo D: Tablas de peso medio en función del suministrador y ancho .....	136
Anexo E: Tablas de rendimiento en función del suministrador y ancho .....	137
Anexo F: Tablas con grupos hechos y todos los cálculos necesarios para obtener el coste de rendimiento. Datos confidenciales no aparecen (1ª parte) .....	138
Anexo G: Proceso de Producción del Acero Inoxidable .....	140
Anexo H: Tipos de aceros inoxidable .....	141
Anexo I: Tabla de tipos de aceros y espesores producidos en Bahru Stainless .....	142
Anexo J: Propiedades Mecánicas y Químicas que Deben Cumplir los Aceros .....	143
Anexo K: Tolerancias Dimensionales Admisibles del Acero ....	146
Anexo L: Tipos de Acabados Superficiales y Disponibilidad en Bahru .....	148
Anexo M: Aplicaciones de los Distintos Tipos de Acero .....	149
Anexo N: Diagrama de Fases Hierro-Carbono y Estructura de la Austenita y Ferrita .....	150
Anexo Ñ: Tabla de productividad (no completa) de la línea AP1 caliente .....	153
Anexo O: Ejemplo de datos de propiedades mecánicas suministrados por laboratorio .....	154
Anexo P: Rangos de valores de resistencia, elongación y dureza usando criterio sigma, 2-sigma y 3-sigma, dependiendo del suministrador .....	155

## Índice de figuras

Figura 1: Evolución de la producción de acero inoxidable mundial 1980-2014.....	38
Figura 2: Crecimiento en la producción de varios metales entre 1980 y 2015.....	39
Figura 3: Cuotas de producción a nivel mundial por países para año 2005 y 2015.....	39
Figura 4: Evolución del precio del Níquel 1999-2007.....	45
Figura 5: Propiedades mecánicas de los distintos tipos de inoxidables.....	47
Figura 6: Acería en funcionamiento.....	50
Figura 7: Laminación en caliente en una fábrica de acero inoxidable.....	51
Figura 8: Bobinas negras.....	53
Figura 9: Extremo móvil del bucle, consistente en un rodillo apoyado en una plataforma que desliza por unos raíles (izquierda). .....	54
Figura 10: Vista longitudinal de los raíles del bucle (derecha) .....	54
Figura 11: Bobinas una vez procesadas por AP1.....	55
Figura 12: Fuerza principal que sufren los rodillos en el proceso .....	56
Figura 13: Flexión que sufren los rodillos al laminar.....	56
Figura 14: Fuerzas y momentos originados en la laminación.....	57
Figura 15: Arco de contacto de rodillo y chapa.....	57
Figura 16: Momentos y fuerzas sobre rodillos.....	59
Figura 17: Esquema de un laminador Sendzimir.....	61
Figura 18: Cambio de rodillos de trabajo en un Sendzimir.....	61
Figura 19: Bobinadora al finalizar el Skin Pass.....	62
Figura 20: Proceso de rebordeado en una línea de corte.....	63
Figura 21: Vista de las oficinas centrales de Acerinox(izquierda) .....	64
Figura 22: Vista de la fábrica principal de Algeciras (derecha) .....	64
Figura 23: Vista aérea de la fábrica de Bahru Stainless.....	66
Figura 24: Flejes de acero inoxidable.....	67
Figura 25: Diagrama de barras representando los precios de la bobina negra dependiendo del tipo de acero.....	85
Figura 26: Perfil de la corona en función del espesor medido en cabeza (izquierda).....	90
Figura 27: Perfil de la corona en función del espesor medido 30 metros después de soldadura (derecha).....	90

---

Figura 28: Perfil de la corona en función del espesor medido a mitad.....	90
Figura 29: Perfil de la corona en función del espesor medido e30 metros antes de la soldadura (izquierda).....	91
Figura 30: Perfil de la corona en función del espesor medido en cola (derecha).....	91
Figura 31: Perfil de la corona en función del ancho medido en cabeza (arriba e izquierda).....	92
Figura 32: Perfil de la corona en función del ancho medido 30 metros después de soldadura (arriba y derecha).....	92
Figura 33: Perfil de la corona en función del ancho medido en el medio (debajo).....	92
Figura 34: Perfil de la corona en función del ancho medido 30 metros antes de soldadura (izquierda).....	93
Figura 35: Perfil de la corona en función del ancho medido en cola (derecha).....	93
Figura 36: Perfil de la corona en función del suministrador medido en cabeza (izquierda).....	93
Figura 37: Perfil de la corona en función del suministrador medido 30 metros después de soldadura (derecha).....	93
Figura 38: Perfil de la corona en función del suministrador medido en el medio.....	94
Figura 39: Perfil de la corona en función del suministrador medido 30 metros antes de soldadura (izquierda).....	94
Figura 40: Perfil de la corona en función del suministrador medido en cola (derecha).....	94
Figura 41: Porcentaje de superficie libre de defectos originados por el suministrador.....	113
Figura 42: Resistencia máxima a rotura media con los distintos criterios estadísticos.....	118
Figura 43: Límite elástico medio con los distintos criterios estadísticos.....	118
Figura 44: Elongación porcentual media con los distintos criterios estadísticos.....	119
Figura 45: Dureza media con los distintos criterios estadísticos.....	119

---

## Índice de tablas

Tabla 1: Cantidad de masa procesada (ton) en 2015 y porcentaje del total en función del suministrador.....	77
Tabla 2: Cantidad de masa procesada (ton) en 2015 y porcentaje del total en función del tipo de acero.....	77
Tabla 3: Cantidad de masa procesada (ton) en 2015 y porcentaje del total en función del ancho.....	77
Tabla 4: Cantidad de masa procesada (ton) en 2015 y porcentaje del total en función del espesor.....	77
Tabla 5: Porcentaje de masa del suministrador respecto del total del grupo de ancho.....	78
Tabla 6: Porcentaje de masa del suministrador respecto del total del grupo de espesor.....	79
Tabla 7: Peso medio (toneladas) por bobina en función de suministrador y ancho.....	81
Tabla 8: Diferencia porcentual del peso medio por suministrador respecto a media de su grupo de ancho.....	81
Tabla 9: Diferencia porcentual de rendimientos tomando como base el sumin. B.....	82
Tabla 10: Diferencia porcentual de rendimientos para todos grupos de espesor tomando como base el sumin. B.....	83
Tabla 11: Diferencia porcentual del coste de rendimiento dependiendo del suministrador tomando como base el sumin. B para aceros 304.....	86
Tabla 12: Diferencia porcentual del coste de rendimiento dependiendo del suministrador tomando como base el sumin. B para aceros 316.....	86
Tabla 13: Incremento porcentual del coste de rendimiento del 316 respecto al 304 por suministrador tomando como referencia el sumin. B.....	87
Tabla 14: Longitud media de defectos en función del tipo de acero (izquierda).....	88
Tabla 15: Longitud media de defectos en función del espesor (derecha).....	88
Tabla 16: Longitud media de defectos en función del suministrador para (3 y 4 mm).....	88
Tabla 17: Longitud media de defectos en función del suministrador para 8-12 mm.....	89
Tabla 18: Tolerancias dimensionales de espesor en función de espesor y norma.....	95
Tabla 19: Diferencia porcentual media de las medidas en 20mm izquierda y 20mm derecha.....	96
Tabla 20: Tabla realizada para calcular el tiempo de proceso de varios pedidos de distintas características.....	99

---

Tabla 21: Diferencia porcentual de rendimientos entre los productos finales "coil" (bobina), "sheet" (lámina) y "slit" (fleje) tomando como base los valores de "coil", para 304....	108
Tabla 22: Diferencia porcentual de rendimientos entre los productos finales tomando como base los valores de "coil", para 316.....	108
Tabla 23: Diferencia porcentual de rendimientos dependiendo de tipo de acero tomando como referencia el 304.....	109
Tabla 24: Diferencia porcentual del rendimiento en función del ancho tomando como referencia el 1000mm, material 304.....	109
Tabla 25: Diferencia porcentual del rendimiento en función del ancho tomando como referencia el 1000mm, material 316.....	110
Tabla 26: Diferencia porcentual del rendimiento en función del espesor tomando como referencia el <0,5 mm, material 304.....	110
Tabla 27: Rendimientos totales y desglosados, representados como diferencia porcentual respecto al sumin. B, y para espesores <=0,9 mm.....	111
Tabla 28: Rendimientos totales y desglosados, representados como diferencia porcentual respecto al sumin. B, y para espesores entre 1 y 2 mm (incluidos).....	111
Tabla 29: Rendimientos totales y desglosados, representados como diferencia porcentual respecto al sumin. B, y para espesores > 2mm.....	112
Tabla 30: Propiedades mecánicas medias en función del tipo de acero.....	115
Tabla 31: Propiedades mecánicas medias en función del espesor.....	115
Tabla 32: Propiedades mecánicas medias en función del tipo de acero, para 304 y espesores intermedios.....	116
Tabla 33: Propiedades mecánicas medias en función del tipo de acero, para 304 y espesores gruesos (> 2,5mm).....	116
Tabla 34: Norma interna de la empresa en relación a propiedades mecánicas.....	120
Tabla 35: Propiedades mecánicas del 304L en forma de rangos usando los distintos criterios estadísticos, para aceros 304L.....	120
Tabla 36: Propiedades mecánicas del 304L en forma de rangos usando los distintos criterios estadísticos, para aceros 316.....	121





# 1. Memoria Descriptiva



---

## 1.1. Introducción

A lo largo de miles de años, el hierro ha sido uno de los materiales que más han contribuido al desarrollo de la humanidad. La fecha de su descubrimiento no está clara, pero algunos estudios arqueológicos sugieren que se podría haber usado desde hace más de 5000 años. Sin embargo, no fue hasta varios siglos después cuando surgieron los primeros utensilios de acero.

Este material se define como una aleación de hierro y carbono, y destaca por tener mejores propiedades tanto físicas como químicas que el hierro por sí solo. La cantidad de carbono en la aleación es solamente entre el 0,1% y el 2%, pero este factor dota al acero de una mayor tenacidad y ductilidad que el hierro, por lo que resulta en un material muy resistente a esfuerzos externos y a su vez con un cierto nivel de ductilidad y más fácilmente mecanizable.

Aunque las propiedades del acero fluctúan considerablemente en función de los distintos tipos (caracterizados por sus diferentes composiciones químicas), algunos de sus comportamientos más importantes son:

- Temperatura de fusión de aproximadamente 1300 °C.
- Densidad media de 7900 kg/m<sup>3</sup>
- Se pueden soldar con facilidad
- Buenos conductores térmicos y eléctricos.

Sin embargo, uno de los problemas principales que tiene el acero es que se corroe con facilidad, lo que se traduce en un deterioro progresivo de sus propiedades mecánicas con el paso del tiempo, así como la pérdida de su brillantez y de su aspecto superficial. Es por este motivo la importancia del descubrimiento del acero inoxidable a principios del siglo XX como una importante mejora en el mundo de los materiales.

El acero inoxidable es un tipo de acero que destaca por sus propiedades anticorrosivas que evitan que el hierro del acero se oxide al estar expuesto a la atmosfera. Gracias a ello, el material presenta un aspecto brillante durante un largo tiempo. Esto lo convierte en un metal muy valorado desde un punto de vista estético. Además, al no formarse óxido de hierro en su superficie, el acero inoxidable es un material higiénico en contacto con alimentos. Se usa por lo tanto de manera importante en utensilios de cocina y en electrodomésticos. Otros usos típicos de este acero son en la construcción y en la automoción (en especial para la fabricación de tubos de escape).

La principal diferencia del acero inoxidable respecto al acero común es su alto contenido en cromo (a partir del 11,5%). Este elemento químico posee mayor afinidad que el hierro

a la hora de reaccionar con el oxígeno del aire. En un acero común, la oxidación del hierro forma óxido de hierro a lo largo de toda la superficie. Esta capa penetra en el acero con el paso del tiempo, debilitándolo progresivamente y confiriéndole un aspecto sucio. En cambio, en presencia del cromo, éste se oxida antes que el hierro, creando una finísima capa protectora de óxido de cromo (llamada capa pasiva), inapreciable para el ojo humano. Esta capa evita que se oxide más el material. Por tanto, el acero se ve inalterado casi en su totalidad, manteniendo un aspecto brillante y sus propiedades mecánicas intactas.

Debido a las grandes ventajas que posee este material y a la bajada progresiva de su coste de fabricación, su producción y uso no ha hecho más que crecer de manera casi exponencial, hasta situarse en la actualidad en unos valores cercanos a los 43 millones de toneladas en todo el mundo. La siguiente gráfica muestra el notable crecimiento que ha sufrido el acero inoxidable desde 1980 hasta 2014:

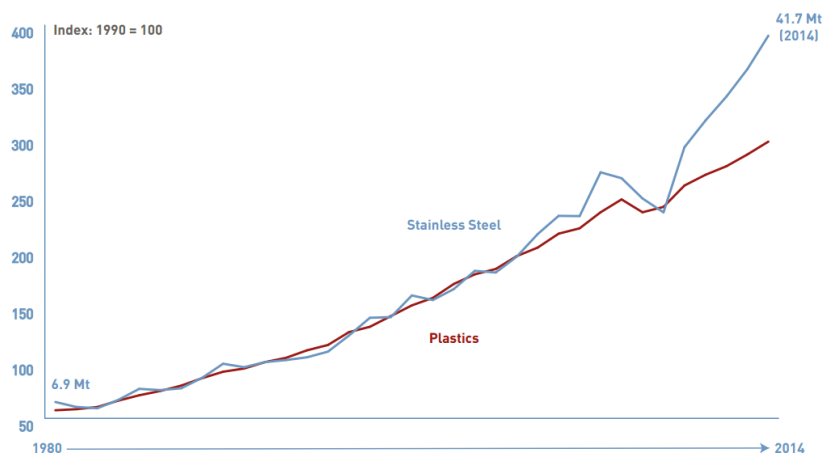
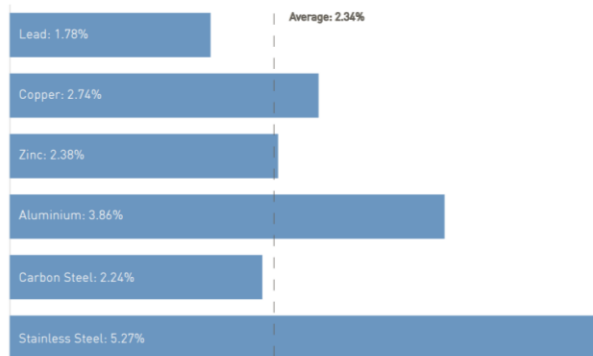


Figura 1: Evolución de la producción de acero inoxidable mundial 1980-2014

Cortesía de ISSF (International Stainless Steel Forum)

También se comprueba de la gráfica anterior que el nivel de producción de este elemento desde el año 1990 se ha cuadruplicado, creciendo en unos porcentajes cada vez mayores, a excepción de una pequeña depresión causada por la gran crisis económica mundial de 2008. El gran crecimiento que se está dando en el presente es aún más llamativo si tenemos en cuenta el estancamiento de la economía que se está dando a nivel global.

En la siguiente gráfica se puede extraer el hecho de que el acero inoxidable es, de entre los mayores metales que se fabrican, el que más ha subido su producción durante los últimos años.

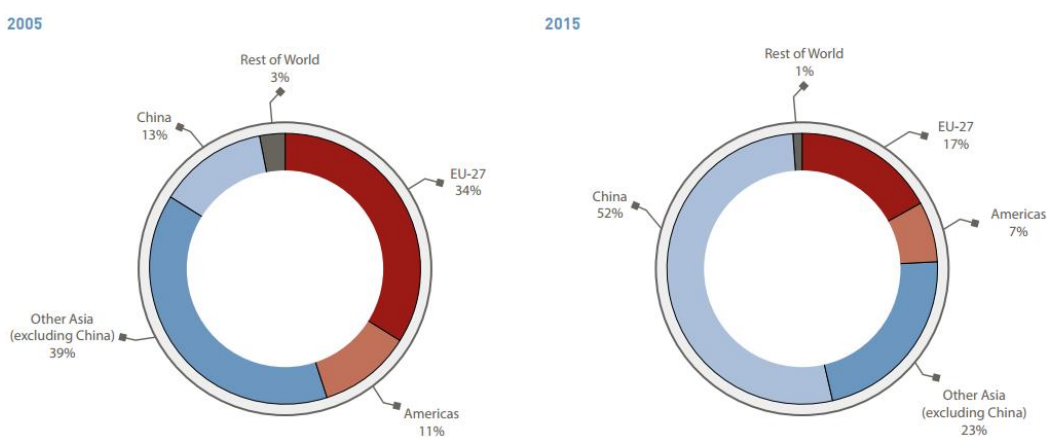


**Figura 2: Crecimiento en la producción de varios metales entre 1980 y 2015**

Cortesía de ISSF (International Stainless Steel Forum)

El acero inoxidable fue descubierto a principios del siglo XX. Es un material relativamente joven, apenas 100 años, cuyos límites de usos y aplicaciones están lejos de ser contemplados. Todos estos hechos confirman que este tipo de acero tiene un potencial de crecimiento prometedor y que de cara al futuro tendrá una mayor importancia incluso que la actual.

Debido a esta emergente demanda mundial, muchas empresas son las que, en los últimos años, se han embarcado en el negocio del acero inoxidable. El caso más llamativo es el que ofrece China. El país asiático entró de lleno en el sector a partir de comienzos del año 2000, cuadruplicando la cuota de mercado a nivel mundial desde entonces, hasta producir más de la mitad del acero inoxidable del planeta en el año 2005. Esta circunstancia se desprende de la gráfica a continuación.



**Figura 3: Cuotas de producción a nivel mundial por países para año 2005 y 2015**

Cortesía de ISSF (International Stainless Steel Forum)

Debido a una competitividad cada vez mayor, la fábrica objeto de estudio en este proyecto, que es propiedad de la subsidiaria Bahru Stainless (que pertenece al grupo Acerinox), se ve obligada a reinventarse mes a mes, mejorando su productividad y optimizando los costes de fabricación, todo ello manteniendo unos altos estándares de calidad en el producto final.

Uno de los elementos más importantes a la hora de tratar de reducir los costes incurridos en la obtención del acero como producto final es tener un reparto óptimo en cuanto a los distintos suministradores que abastecen de materia prima a la fábrica. Otro de los factores claves para aumentar la competitividad es conseguir ser más eficiente en el proceso de elaboración del producto, como por ejemplo mejorar la calidad y el rendimiento de la fábrica con el fin de aprovechar al máximo los recursos disponibles. Todos estos elementos serán estudiados en el presente proyecto, con el fin de, una vez extraído las conclusiones pertinentes, poder comprobar en qué puede mejorar Bahru Stainless, con el objetivo de mantener e incrementar su cuota de mercado en distintos países del sudeste asiático y asegurar el futuro de la empresa a medio y largo plazo.

## 1.2. Objetivos del proyecto.

El objetivo principal de realizar este proyecto consiste en recoger y gestionar una gran cantidad de datos contenidos en el sistema de gestión de información de la fábrica con el fin de analizar el impacto económico que genera el reparto de los distintos suministradores de materia prima de la planta, así como llevar a cabo un estudio de las distintas medidas para la mejora de la calidad y del rendimiento de Bahru Stainless.

Este objetivo se alcanzará desarrollando los siguientes sub-objetivos:

- Análisis de las principales características de las bobinas negras que entraron en la fábrica en el año 2015 en función de su suministrador, y estudio de los rendimientos que presentan, así como su peso medio y los costes de rendimiento en función de los distintos parámetros.
- Realizar un estudio acerca de la calidad de las bobinas a la salida de la línea de producción. Análisis de los defectos en cabeza y cola de las bobinas estudiadas.
- Análisis del rendimiento de cada línea de la planta en base a los distintos parámetros de las bobinas con el objetivo de comprobar en qué parte del proceso de producción se encuentran los mayores problemas de rendimiento, hecho que repercute directamente en los costes de producción.
- Estudio estadístico utilizando criterio 1,2,3 sigma de las propiedades mecánicas del acero inoxidable a la salida de la línea de producción para poder comprobar que cumplen con las especificaciones mínimas exigidas por el cliente.
- Estudiar la tasa de producción de las distintas líneas y realizar un sistema que permita obtener la duración del proceso de producción de un pedido con características determinadas, así como calcular el nivel de ocupación de la fábrica.
- Realizar un seguimiento de la corona de cada bobina para comprobar si el espesor en todos los puntos a lo largo del ancho de la banda está dentro de los límites que marcan las normas de tolerancias geométricas.

## 1.3. Conceptos previos.

### 1.3.1. *Tipos de acero inoxidable*

Hoy en día existen múltiples tipos de aceros inoxidables. Cada grupo presenta algunas diferencias en sus propiedades mecánicas que lo hacen óptimo para una aplicación en concreto. La composición química dada es la que caracteriza el tipo de acero, debido a que crea distintas estructuras cristalinas que son las que dotan al material de una mayor o menor resistencia, tenacidad, ductilidad y dureza.

Todos los distintos tipos de esta aleación se pueden agrupar en 4 grandes familias, que se exponen a continuación.

#### 1.3.1.1. *Aceros inoxidables austeníticos*

Son los más fabricados a nivel mundial, casi el 70% de todos los aceros inoxidables producidos son de este tipo. En el presente proyecto, los austeníticos representan toda la serie 300, y la serie 200. Esta numeración corresponde a la nomenclatura AISI (American Iron and Steel Institute), que es la norma que utiliza base de datos de la fábrica.

La austenita es una forma de ordenamiento dado de los átomos de carbono y hierro que provoca que el material sea muy dúctil y tenaz. En el hierro puro, la austenita es estable únicamente a partir de los 900°C. Sin embargo, mediante la adición de un determinado porcentaje de níquel, se consigue esta estabilidad a temperatura ambiente. La razón es que este elemento tiene la capacidad de agrandar la región austenítica del diagrama de fases del hierro-carbono. La estructura cristalina de la austenita es del tipo cúbica de caras centradas. Los átomos de carbono se diluyen en solución sólida entre los intersticios.

Una de las principales razones de su popularidad reside en excelente resistencia a la corrosión. También es un material fácilmente soldable. No presenta propiedades magnéticas. Además, su resistencia y dureza puede ser incrementada con facilidad con una laminación en frío. Es fácil de fabricar y posee un bajo coste de mantenimiento.

---

Sin embargo, son más caros de producir que los ferríticos, debido a su contenido de níquel. Además, a pesar de que los austeníticos son fáciles de soldar, en determinadas ocasiones se pueden formar carburos de cromo en los límites de la zona de soldadura. Este movimiento de los átomos de cromo para formar el carburo ocasiona un descenso del cromo en determinadas zonas, ocasionando que la cantidad de este material sea insuficiente para formar la capa pasiva, por lo que se oxida en esas zonas. No obstante, este hecho puede impedirse con la adición de algunos elementos, tales como el titanio o el niobio.

La cantidad de níquel que debe presentar un acero para ser austenítico es como mínimo un 8%, aunque dependiendo de los diferentes sub-tipos dentro del austenítico, esta cantidad puede superar el 20%.

A continuación, se reflejan los tipos de austeníticos más importantes del sector industrial:

- 301. Este grupo de inoxidable son especialmente tenaces y presentan un alto nivel de brillo superficial, por lo que es una excelente elección para aplicaciones tanto decorativas como estructurales. Como inconvenientes, es susceptible a la formación de carburos durante la soldadura, que provoca que se pueda oxidar en esta zona. Además, presenta una resistencia a rotura ligeramente inferior a la mayoría de los austeníticos.
- 304. Es el grupo más extendido de todos los austeníticos, debido a que son los más versátiles. Poseen buenas propiedades de resistencia a corrosión, soldabilidad y conformabilidad. Un subtipo dentro del 304 que merece la pena tener en cuenta por su popularidad es el acero 304L. Este acero tiene un contenido muy bajo en carbono (menos del 0,03%), que hace que sea muy poco susceptible a la corrosión en zonas de soldadura. Sus aplicaciones son muy variadas: desde para la fabricación de tubos y calderas hasta en la industria química.
- 316. Este grupo destaca por tener una composición de molibdeno en la aleación de 2-3%. Gracias a este compuesto, consigue un comportamiento anticorrosivo extremo, y evita además la corrosión por picaduras (propias al entrar en contacto durante un tiempo prolongado agua salada y cloruros). Por tanto, este acero es utilizado para ambientes muy agresivos, como el acero en contacto con agua del mar. Se usa por tanto con frecuencia en la industria petroquímica, pero también en la industria farmacéutica, textil, cisternas de vehículos y en aplicaciones con soldadura. Uno de sus mayores inconvenientes es que es uno de los aceros inoxidable más caros que hay, debido a su alto contenido en níquel y al molibdeno.

- 310. Estos tipos de aceros también son llamado “refractarios” dentro de la familia de los austeníticos. Poseen muy altos contenidos de cromo (24-26%) y níquel (20%). Esta característica proporciona a la aleación una gran resistencia a la oxidación a altas temperaturas, así como una alta resistencia y tenacidad. Por ello es usado en la fabricación de hornos, resistencias eléctricas y en aplicaciones que estén expuestas a altas temperaturas.
- 321. Su composición química es análoga al 304 con la excepción de la adición de una pequeña cantidad de titanio que mejora su comportamiento frente a la corrosión intergranular, así como a la corrosión a altas temperaturas. Muy utilizado en la industria aeronáutica.
- 201. Este grupo se define como aceros semi-austeníticos debido a que tienen una composición de níquel menor al límite del 8% necesario para mantener la estabilidad de la estructura austenítica. Sin embargo, esta estabilidad se consigue añadiendo nitrógeno y manganeso. No tiene propiedades anticorrosivas tan fuertes como otros grupos, por lo que no se recomienda para medios marinos e industriales. Se usa en general para ambientes interiores (como menajes de cocina y mobiliario de catering).

### 1.3.1.2. Aceros inoxidables ferríticos

Esta familia de aceros es la segunda más demandada. Incluye todos los aceros de la serie 400. Es el acero inoxidable más básico que hay, debido a que la aleación principal está formada únicamente por hierro, carbono y cromo, es decir, lo necesario para que sea estrictamente un acero inoxidable, aunque en función del subtipo presenta también pequeñas adiciones de níquel, manganeso, molibdeno o silicio, entre otros. Destaca también por tener un contenido de carbono muy bajo respecto a otros aceros inoxidables.

Los ferríticos se distinguen también por tener unas propiedades anticorrosivas aceptables a un precio bastante más barato que los austeníticos (debido a que son menos aleados), por lo que son usados en múltiples aplicaciones donde la corrosión del material no es una propiedad crítica. Además, se expande menos que el austenítico al calentarlo a altas temperaturas, así como una mejor conductividad térmica, lo que hace que se utilice en aplicaciones tales como planchas eléctricas o tuberías de intercambiadores de calor. Son más fáciles de cortar y de conformar. Es un metal más rígido que el grupo anterior debido a la ausencia de formación de austenita.

Por el contrario, tiene el inconveniente que no es posible endurecerlo por métodos de conformado en frío. Además, no se comporta bien a la hora de soldar, excepto en espesores muy finos. Algunas operaciones en la línea de fabricación son más difíciles de aplicar en el ferrítico, como es el caso del decapado.

El acero ferrítico va ganando cada vez más importancia dentro del mundo de los inoxidable. Una de las razones principales es que, en los últimos años, se está produciendo un encarecimiento de las materias primas, en especial del níquel, que es un componente muy importante de los aceros austeníticos.

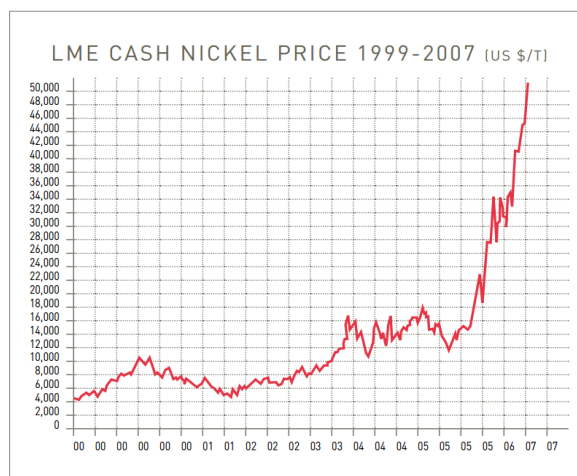


Figura 4: Evolución del precio del Níquel 1999-2007

Cortesía de ISSF (International Stainless Steel Forum)

Este incremento del precio, unido a una volatilidad de precios también en aumento, hace que cada vez sea más costoso e incierto trabajar con este material a la hora de calcular costes.

Es por ello que el ferrítico, en ausencia de níquel y otros metales caros en su composición, está adquiriendo cada vez una mayor ventaja económica respecto a las demás clases de acero, además del factor de que, a la hora de producirlo, el coste de los distintos componentes es mucho más estable.

En cuanto a su estructura cristalina, ésta se denomina ferrita. Esta estructura es la que hace que los aceros inoxidable ferríticos presenten propiedades ferromagnéticas.

Los tipos más importantes de ferríticos se desglosan en los siguientes puntos:

- 409/410. Estas dos aleaciones presentan una cierta cantidad de titanio que mejora tanto la facilidad de conformación como la soldabilidad del material. Además, poseen un nivel de cromo bastante bajo (entre 11 y 14%), por lo que son de los aceros más baratos que hay. Sin embargo, por este mismo motivo, son

---

los aceros menos resistentes a la corrosión, por lo que se usa en ambientes que causen poca corrosión o para aplicaciones en las cuales una ligera oxidación del material sea aceptable. Se usa para la construcción de contenedores y para algunos elementos de los autobuses, como los embellecedores de las ruedas.

- 430. Es el tipo de ferrítico más usado de todos. Presentan un mayor nivel de cromo (14-18%), por lo que posee una mayor resistencia a la corrosión. Entre sus distintos usos destacan el material con el cual se fabrican los tambores de las lavadoras y algunos utensilios de cocina, como las ollas a presión.
- 439. Parecido a la familia del 430, pero añadiendo a la composición pequeñas cantidades de titanio para mejorar sus propiedades mecánicas. Con este material se producen, entre otros: fregaderos, tubos para intercambiadores de calor o sistemas de escape.
- 441. La única diferencia que presenta respecto al 439 es una pequeña composición de niobio. Este elemento dota al acero de una mayor resistencia a fluencia, en especial a altas temperaturas. Se usa para la fabricación de quemadores y otras partes que precisen estar expuestas a calor.
- 444. Esta familia dentro de los ferríticos incluye en su aleación un componente que dota al acero de unas propiedades anticorrosivas muy grandes, a nivel de los mejores austeníticos: el molibdeno. Sin embargo, debido a este elemento, es de los ferríticos más caros. Entre sus aplicaciones destacan ser el material que se usa en: microondas y hornos, tanques de agua caliente, paneles exteriores, etc.

### *1.3.1.3. Aceros inoxidables martensíticos*

Esta familia de aceros no es tan usada en la industria como los dos grupos anteriores. Al no ser un acero objeto de estudio en el presente proyecto, solo se resumirán las características más básicas de éste.

Los aceros inoxidables martensíticos son aceros altamente aleados. Presentan una buena resistencia a la corrosión, aunque no tan buena como los austeníticos. Sin embargo, son los aceros inoxidables más resistentes a fuerzas externas y duros que existen, pero poseen una muy baja ductilidad. Al igual que los ferríticos, presentan

propiedades magnéticas. Destacan también por tener una alta resistencia al desgaste, por lo que es apto para materiales que requieran de un ciclo de vida muy amplio.

Su estructura metalográfica está formada por martensita. Esta fase se genera a partir de una transformación de fases tan rápida que el carbono no le da tiempo a difundirse, por lo que la red se deforma. Se obtiene mediante el temple del acero.

Entre sus aplicaciones destacan para fabricación de cuberterías (sobre todo cuchillos), muelles y herramientas de corte.

A continuación se muestra una gráfica comparativa en la que puede observarse las tres familias de aceros inoxidable descritas previamente. El eje de ordenadas representa la resistencia última de carga (UTS) y el límite elástico (YS), ambas medidas en MPa.

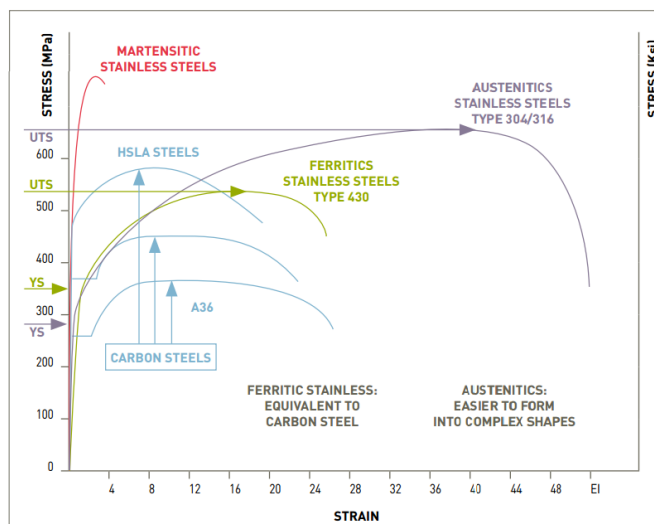


Figura 5: Propiedades mecánicas de los distintos tipos de inoxidables

Cortesía de ISSF (International Stainless Steel Forum)

Como conclusión, se establece que el acero martensítico es el más resistente y duro de los 3, sin embargo, es un material muy rígido y no permite apenas deformación. Por el contrario, el acero austenítico es el más tenaz, y, por tanto, el que más energía de deformación puede absorber sin romper. Por último, el acero ferrítico tiene propiedades mecánicas algo inferiores a los austeníticos, sobre todo en la incapacidad para deformarse tanto como estos últimos. Sin embargo, presentan un límite elástico ligeramente superior.

#### *1.3.1.4. Aceros inoxidables dúplex*

Esta familia de inoxidables es en realidad una combinación de los aceros austeníticos y de los ferríticos. Presentan una resistencia tanto a rotura como a oxidación mayores que ambos. Su aleación está compuesta por hierro, carbono, cromo y níquel (este último en menores proporciones que en el caso de los austeníticos). Están constituidos microestructuralmente por dos fases: ferrita y austenita.

Los aceros inoxidables dúplex poseen muchas de las ventajas de los dos principales grupos de inoxidables previamente descritos. Combinan una resistencia tanto a rotura como a oxidación muy elevadas con una relativa facilidad a la hora de fabricación. Su límite elástico es muy superior a la del acero inoxidable austenítico, y presenta una resistencia a fatiga excepcional, alargando notoriamente el ciclo de vida del producto. Como desventajas, la fabricación de este material no es fácil, y es bastante distinta a la que se realiza para el austenítico y para el ferrítico, por lo que se necesita una línea de producción independiente para fabricar exclusivamente este tipo de acero. Además, sus excepcionales propiedades mecánicas hacen también que sea difícil trabajar con él, en especial para operaciones de mecanizado.

Este acero se usa en múltiples campos de la industria. Uno de los más importantes es en la arquitectura, en especial para la construcción de puentes, donde las condiciones de salinidad y de corrosión se combinan con una alta resistencia necesaria para soportar grandes cargas. También se usa en la industria del petróleo y gas (debido a las duras condiciones de oxidación y fatiga que deben soportar), industria de biocombustibles, etc.

#### *1.3.2. Proceso de fabricación del acero inoxidable*

Se define como el conjunto de transformaciones que recibe el material desde que se funden las materias primas hasta que se obtiene el producto final con el espesor o diámetro deseado. Dicho proceso se puede dividir en tres grandes etapas: acería, laminación en caliente y laminación en frío.

La primera etapa que conlleva todo proceso independientemente de cuál sea el producto final que se desee obtener es la acería. A partir de chatarra, ferroaleaciones y

---

otros elementos, se adquiere la composición química deseada por la que se concretará tanto la calidad como las propiedades mecánicas que tendrá el acero inoxidable.

La siguiente etapa es la laminación en caliente, en la cual se reduce sustancialmente el espesor del acero aprovechando la gran ductilidad del material a altas temperaturas.

A continuación, en la etapa de laminación en frío, se consigue el espesor o diámetro final que se mandará al cliente. Esta etapa se denomina en frío debido a que la laminación se lleva a cabo a temperatura ambiente sin calentamiento previo. Por ello, debido a la menor ductilidad y mayor resistencia en este caso del acero, casi siempre es necesario realizar varias pasadas por los rodillos, disminuyendo el espesor poco a poco.

Por último, la etapa final es el taller de acabados. El acero llega normalmente enrollado en forma de bobina, con el espesor y la calidad ya definida. En esta última etapa, mediante distintas líneas de corte, la banda sufre distintas operaciones de corte y rebordeo hasta presentarse en la forma de producto final que se desee. Finalmente, se empaqueta el material, quedando listo para su envío.

A continuación, se explicará en más detalle estas distintas etapas, haciendo mayor hincapié en las líneas presentes en la fábrica objeto de estudio, Bahru Stainless.

### *1.3.2.1. Acería*

La acería es el punto de partida a la hora de fabricar cualquier tipo de acero inoxidable, independientemente de las características que se quieran obtener. En primer lugar, se obtiene la materia prima a partir de la cual se constituirá posteriormente el acero. Esta materia prima está formada por chatarra, acompañada de ferroaleaciones y otros minerales los cuales pasan previamente una exhaustiva prueba de control que garantiza la calidad del producto. La chatarra proviene de acero usado (debido a que esta aleación es 100% reciclable) y de pérdidas que sufre el material en el proceso de fabricación.

Una vez obtenido la materia prima, esta se funde en grandes hornos de arco eléctrico con capacidades de más de 100 toneladas de capacidad en muchos casos. La selección de los materiales a fundir es una decisión crítica a la hora de establecer cual serán las propiedades que se quiere para el acero a fabricar, ya que éstas dependen en su mayoría de la composición química exacta que tenga la aleación.

Estos hornos poseen unos electrodos de grafito que permiten elevar la temperatura a más de 1600 grados. Los electrodos hacen pasar una corriente eléctrica de gran amperaje hacia el material dentro del horno, formándose un arco entre el material cargado y el electrodo. El calor generado por el paso de esta corriente, añadiendo el que produce la energía radiante del arco permiten alcanzar estas temperaturas.

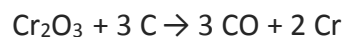


Figura 6: Acería en funcionamiento

Cortesía de Acerinox

Una vez fundido el material, el acero líquido se transporta mediante una cuchara de trasvase hasta el convertidor AOD (Argon oxygen decarburization). En esta fase, el acero recibe tres procesos:

- Descarburación. En este proceso se reduce la cantidad de carbono procedente de la aleación líquida. Se realiza un soplado con oxígeno y gas inerte, normalmente argón, con unas proporciones determinadas para remover parte del carbono de la aleación y formar monóxido de carbono en forma de gas, el cual es expulsado. La reacción química producida se resume a continuación:



La utilidad del argón reside en que impide que se oxiden otros elementos que no interesa, en especial el cromo.

- Reducción. En esta etapa se recuperan algunos metales de la escoria (conjunto de óxidos metálicos no deseados) que se ha formado en el horno debido a las altas temperaturas y a la acción del oxígeno.
- Desulfuración. Se realiza para disminuir el contenido de azufre.

Durante el tiempo que el metal fundido está en el convertidor, se van tomando muestras para analizar la composición química en tiempo real en el laboratorio de la acería, y se va ajustando la composición deseada mediante la adición de pequeñas cantidades de diversos elementos.

Al finalizar la fase del convertidor, se traslada el caldo mediante una cuchara de colada. De ahí pasa a la artesa, distribuidor donde se retienen las partículas de escoria. Resulta de vital importancia remover todo el material de escoria posible debido a que estos óxidos pueden causar defectos en las piezas que se fabriquen posteriormente. A continuación, el metal fluye hasta unos moldes en forma de lingotes en donde se

---

solidifica el material en una máquina de colada continua. Estas planchas de acero ya sólido de espesor muy grueso que se obtienen son los denominados desbastes, que se cortarán y se inspeccionarán para asegurar la calidad superficial antes de ser mandados a la siguiente fase. Aquí termina la etapa de acería, dando paso a continuación a la laminación en caliente.

### 1.3.2.2. *Laminación en caliente*

Comienza con la entrada de los desbastes obtenidos en acería en un horno de precalentamiento con el fin de volver el acero más dúctil para trabajos posteriores. A continuación, se transportan los desbastes hasta un tren desbastador, que es un laminador formado por varios rodillos que reduce el espesor de los lingotes de acero de 200 mm hasta unos valores alrededor de los 25 mm en varias pasadas, estando el acero a alta temperatura. Durante el proceso, se aplican además chorros de agua para eliminar la cascarilla (óxidos de hierro principalmente) que se forma en la colada continua. Además, mediante unos rodillos laterales, llamados cilindros canteadores, se consigue mejorar la calidad del borde de la plancha, así como ajustar el ancho a los valores deseados.



Figura 7: Laminación en caliente en una fábrica de acero inoxidable

Cortesía de Acerinox

A continuación, las planchas de acero ya reducidas se llevan a un nuevo tipo de laminador, llamado tren acabador Steckel. Contiene a ambos lados dos bobinadoras dentro de un horno que van enrollando y desenrollando la banda para realizar pasadas en ambas direcciones y aprovechar el calentamiento que sufre el material en el horno para poder reducir el espesor de manera más sencilla. Después de pasar por los rodillos

varias veces, se obtiene una larga banda de acero de un espesor entre 3 y 12 mm que, mediante una bobinadora, se enrolla hasta obtener una bobina de acero que se denomina bobina negra. En este momento se da por finalizada la laminación en caliente, y este producto es enviado a su siguiente etapa de fabricación.

### 1.3.2.3. Laminación en frío

En esta nueva fase se parte de bobinas negras, que son bandas de varios cientos de metros de longitud enrollados de forma cilíndrica y que han pasado por un primer proceso de laminación. Sin embargo, debido a las altas temperaturas sufridas en los hornos y su posterior enfriamiento, la estructura cristalina se deforma, perdiendo sus propiedades metalúrgicas. Para recuperarlas, el material debe someterse a un tratamiento térmico conocido como recocido.

#### **El recocido**

El recocido es un proceso que consiste en calentar por medio de un largo horno la banda de acero con el fin de llevarlo a una temperatura concreta para después enfriarlo lentamente hasta la temperatura ambiente.

En este punto, el objetivo de realizar el recocido a la banda de la bobina negra es volver a recuperar la estructura cristalina propia de la aleación que ha sido modificada en el proceso de laminación en caliente, así como volver al acero más dúctil a la hora de laminarlo posteriormente a valores más reducidos de espesor. La temperatura de calentamiento debe ser superior a la necesaria para disolver los carburos que han quedado atrapados en dicha estructura.



Figura 8: Bobinas negras

El tiempo necesario que el acero debe permanecer en el interior del horno es de aproximadamente 2 o 3 minutos por milímetro de espesor. Tener la banda más tiempo del necesario o a temperatura mayor puede causar la formación de un exceso de cascarilla en el acero (una capa superficial de óxidos que se forma a altas temperaturas alrededor de la banda), siendo luego muy costoso y difícil retirar.

Debido a que el horno debe de mantener constante la temperatura en todo momento para que el tratamiento sea el óptimo a lo largo de toda la banda del material, la alimentación de ésta al horno debe ser constante. Debido a este hecho, cada bobina negra, una vez desenrollada, la parte delantera (llamada cabeza) es soldada con la parte trasera (llamada cola) de la bobina que la precede. Esto se realiza en la zona de preparación de las bobinas, antes de entrar al horno.

Después de la zona de preparación, una vez soldadas las distintas bobinas en una banda continua, se desplazan hasta una estructura formada por tres carriles horizontales y cada uno a distintos niveles de altura. La banda de acero se transporta mediante rodillos a lo largo de estos carriles a través de los distintos niveles hasta la parte superior, en donde se localiza el horno. A su vez, en cada extremo se sitúa un cilindro que recoge la banda del nivel inferior y lo sube al superior. Este cilindro se sitúa en un carro móvil que puede desplazarse a través de un raíl durante decenas de metros.

El objetivo de toda esta estructura (llamada coloquialmente el bucle) es mantener la velocidad de entrada del acero al horno constante, incluso en los periodos en los cuales se están soldando las distintas bandas (y por lo tanto están paradas).

El funcionamiento de todo el conjunto es el siguiente: la primera bobina negra se empieza desenrollar en una bobinadora y se suministra al proceso. La bobina puede tardar entre 15 y 20 minutos en acabar de desenrollarse. Mientras tanto, antes de que termine, una segunda bobina negra se coloca en una segunda bobinadora en paralelo. Tan pronto como los últimos metros de la primera bobina se desenrollan, se para durante unos pocos minutos el suministro al bucle para colocar la segunda bobina y soldarla. Mientras se produce este parón, los extremos del bucle se empiezan a acercar al punto de inicio para reducir así la longitud de los niveles. Por tanto, la banda de entrada al bucle está parada, pero la salida del bucle (que precede inmediatamente a la entrada del horno) sigue moviéndose a velocidad constante. Una vez soldada la segunda bobina a la primera, se continúa con el suministro de la banda al bucle, y en este caso a mayor velocidad que la de salida, para recuperar la longitud inicial de la estructura y tener tiempo para la siguiente parada.



**Figura 9: Extremo móvil del bucle, consistente en un rodillo apoyado en una plataforma que desliza por unos raíles (izquierda).**



**Figura 10: Vista longitudinal de los raíles del bucle (derecha)**

Por último, la banda se enfría en un contenedor cerrado en el cual el acero va flotando

---

en forma de catenaria apoyada en varios puntos mientras que recibe chorros de aire provenientes de potentes ventiladores.

### **El decapado**

Es un tratamiento superficial que se utiliza para eliminar las impurezas del acero formadas en los hornos del recocido, por lo que en todas las líneas el decapado va siempre justo después del recocido.

Las impurezas hacen referencia sobre todo a la cascarilla formada en los hornos de recocido. Estos óxidos son removidos con elementos abrasivos, como chorros de partículas de hierro, que van arañando la superficie y quitando el material superficial que no interesa. Estas pérdidas de material se denominan mermas y no pueden reciclarse para otros usos.

Otro método para quitar la cascarilla es la aplicación de fuertes ácidos, del cual existen varios tipos en función del tipo de acero. Sin embargo, su uso en exceso o la aplicación de un ácido incorrecto puede quitar buena parte del material en buen estado o producir defectos en forma de mancha en el producto posterior.

Una vez terminado el decapado, el acero inoxidable presenta un aspecto brillante, de color grisáceo blanquecino, mucho más vistoso que el color marrón oscuro característico de las bobinas negras. En este punto, se hace una minuciosa inspección para controlar que no haya defectos en la banda y para comprobar tanto la calidad superficial como que las dimensiones de ancho y espesor estén dentro de los valores correctos.



**Figura 11: Bobinas una vez procesadas por AP1**

### **La laminación**

Este proceso es uno de los más importantes dentro de todas las operaciones que conlleva la producción de acero inoxidable. Gracias a la laminación, se reduce el espesor del producto a los valores finales que requiere el cliente. En esta etapa, la elección de parámetros tales como el tipo de rodillo utilizado, el número de cambios de rodillos, la velocidad, los espesores de entrada y salida, así como todos los intermedios que se

buscan en cada pasada, o la fuerza aplicada sobre la plancha son críticos a la hora de conseguir una eficiencia y una calidad óptima en el proceso.

### Funcionamiento de un laminador

En el proceso de laminación, tanto la lámina de acero como el rodillo de laminación sufren una deformación. La diferencia reside en que, mientras la deformación que sufre el material es plástica (y por lo tanto permanente), la que sufre los rodillos es elástica, recuperando su forma original una vez que cesa la fuerza.

Una de las principales fuerzas que actúan en el proceso de laminación es la denominada fuerza de separación que sufren los rodillos (R.S.F.). Esta fuerza será mayor conforme el material sea más duro y se requiera una reducción mayor.

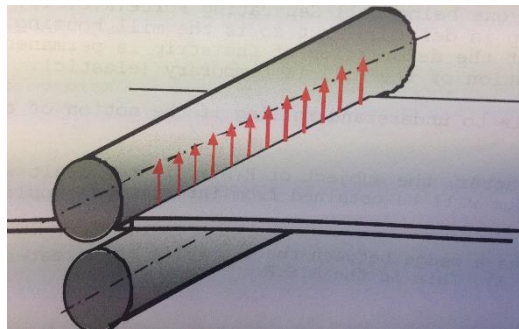


Figura 12: Fuerza principal que sufren los rodillos en el proceso

El RSF se distribuye uniformemente a lo largo de toda la lámina.

Los efectos que producen estas fuerzas son:

- Flexión de los rodillos (figura 13).
- Un efecto de cizalladura en los extremos del rodillo.
- Deformación de la carcasa: algunas partes están a compresión y otras a tracción
- Una fuerza axial en los rodillos cuando la plancha es más gruesa en un lado que en otro.

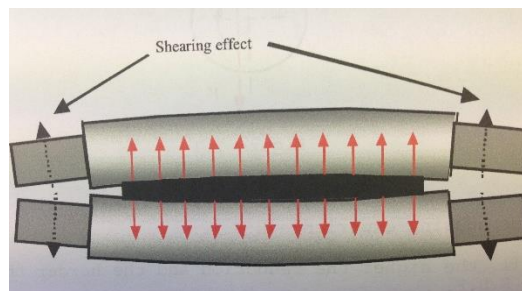


Figura 13: Flexión que sufren los rodillos al laminar

Debido a que las RSF no pasan por el centro de los rodillos, se origina un torque de valor  $a \cdot F$ , como se extrae de la siguiente figura:

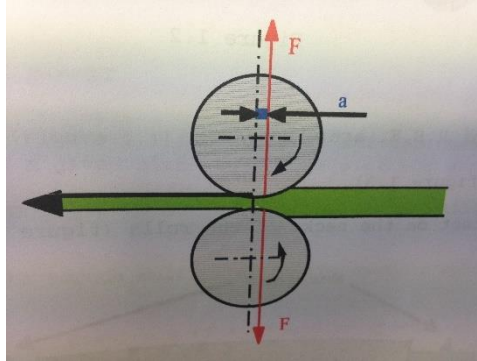


Figura 14: Fuerzas y momentos originados en la laminación

Para que los rodillos giren, el motor debe proporcionar un torque  $a \cdot F \cdot 2$ . A partir de aquí se calcula la potencia como

$$P = a \cdot F \cdot 2 \cdot w \text{ (radianes/seg)}$$

Siendo  $w$  la velocidad angular del rodillo.

El torque originado crea también unas fuerzas  $H$  desde el centro de cada rodillo en dirección contraria al flujo del material. Esto provoca un efecto de torsión.

La plancha está en contacto con el rodillo entre A y B, esta zona se llama arco de contacto.

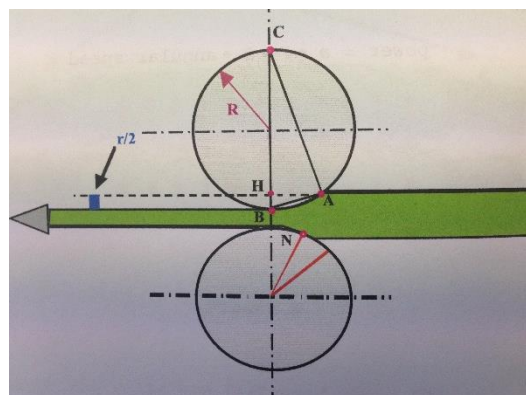


Figura 15: Arco de contacto de rodillo y chapa

---

La velocidad de salida de la plancha (punto B) es un poco mayor que la velocidad periférica de los rodillos (la diferencia se llama deslizamiento de avance). Esto se debe a que el flujo másico del material en A y B debe ser el mismo. Si en B hay menor espesor, entonces la velocidad del material ha de ser mayor. Sin embargo, la velocidad periférica del rodillo en A y B es la misma. Esta diferencia de velocidades entre rodillo y plancha crea una gran fricción que produce:

- Calentamiento del rodillo y de la plancha
- Desgaste de los rodillos por abrasión
- Modificación del aspecto superficial de las planchas
- Consumo de potencia

Solo en el punto N (punto neutral) las dos velocidades son iguales.

El coeficiente de fricción es un parámetro muy importante. Siempre será necesario un enfriamiento y emplear un lubricante fuerte a no ser que las velocidades sean muy bajas y la reducción muy pequeña.

Otro parámetro importante es el material. El RSF requerido depende de las propiedades mecánicas del material (límite elástico y elongación).

$$\% \text{ reducción} = (\text{espesor inicial} - \text{espesor final}) / \text{espesor inicial} * 100$$

Sin embargo, por limitaciones mecánicas, en casi todos los casos se requieren múltiples pasadas del material a laminar, salvo que la reducción sea muy ligera.

De manera lógica, el nivel de reducción del espesor es directamente proporcional a lo que se alarga la banda en el proceso. El ancho de las planchas durante la laminación apenas cambia, por lo que se puede considerar constante.

El parámetro  $p$  a usar depende de cada material y requiere de diversos experimentos con varios elementos. No obstante, puede determinarse mediante ensayos de tracción previos para obtener la curva de tensión - deformación del material a laminar para calcular la presión a ejercer y el número de pasadas necesario.

La fuerza se calcula como la presión que ejerce el rodillo  $p$  (en  $\text{kg}/\text{mm}^2$ ) multiplicada por el área de contacto.

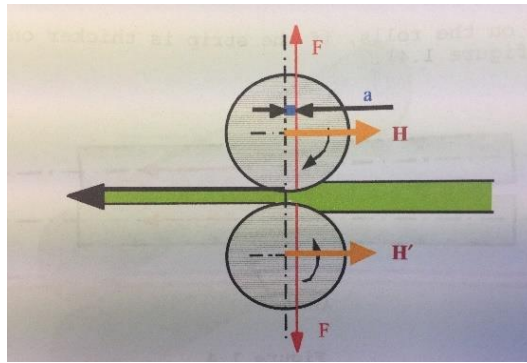


Figura 16: Momentos y fuerzas sobre rodillos

Para calcular el área de contacto se parte de la figura 15. Suponiendo que la línea AB es recta (es una buena aproximación debido a que esta distancia es mucho menor que el diámetro del rodillo), se puede considerar dos triángulos rectángulos: ABC y ABH. El seno de alfa se calcula como:

$$\text{Sen} \alpha = BH/AB = AB/BC$$

$$\text{Por tanto, } BH/AB = AB/BC$$

$$(AB)^2 = BC * BH$$

BH se le denomina  $r$ , y representa la diferencia de espesor entre la entrada y la salida de la plancha. Por tanto,

$$(AB)^2 = 2R * (r/2),$$

Siendo  $R$  el radio del rodillo.

$$\text{arco de contacto } AB \approx \sqrt{R * r} \text{ (mm)}$$

Volviendo a la RSF:

$$F = \sqrt{R * r} * w * p$$

Siendo  $w$  el ancho de la lámina.

Para calcular el momento que debe vencer el rodillo para el proceso de laminación, se aproxima la distancia a la mitad del arco de contacto, debido a que se puede considerar que toda la presión ejercida por el rodillo es equivalente a tener una fuerza puntual en el punto medio.

Tomando esta consideración:

$$M = F \cdot d = \sqrt{R \cdot r} \cdot w \cdot p \cdot \frac{1}{2} (\sqrt{R \cdot r}) = (R \cdot r \cdot w \cdot p) / 2 \text{ por cada rodillo.}$$

Una vez calculado el momento a vencer, se obtiene la potencia necesaria.

$$P = M \cdot W$$

Siendo S la velocidad del material en (m/min),

$$V \text{ (velocidad periférica)} = \frac{S \left[ \frac{m}{\text{min}} \right] \cdot 1000 \left[ \frac{mm}{m} \right]}{60 \left[ \frac{s}{\text{min}} \right]} = \frac{1000}{60} S \quad \left[ \frac{mm}{s} \right]$$

$$W \text{ (velocidad angular)} = \frac{1000}{60} S \left[ \frac{mm}{s} \right] \cdot \frac{1}{2PIR} \left[ \frac{rev}{mm} \right] = \frac{S \cdot 1000}{60 \cdot 2PIR} \left[ \frac{rev}{s} \right]$$

$$P(HP) = (R \cdot r \cdot w \cdot p) [kg \cdot mm] \cdot W \left[ \frac{rev}{mm} \right] \cdot 2PI \left[ \frac{rad}{rev} \right] \cdot \frac{1}{75000} [paso a CV] = \frac{S \cdot w \cdot r \cdot p}{4500}$$

Todos estos cálculos son aproximaciones, debido a que no se tienen en cuenta el efecto aplanador de los rodillos, las tensiones y el coeficiente de rozamiento.

Atendiendo a las formulas previas, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El tamaño de los rodillos es proporcional a la RSF. Cuanto menor sea la dimensión de los cilindros, menor fuerza se generará.
- La potencia no depende de la dimensión del rodillo (no aparece R). Esto es debido a que, a mayor tamaño, el momento generado es mayor, pero se reduce la velocidad angular.
- Para un material con un tamaño determinado, la potencia depende solo de la velocidad a la que se opera y de la reducción de espesor que se quiera dar al material por cada pasada.

### Tren de laminación Sendzimir

Es el tipo de laminador es el utilizado para realizar la laminación en frío de los aceros inoxidables. Consiste en una caja de laminación que engloba un juego de 20 cilindros, 10 a cada lado, distribuidos en cuatro niveles y siendo cada vez más pequeños conforme se acercan a la banda.

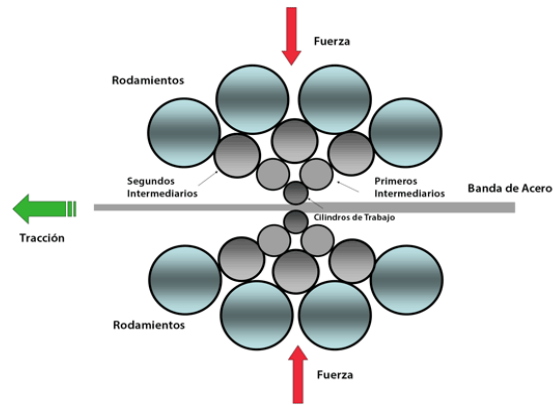


Figura 17: Esquema de un laminador Sendzimir

Cortesía de Layde Steel

La razón de utilizar un laminador de estas características reside en su capacidad para laminar materiales especialmente duros, consiguiendo espesores muy bajos (hasta 0,2 mm) y precisiones muy altas. El pequeño tamaño de los rodillos de trabajo permite mayores reducciones sin producir deformaciones en la chapa, debido a que ejerce una menor fuerza de laminado sobre el acero, y además facilita y reduce el coste de los cambios por mantenimiento y mejoran la calidad superficial de la banda. Los cilindros de los niveles superiores sirven de apoyo para soportar las elevadas presiones que se generan durante la laminación.



Figura 18: Cambio de rodillos de trabajo en un Sendzimir

El sistema debe estar permanentemente lubricado, así como tener un proceso continuo de enfriamiento mediante sistemas con agua, debido a que se genera un rápido calentamiento por el gran rozamiento que sufren rodillos y plancha.

### **Recocido y decapado final**

Después de la laminación se necesita una nueva etapa de recocido debido a que el material se ha endurecido mucho al haber sido aplastado para reducir su espesor. El problema de este endurecimiento es que conlleva un decremento en la ductilidad del material, un efecto no deseado debido a que el acero se vuelve demasiado rígido. Otro de los motivos que se busca en el segundo recocido es eliminar las tensiones internas producidas en laminación, para así igualar las propiedades mecánicas del producto en todas las zonas.

El decapado siempre es necesario después de un recocido para quitar las impurezas y mantener el aspecto del acero brillante y vistoso, por lo que de nuevo se decapa de manera análoga al proceso explicado anteriormente. La única diferencia de esta nueva línea de recocido-decapado respecto de la primera es que al final se sitúa el denominado skin pass, que hace referencia a un nuevo tren laminador que confiere a la bobina un acabado brillante, mejorando la calidad superficial a valores aún más afinados. Solo el material que requiera un acabado tan exigente pasa por el skin pass.

Una vez finalizada la línea, el material se bobina de nuevo y se manda a la última gran etapa de la fabricación, el taller de acabado.



**Figura 19: Bobinadora al finalizar el Skin Pass**

#### 1.3.2.4. Taller de acabados

Formado por un conjunto de líneas de corte, es aquí donde la larga banda de acero se transforma en el tipo de producto final que satisfaga las necesidades del cliente. Es aquí donde se realizan las operaciones de corte y rebordeado (para ajustar el ancho) para conseguir el material en su forma deseada.



Figura 20: Proceso de rebordeado en una línea de corte

Una vez terminado este proceso de corte, se toman muestras de cada bobina y se mandan al laboratorio para realizar ensayos y ver así si las propiedades mecánicas del producto se ajustan a los valores requeridos. También se realiza una última inspección de la superficie con el objetivo de comprobar la calidad final.

Finalmente, se envía el material a las líneas de embalaje, las cuales empaquetan el producto de tal forma que lo protejan y permitan llegar el material hasta el consumidor final en óptimas condiciones. A partir de este punto, el material ya está preparado para ser enviado, ya sea por barco o camión, hasta el destinatario final, poniendo punto y final al proceso de fabricación y transformación del acero inoxidable.

### 1.3.3. Acerinox

Acerinox es una empresa multinacional española que es la compañía líder en el mundo en capacidad de producción de acero inoxidable. Gracias a su fábrica situada en Algeciras y a sus filiales extranjeras, Acerinox produce y procesa cerca de 3,5 millones de toneladas de acero inoxidable al año.

El grupo conocido en todo el planeta como una de las empresas más competitivas en la industria del acero inoxidable. Desde su fundación, ha llevado a cabo un programa continuo de inversiones, con innovaciones tecnológicas propias que, en algunos casos, han constituido un verdadero punto de inflexión en la tecnología de esta industria.



**Figura 21: Vista de las oficinas centrales de Acerinox(izquierda)**

**Figura 22: Vista de la fábrica principal de Algeciras (derecha)**

**Ambas fotografías son cortesía de Acerinox**

Acerinox nace en el año 1970, cuando dos compañías siderúrgicas de Japón, Nisshin Steel y Nissho Iwai, acuerdan con el banco español Banesto crear una empresa conjunta de acero inoxidable que se situaría en la bahía de Gibraltar. El capital inicial con la que contó Acerinox fue de 600 millones, la mayoría aportados por Banesto.

Con los años, esta primera fábrica se convierte en una de las mayores plantas integrales del mundo, sobrepasando el millón de toneladas de producción en el año 2001, y dedicando toda su producción a producto plano.

Algunos años después de la inauguración de esta primera fábrica, en 1982, se incorpora al grupo Acerinox la fábrica de Roldán, situada en Ponferrada, dedicada al producto

---

largo. Posteriormente, a principios de los 90, se funda Inoxfil, una trefilería situada en Igualada, Barcelona, que se dedica a la producción de alambre de acero inoxidable, siendo actualmente la mayor fábrica de este producto del mundo occidental.

A principios de los 90, el grupo Acerinox da el salto internacional y nace NAS (North American Stainless), un ambicioso proyecto fruto de una joint venture con Armco, una compañía americana de producción de acero del momento que actualmente se denomina AK Steel Holding. Posteriormente, Acerinox adquiriría el 100% de la filial.

La fábrica se sitúa en Kentucky, EEUU, y actualmente es la mayor fábrica del grupo, permitiendo a Acerinox ser el mayor productor de inoxidable en Estados Unidos (con un 40% de cuota de mercado del país anglosajón). Es también una de las plantas más eficientes y rentables del planeta. Produce productos largos y planos.

El comienzo de siglo viene marcado por la adquisición por parte del grupo Acerinox en el año 2002 de la fábrica de acero inoxidable de Columbus, cerca de la ciudad de Johannesburgo, en Sudáfrica. Su ubicación en una zona minera y próxima a una refinería de ferrocromo proporciona a la fábrica importantes ventajas estratégicas. En este caso, Acerinox no posee todo el accionariado de Columbus, debido a que un 24% pertenece al gobierno del país africano. En el presente, esta planta sigue siendo la única que fabrica acero inoxidable en África, y produce producto plano.

### *1.3.3.1. Bahru Stainless*

Finalmente, el grupo Acerinox, en el año 2009, con el objetivo de seguir con su expansión internacional, decide entrar en el mercado asiático por medio de la construcción de una planta en las afueras de Johor Bahru, Malasia. Se funda la filial llamada Bahru Stainless, y Acerinox se hace con el 67% del capital. El resto de las acciones van para los fabricantes japoneses Nisshin (en su mayoría) y Metal One.

La construcción de la planta se planifica en 4 fases. Actualmente, sólo dos han sido llevadas a cabo, por lo que la fábrica no reúne aún todos los elementos para poder realizar todo el proceso de fabricación del acero inoxidable.



La fábrica posee actualmente el proceso de laminación en frío y el taller de acabados. Por tanto, carece de acería y la parte de laminación en caliente, y debe recibir de parte de varios suministradores materia prima en forma de bobinas negras para estar en funcionamiento. Su capacidad de producción se sitúa actualmente en 500.000 toneladas al año de manera aproximada.

**Figura 23: Vista aérea de la fábrica de Bahru Stainless**

Cortesía de Acerinox

La planta de Bahru Stainless contiene las siguientes líneas:

- Línea AP1. Es una línea combinada de recocido y decapado (annealing and pickling) en la cual la bobina negra proveniente del exterior se procesa y se deja lista para la fase de laminación. En algunos casos se puede utilizar también para procesar bobina ya laminada, pero solo cuando el espesor de ésta sea mayor a 2,5mm.
- Línea ZM1. Consiste en un gran tren laminador del tipo Sendzimir, donde se reduce el espesor de la bobina a valores que pueden alcanzar los 0,25 mm. Al lado del laminador se encuentran dos bobinadoras, una a cada lado, que desenrollan la banda y la enrollan en el otro extremo una vez que pasa por los rodillos. Este proceso es reversible debido a que casi todas las bobinas requieren varias pasadas por el laminador para alcanzar los espesores requeridos. El sendzimir requiere de altos niveles de refrigeración y de lubricación debido a los altos niveles de calor producidos por la fricción.
- Línea ZM2. Es una línea análoga a ZM1, pero el Sendzimir es de menor tamaño.
- Línea AP2. Es una nueva línea de recocido y decapado que se usa una vez laminado el material para eliminar tensiones residuales y devolver a la estructura cristalina del acero sus propiedades después de haber sido modificadas por la laminación. Línea análoga a AP1.
- Líneas CS1 y CS2. Son líneas combinadas de corte. Se les denomina así debido a que tienen la capacidad de cortar la banda en forma de láminas, pero también de obtener flejes a partir de la bobina principal.

- Líneas SL1 y SL2. Estas líneas permiten solamente obtener bobinas y flejes, no se puede usar para láminas.
- GP1. Es la línea de pulido. Obtiene unos acabados muy brillantes, debido a su calidad superficial excepcional. El material de las muelas ha de ser seleccionado cuidadosamente para obtener resultados satisfactorios.
- PC1, PC2, PS1, PS2, PD1, PB1. Son las distintas líneas de empaquetado que posee la fábrica para empaquetar todos los tipos de productos final que se procesan en el taller de acabados.
- SP1. Es el skin pass, se sitúa a continuación de AP2 y se usa para un acabado determinado. Este acabado superficial es mejor si pasa por el skin pass, pero no llega al nivel del pulido de la GP1.

Bahru Stainless fabrica exclusivamente producto largo. Dentro de este grupo, los tres tipos de producto final que se procesan son los siguientes:

- Bobinas. La banda, una vez laminada, tratada térmicamente y decapada, se corta en la longitud que se requiera y se enrolla para formar una bobina más pequeña que la original. La bobina se empaqueta y se manda al cliente.
- Flejes. Este elemento se denomina así cuando se corta la bobina de manera transversal, produciéndose varias bobinas mucho más estrechas, de manera similar a tiras enrolladas de forma cilíndrica.



Figura 24: Flejes de acero inoxidable

cortesía de Acerinox

- Láminas o planchas. La bobina resultante de AP2 se desenrolla y se corta la banda en forma de rectángulos del mismo tamaño. Estas láminas se empaquetan juntas unas encima de otras.

A continuación, se explican también los distintos tipos de acabados superficiales que ofrece la planta malaya. Estos grupos vienen descritos a continuación:

- N01. Denominado acabado número 1, es el que hace referencia a la banda que ha sido tratada y laminada en caliente pero no en frío. Es decir, no se llega a laminar en el Sendzimir. Esto se da cuando el nivel de rugosidad y de uniformidad no son factores importantes.
- 2D. Este acabado corresponde al material que ha sido laminado en frío, tratado térmicamente y decapado.
- 2B. Igual que el 2D con la salvedad de que en este caso, el material pasa por la línea de skin pass que le confiere un aspecto más suave y uniforme que en el caso anterior. Es el tipo de acabado más común en Bahru Stainless.
- 2BB. Este tipo se le denomina acabado espejo, que se refiere a un acabado excepcional que suministra al material un aspecto realmente brillante.
- N04. El acabado número 4 se refiere al acero que recibe un pulido en la GP1.
- SB. Denominado Scotch Brite, es un acabado muy característico usado solo para aplicaciones muy concretas.
- HL. Las siglas corresponden a su nombre inglés "Hairline", y representa un acabado pulido de mayor calidad aún que el N04 que precisa de dos distintas etapas de pulido. Es poco común en la fábrica.

También se considera importante para más adelante hacer un breve resumen de los distintos tipos de defectos que presentan las bobinas que se procesan en la planta y que supondrán una pérdida de material que se intenta limitar día tras día. Esta información se resume en la siguiente tabla:

Tipo de defecto	Descripción	Causas	Medidas correctivas
<b>Arañazos</b>	Pequeñas rayas cortas y discontinuas que pueden aparecer a lo largo de toda la bobina, pero son más comunes en cabeza y cola.	Rozamientos discontinuos debido a rodillos de transporte parados	Chequeo constante de rodillos y evitar en todo momento que la banda roce con elementos estáticos de la línea. Evitar pérdida de tensiones.

<b>Agujeros mandril</b>	<b>de</b>	Afecta a la cabeza y a la cola de la bobina. Son arañazos profundos con impurezas atrapadas dentro.	El mandril usado para la sujeción de las bobinas.	Reemplazar el tambor del mandrino
<b>Manchas</b>		Zonas de la bobina de distinto color y tonalidad	Provocado por los ácidos del decapado	Asegurarse de que el proceso de enjuague funciona correctamente, y que la composición y nivel de dilución del ácido es el correcto.
<b>Papel quemado</b>		Manchas puntuales de color más oscuro que el material que le rodea.	La laminación junto a la bobina de parte del papel que protege a ésta cuando es transportada y que no se ha retirado correctamente.	Asegurarse que los rodillos de pollastrelli funcionan de modo correcto y que todo el papel es removido antes de procesarse la bobina.
<b>Inclusiones</b>		Falta de material en determinadas zonas o material superpuesto.	Problemas en la acería o en la parte de laminación en caliente.	Evitar un mal procedimiento en la colada y en la laminación del desbaste.
<b>Astillado</b>		Defectos de superficie cerca del borde de la banda en forma lineal.		
<b>Marcas</b>		Irregularidades en la superficie de la bobina que aparecen de modo periódico.	Causado por rodillos en mal estado, se puede saber los rodillos que están dando problemas gracias al paso entre las distintas marcas.	Sustituir los rodillos dañados y cambiar los rodillos de trabajo con frecuencia

Por último, en lo que se refiere a Bahru Stainless, se describen los distintos suministradores de bobinas negras de la fábrica. Estos proveedores se nombrarán a lo largo de todo el proyecto, debido a que muchos de los estudios se realizaron atendiendo

al tipo de suministrador para evaluar los impactos económicos generados. Estos suministradores de bobina negra son los que aparecen a continuación:

- Acerinox. Hace referencia a Acerinox Europa, la filial del grupo Acerinox en España, y su fábrica de Algeciras es la primera que se construyó.
- Columbus. También es filial del grupo Acerinox, como se explicó anteriormente, se sitúa en Sudáfrica.
- NAS. Es la subsidiaria del grupo en Estados Unidos, y la mayor fábrica.
- Nisshin. Multinacional japonesa que también destaca por tener unas estrechas relaciones con el grupo Acerinox, hasta el punto de participar en la fundación de Bahru Stainless y poseer el 30 de su accionariado.
- También suministra a Bahru otras dos compañías chinas del sector.

**Como apunte final, cabe recordar que, en el presente proyecto, a pesar de que Bahru Stainless solo realiza laminación en frío, se usará a lo largo de todo el documento trabajo (o estudio) en caliente para referirse a las bobinas aún no procesadas (la mayoría de las bobinas que pasan por AP1 y el material de CB1) y trabajo en frío para las bobinas después de laminación (el resto de casos, sobretodo AP2 y el taller de acabados).**

### *1.3.4. Fuentes de información*

Los datos con los que se trabajó a la hora de realizar el proyecto fueron suministrados por la base de gestión de datos de la fábrica, denominada Supervisory. Esta base recoge en tiempo real todos los datos de cada bobina que es procesada en la fábrica, formando un histórico de valores de todos los productos producidos desde el comienzo de la fábrica. Supervisory proporciona, entre otros, tipos de defectos que presentan las bobinas y su longitud, peso de la bobina en cada punto de la línea de producción, gráficas día a día o mes a mes para comprobar la evolución de estos valores, planificación futura de la producción, incidencias, medición en tiempo real de las características del acero, etc. Cada bobina producida tiene un número de identificación, y para cada una de ellas se proporcionan los datos que caracterizan a esa bobina, como sus dimensiones, tipo de acero, acabado, etc. El registro permite también comprobar cada proceso que ha sufrido la bobina desde su entrada a fábrica como bobina negra hasta la salida en forma de producto final.



## **2. Evaluación de las Bobinas de Caliente de la Fábrica**



## 2.1. Preprocesamiento de los datos

Como se mencionó en el apartado anterior, los datos que se usaron posteriormente para elaborar los contenidos estudiados en el presente proyecto se obtuvieron a partir de Supervisory. Sin embargo, fue necesario realizar un preprocesamiento de los datos para filtrar aquellos que por sus valores se sabían que eran erróneos. Esto se hizo con el fin de evitar que estos datos pudieran modificar los resultados finales de los cuales se iban a extraer las conclusiones.

En primer lugar, se obtuvo uno de los informes que proporciona la base de datos, eligiendo como período de estudio el año 2015, y se obtuvo para una línea dada, en función del cálculo realizado en ese momento. Este informe proporciona como se comentaba anteriormente, muchos datos, de los cuales los más importantes para el estudio son: el número de identificación de cada bobina (una letra que indica el suministrador y un número de varias cifras que identifica a la bobina), su espesor, ancho, longitud, tipo de acero, masa de entrada, acabado, tipo de proceso y fechas de procesamiento. Un ejemplo de varias bobinas obtenidas en el informe para 2015 y la línea AP1 se puede comprobar en los anexos A al final del documento.

Una vez exportados los datos a Excel, se agruparon de distintas formas para facilitar su posterior análisis. Dependiendo de la letra del identificador, se asignó el suministrador a cada bobina. También se tuvo que decidir una manera de agrupar las dimensiones de las bobinas en varios grupos. La decisión final adoptada para cada dimensión fue:

- Para el espesor, en función de si la bobina ha sido laminada o no, es necesario hacer grupos distintos debido a que cambia la dimensión. Para la línea AP1 (antes de laminación) los grupos establecidos fueron de 3mm, 4mm, de 5 a 7mm, de 8 a 10 mm y de 10 a 12mm. La razón de escoger 5 grupos es que se consideró el número óptimo teniendo en cuenta que interesa tener varios grupos para catalogar correctamente las bobinas, pero a la misma vez que no se realicen demasiadas divisiones que hicieran que en algún grupo hubiera muy pocos datos para trabajar con fiabilidad.
- Para los grupos de ancho, que fueron para todos los casos los mismos, se escogió 1000mm, 1220mm, 1250mm, y 1524mm. Estos valores corresponden aproximadamente a valores de ancho de 3, 4 y 5 pies y los anchos de las bobinas están siempre alrededor de estos valores. En el caso de 4 pies se dividió en 1220 y 1250.

- 
- En cuanto al tipo de acero, debido al alto número de tipos diferentes, se usaron simplemente los aceros más comunes, debido a que, en algunos casos de aceros más raros, no había suficientes datos para extraer conclusiones.

Después de tener todos los datos en Excel y organizados en grupos, se procedió a la eliminación de valores atípicos. En algunos casos, se tenían valores que eran imposibles, como tener una masa de salida mayor a la de entrada, por lo tanto, era necesario hacer una evaluación para retirar todas las bobinas con este problema. Además, en algunos casos los datos eran correctos, pero debido a alguna avería de algún elemento de la fábrica, cada cierto tiempo había bobinas que perdían casi toda su masa en el proceso o que se comportaban de manera extraña. Como no se quieren evaluar estos valores atípicos debido a que se obtienen a partir de condiciones anómalas en la fábrica, se retiraron también del estudio.

También fue necesario fijarse en el proceso que está realizando cada bobina, y cuya información viene contenida en el informe de Supervisory. En la línea AP1, debido a que procesa material en caliente y en frío, se deben coger las bobinas HBC, HDC, HBN para estudiar en caliente y APF para frío. Todos los procesos posibles de cada línea y sus siglas pueden comprobarse en el anexo B del proyecto, mientras que las siglas de los tipos de acabados que también es un dato proporcionado por esta base se encuentran en el anexo C. Además, para algunos casos determinados, parte de las bobinas tenían que volver a procesarse por motivos técnicos. En algunos casos del proyecto se tendrán en cuenta solamente las bobinas que no han sido reprocesadas.

## 2.2. Estudio descriptivo

Una vez obtenido los datos de Supervisory y haber eliminado aquellos que no representaran las condiciones normales de funcionamiento de la planta, se procedió a llevar a cabo un estudio descriptivo de las características de las bobinas negras que entraron a la fábrica a lo largo del período 2015. El objetivo de dicho estudio preliminar es poder observar las dimensiones, el tipo de acero, y los suministradores más comunes, para ver la importancia de las conclusiones obtenidas posteriormente.

A través de las tablas dinámicas ofrecidas por el programa Excel se obtuvo la siguiente información.

Suppliers	Sum of Mass In (MT)	Percentage
Supplier A	66.096	38,5%
Supplier B	60.562	35,2%
Supplier C	25.005	14,6%
Supplier D	11.174	6,5%
Supplier E	7.968	4,6%
Supplier F	928	0,5%
<b>Total general</b>	<b>171.733</b>	<b>100,0%</b>

Tabla 1: Cantidad de masa procesada (ton) en 2015 y porcentaje del total en función del suministrador

Steel type	Sum of Mass In (MT)	Percentage
304	150.971	87,9%
316	10.588	6,1%
430	3.618	2,1%
409	3.469	2,0%
200	709	0,4%
321	706	0,4%
310	525	0,3%
436	287	0,2%
301	257	0,1%
441	234	0,1%
410	194	0,1%
439	174	0,1%
<b>Total general</b>	<b>171.733</b>	<b>100,0%</b>

Tabla 2: Cantidad de masa procesada (ton) en 2015 y porcentaje del total en función del tipo de acero

Width (mm)	Sum of Mass In (MT)	Percentage
1000	5.735	3,3%
1220	70.169	40,9%
1250	26.426	15,4%
1524	69.404	40,4%
<b>Total general</b>	<b>171.733</b>	<b>100,0%</b>

Tabla 3: Cantidad de masa procesada (ton) en 2015 y porcentaje del total en función del ancho

Gauge (mm)	Sum of Mass In (MT)	Percentage
3	55.873	32,5%
4	45.535	26,5%
5-7	45.400	26,5%
8-9	18.357	10,7%
g10-12	6.568	3,8%
<b>Total general</b>	<b>171.733</b>	<b>100,0%</b>

Tabla 4: Cantidad de masa procesada (ton) en 2015 y porcentaje del total en función del espesor.

Como se puede extraer de las anteriores tablas, el suministrador de materia prima más común de Bahru Stainless es suministrador A, que acapara el 38% de las bobinas recibidas, seguido de cerca por suministrador B, con un 35%. Entre los dos sumaron casi tres cuartas partes de lo recibido en el año 2015. Entre los demás suministradores, destaca suministrador C con un 16%.

Por otra parte, el acero inoxidable más común tratado por la fábrica es el 304, con casi el 88% del material total procesado. Como se comentó anteriormente, el 304 es uno de los austeníticos más versátiles del mercado, con unas propiedades anticorrosivas muy buenas y una gran relación calidad-precio, de ahí su popularidad en los pedidos realizados por los clientes. El siguiente acero más demandado es el 316, con un 6%. Como se puede observar, los austeníticos representan más del 94% de la producción total, el resto son ferríticos.

En cuanto al ancho de las bobinas, el más popular es el de 4 pies (55%), seguido del ancho de 5 pies (40%). Lejos queda la proporción de bobinas de 3 pies (apenas alcanza el 5%).

En último lugar, el grupo de espesor más numeroso es el de 3mm (32,5%), seguido de cerca por el de 4mm y el grupo de 5 a 7mm. Se puede ver que los anchos gruesos (mayores a 7mm) no son tan comunes.

La cantidad de masa procesada por la línea AP1 durante el año 2015 fue de 171.733 toneladas.

Sum of Mass In (MT) Supplier	Width (mm)				Grand Total
	1000	1220	1250	1524	
Suministrador B	16,8%	21,8%	35,0%	50,6%	35,3%
Suministrador A	83,2%	33,4%	54,8%	33,7%	38,5%
Suministrador E	0,0%	2,9%	8,9%	5,1%	4,6%
Suministrador F	0,0%	0,3%	1,2%	0,6%	0,5%
Suministrador D	0,0%	11,9%	0,0%	4,0%	6,5%
Suministrador C	0,0%	29,7%	0,0%	6,0%	14,6%
<b>Grand Total</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>

Tabla 5: Porcentaje de masa del suministrador respecto del total del grupo de ancho

Sum of Mass In (MT) Supplier	Gauge (mm)					Grand Total
	3	4	5-7	8-9	10-12	
Suministrador B	26,1%	35,8%	39,7%	51,4%	33,8%	35,3%
Suministrador A	44,4%	29,2%	34,5%	43,4%	66,2%	38,5%
Suministrador E	2,8%	5,7%	7,1%	3,2%	0,0%	4,6%
Suministrador F	0,9%	0,4%	0,4%	0,2%	0,0%	0,5%
Suministrador D	8,8%	6,6%	6,4%	1,8%	0,0%	6,5%
Suministrador C	16,9%	22,3%	11,9%	0,0%	0,0%	14,6%
<b>Grand Total</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>

Tabla 6: Porcentaje de masa del suministrador respecto del total del grupo de espesor

Los suministradores B y A son los únicos proveedores de bobina de 3 pies, siendo la filial sudafricana la que suministra una mayor proporción de bobinas de esta categoría. Además, entre ambos, el suministrador B es el número uno en bobinas de 5 pies, mientras que el suministrador A lidera el grupo de 4. El tercer suministrador, C, proporciona únicamente bobinas de 1220 y de 1524mm. Además, cabe destacar este proveedor suministra el 83,6% de 1220 mm. En amarillo aparecen las producciones nulas o residuales.

En cuanto a espesor se refiere, el suministrador A aventaja al suministrador B en las bobinas de 3mm y las anchas (de 10 a 12 mm), mientras que el suministrador B gana en los valores intermedios. El suministrador C se centra exclusivamente en los espesores de hasta 7 mm.

## 2.3. Análisis de las bobinas procesadas en caliente

Una vez realizado el análisis descriptivo de las bobinas que entraron a la planta, se procede al análisis de los datos que realmente interesan en el presente proyecto.

### 2.3.1. Análisis de pesos y rendimientos medios

En el primer bloque de este apartado, se realizará un análisis atendiendo a tres indicadores principales: el peso medio por bobina, el rendimiento, y el coste de dicho rendimiento. Este último parámetro es el más importante debido a que cuantifica de manera económica el impacto que tiene el rendimiento en la fábrica, debido a que nunca es del 100% y por tanto hay una cierta cantidad de masa perdida que acaba traduciéndose en dinero perdido.

El primer punto a tratar es el peso medio. Cabe destacar que este peso es el medido antes de entrar la bobina AP1, es decir, el peso que tiene al llegar a la fábrica. Antes de evaluar este valor en función del suministrador, que es el estudio más relevante, se hizo distintas tablas de datos para comprobar cómo afectaban las características de las bobinas al peso medio. Esto es necesario para evaluar en función del suministrador, debido a que, si uno de ellos suministra por ejemplo una alta cantidad de bobinas de 316, que es más pesado que el 304, este suministrador va a dar el mayor resultado de peso medio, pero eso no interesa debido a que depende de cómo es la bobina, no del suministrador que la provee. Resulta necesario para todos los casos comparar suministradores para mismos grupos.

Las distintas tablas obtenidas para comprobar la influencia de otras variables en el peso medio se pueden encontrar en el anexo D al terminar el proyecto debido a la gran cantidad de datos manejados. El resumen de estas tablas hace referencia al hecho de que el peso de las bobinas a la entrada no se ve influenciado por el tipo de acero ni por el espesor. La razón reside en que, aunque la densidad de los distintos tipos de acero es distinta, los proveedores mandan menos volumen para materiales de mayores densidades para igualar aproximadamente los pesos. La tabla a continuación por lo tanto se hizo para todos los grupos de espesor y tipo de acero, y representa la diferencia de pesos respecto al suministrador B, tomado como base en esta ocasión:

Average of Mass In (MT) Supplier	Width (mm)		Grand Total
	1220	1524	
Suministrador B			
Suministrador A	-0,4	0,6	-0,5
Suministrador E	-2,1	-4,9	-4,0
Suministrador F	-2,8	-6,3	-5,2
Suministrador D	-3,8	-3,2	-4,9
Suministrador C	-2,0	-3,4	-3,7
<b>Grand Total</b>			

Tabla 7: Peso medio (toneladas) por bobina en función de suministrador y ancho

Se puede comprobar que el ancho de las bobinas sí que influye en el peso medio. En todos los casos a excepción del suministrador F, las bobinas de 5 pies son más pesadas. El caso anómalo de este último puede deberse a que, al ser el suministrador más pequeño (solo el 0,5% del total de bobinas), a la hora de realizar las medias, los datos son menos relevantes porque producen un mayor error debido a que la muestra es reducida. En cualquier caso, las bobinas más pesadas son las suministradas por los suministradores B y A tanto para 4 pies como para 5. La más liviana corresponde al suministrador D en el caso de 1220 mm y al suministrador F para el caso de 1524 mm. La diferencia de estos dos últimos con los suministradores más pesados es notoria, pesando hasta un 25% menos para el caso de 5 pies.

En la siguiente tabla se puede encontrar información referente a la diferencia porcentual de pesos medios de cada suministrador comparado con la media del grupo de ancho:

Supplier/Width(mm)	1220	1524
Suministrador B	6,0	2,0
Suministrador A	4,1	4,5
Suministrador E	-3,4	-17,1
Suministrador F	-6,5	-22,5
Suministrador D	-11,2	-10,4
Suministrador C	-3,0	-11,1

Tabla 8: Diferencia porcentual del peso medio por suministrador respecto a media de su grupo de ancho

Se extrae que hay mayores diferencias de peso entre las bobinas de 5 pies. Para las bobinas más ligeras que la media total, en 5 pies la diferencia es mucho mayor.

Una vez evaluado los pesos, se procedió a estudiar los rendimientos de caliente.

Los rendimientos se miden en la fábrica en función de la pérdida de masa del producto desde que entra hasta que sale, y se calcula simplemente mediante la siguiente sencilla fórmula:

$$\mu = \frac{\text{masa salida}}{\text{masa entrada}}$$

Por rendimiento en caliente se entiende que las masas representadas en la anterior fórmula atienden a los valores de peso de la bobina al principio del proceso (antes de entrar a AP1) y al terminar la línea AP1, que coincide con el momento previo a la laminación.

Las pérdidas de masa de las bobinas en esta primera parte del proceso se producen principalmente a causa de dos factores. En primer lugar, en forma de chatarra. Debido a que es necesario soldar la cola de la bobina con la cabeza de la bobina posterior para que el flujo de masa al horno sea continuo, se necesita cortar una cierta cantidad de las bandas para dejar en borde perfectamente recto y que la soldadura se pueda llevar a cabo de manera óptima. Además, en muchos casos hay que cortar los extremos de la bobina debido a arañazos sufridos en el transporte o a la hora de desenrollarla en la línea. La chatarra de todas las bobinas se recoge y se vende posteriormente.

Las otras causas de la pérdida de rendimiento son las llamadas mermas. Son pérdidas irre recuperables (no se pueden vender ni reciclar) causadas por el proceso de decapado. Como se explicó en el apartado de conceptos previos, para eliminar la cascarilla de la chapa producida por las altas temperaturas a las que se somete al acero, se bombardea con elementos abrasivos que quitan una parte del material superficial. Este material se desecha posteriormente debido que, además de no ser reciclable, es tóxico.

Una vez calculado los valores de todas las bobinas, y a través de tablas dinámicas, se obtuvo la tabla de rendimientos en función del suministrador que se ofrece a continuación:

Average of Yield Supplier	Gauge (mm)	
	3	4
Suministrador B		
Suministrador A	0,30%	0,28%
Suministrador E	0,57%	0,43%
Suministrador F	0,18%	0,30%
Suministrador D	0,93%	0,62%
Suministrador C	0,87%	0,72%

Tabla 9: Diferencia porcentual de rendimientos tomando como base el sumin. B

La tabla refleja los valores medios en función del espesor y suministrador teniendo en cuenta todos los grupos de ancho y tipo de acero. Un estudio previo (que se muestra en los anexos E posterior a la memoria del documento) describió que estas dos últimas variables no influían en los rendimientos finales de caliente.

Para comprobar de manera más específica la influencia del espesor en los rendimientos, se hizo una comparativa entre suministrador B y suministrador A (únicos suministradores que entregan todos los tipos de espesores).

Average of Yield	Gauge (mm)			
Supplier	3	4	5-7	8-9
Suministrador B				
Suministrador A	0,30%	0,28%	0,15%	0,16%

Tabla 10: Diferencia porcentual de rendimientos para todos grupos de espesor tomando como base el sumin. B

La primera conclusión que se extrae de estas dos tablas es que los suministradores D y C tienen el mayor rendimiento en AP1, en torno al 99,3%. En cambio, el proveedor B y el proveedor A se quedan de media en el 98,5 y el 98,8 respectivamente. Comparando los dos grandes proveedores, suministrador A tiene mejor rendimiento que suministrador B para todos los tipos de espesores, acentuándose más en las bandas más delgadas. Además, el rendimiento crece con el espesor en todos los casos. La razón reside en que, para espesores finos, hay más superficie por unidad de masa que los espesores gruesos. Las mermas, que representan una gran proporción de las pérdidas que se originan en AP1 y que minan los rendimientos, son mayores por tanto (por kg) para los espesores más delgados.

Una vez evaluado el rendimiento, se llega al elemento más importante de esta primera parte: la evaluación del coste de rendimiento, que pone números en forma de dinero que se pierde debido a estos valores de rendimiento. Este cálculo se realizó atendiendo al valor del material que entra al proceso y al valor que tiene a la salida. La entrada es una bobina negra y ésta, después de AP1, se convierte en:

1. Bobina de salida procesada.
2. Mermas.
3. Chatarra.

Debido a que se debe cumplir que el valor del material que entra debe ser igual al valor de todo lo que sale, se puede escribir la siguiente ecuación:

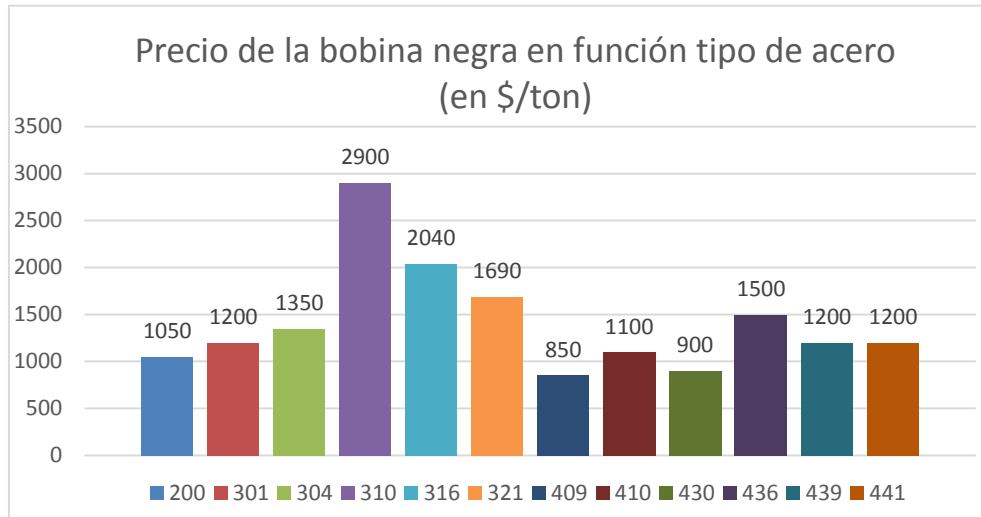
$$\underbrace{c_{bn}}_{\text{valor de entrada}} = \underbrace{(c_{bs} * \eta) + \left(\frac{pm * cm}{mt}\right) + \left(\frac{pch * cch}{mt}\right)}_{\text{valor de salida}}$$

siendo:

- cbn → coste de la bobina negra (por tonelada)
- cbs → coste de la bobina de salida (por tonelada)
- $\eta$  → rendimiento de caliente (%)
- pm → peso de las mermas (kg)
- cm → coste de las mermas (por kg)
- pch → peso de la chatarra (kg)
- cch → coste de la chatarra (por kg)
- mt → masa total de salida (kg)

La fórmula resume el hecho de que la bobina negra se desglosa durante el proceso en una bobina de salida que sufre una pérdida de masa (por ello se multiplica por el rendimiento), en chatarra (que es vendida y por lo tanto tiene un valor por kg, pero lógicamente menor que el valor de la bobina procesada) y en mermas (cuyo valor es cero por no poder reciclarse). Se puede comprobar que si el rendimiento fuera del 100%, no habría mermas ni chatarra, y la bobina en la salida tendría el mismo valor que la bobina negra, pero debido a que una parte se pierde en materia de menor valor o valor nulo, la bobina de salida sale siempre con un valor superior. Esta diferencia es el llamado coste de rendimiento, e indica por cada bobina el dinero que se pierde por no tener un rendimiento del 100%.

Para realizar los cálculos en la hoja excel, se procedió en primer lugar a obtener información acerca de los precios de adquisición de las bobinas negras por parte de Bahru, estos valores están resumidos a continuación:



**Figura 25: Diagrama de barras representando los precios de la bobina negra dependiendo del tipo de acero**

También fue necesario obtener los números acerca del precio de venta de la chatarra. En este caso se pudo comprobar los siguientes precios:

- La chatarra de los aceros inoxidables austeníticos se venden de media a 894\$ por cada tonelada, excepto en el caso del 316, cuya alta composición de un metal caro como es el molibdeno dispara su valor hasta los 1320\$ por tonelada en término medio.
- La chatarra de los aceros inoxidables ferríticos se venden de media a 235\$ por cada millar de kilos.

El último paso antes de poder despejar el coste de la bobina de salida de la fórmula de arriba es saber la cantidad de pérdidas en mermas y en chatarra. Se sabe el conjunto de pérdidas debido a que se conoce el rendimiento total, pero no que proporción de esas pérdidas son en forma de chatarra y que porcentaje en forma de mermas. Mediante varias observaciones en vivo de varias bobinas procesadas en AP1 en ese momento, se estipuló que se cortaba por término medio aproximadamente 1 metro de chatarra por cada bobina. Por tanto, el peso de chatarra que se supuso por producto procesado fue el correspondiente a un metro de corte:

$$pch = \frac{\text{densidad}}{\text{volumen}} = \frac{\rho}{\text{espesor} * \text{ancho} * 1}$$

La densidad se supuso 7900 kg/m<sup>3</sup> para la familia de los austeníticos y 7700 kg/m<sup>3</sup> para el grupo de los ferríticos.

Una vez realizado este paso para cada bobina, se calculó el coste de la bobina de salida y con ello el coste de rendimiento. Parte de las tablas finales con los cálculos hechos pueden comprobarse una vez más en los anexos F al finalizar el presente proyecto.

El siguiente punto consistió en hacer una media del coste de rendimiento en función de las distintas variables, de manera análoga a lo hecho para el caso de pesos medios y rendimientos.

En el análisis previo, se constató que los datos no dependían del ancho de la bobina, pero sí del tipo de acero, lo cual es lógico debido a que la chatarra y la bobina negra tiene un coste que depende exclusivamente del material. La tabla mostrada a continuación refleja el coste de rendimiento medio de las bobinas de acero tipo 304.

Average of Yield Cost (\$/Mt) Gauge (mm)						
Supplier	3	4	5-7	8-9	10-12	Total general
Suministrador B						
Suministrador A	-21,4%	-21,0%	-11,8%	-10,5%	-13,8%	-15,6%
Suministrador E	-39,4%	-35,5%	-35,4%	-32,3%		-36,1%
Suministrador D	-62,8%	-50,1%	-36,6%	-38,2%		-49,0%
Suministrador C	-58,8%	-57,9%	-48,7%			-52,0%

Tabla 11: Diferencia porcentual del coste de rendimiento dependiendo del suministrador tomando como base el sumin. B para aceros 304

Los costes de rendimiento se ven claramente afectados por el espesor. Para bandas más delgadas, este valor es mayor. La diferencia es bastante notoria. En el caso de los dos suministradores más importantes, el suministrador B y el suministrador A, las bobinas gruesas de 10 a 12 mm tienen un coste de rendimiento un 42,6% y un 37,2% menor respectivamente que el espesor de 3mm.

Atendiendo a los proveedores, suministrador B tiene el mayor coste de rendimiento. Los valores más bajos corresponden al suministrador D y al suministrador C, cuyos costes de rendimiento se sitúan en la mayor parte de los casos en menos de la mitad que el primero.

Esto mismo se realizó también para el segundo grupo más importante de tipo de acero, el 316. Solo se trabaja en Bahru con el 316 de 3 suministradores.

Average of Yield Cost (\$/Mt) Gauge(mm)						
Supplier	3	4	5-7	8-9	10-12	Total general
Suministrador B						
Suministrador A	-20,8%	-40,9%	-36,4%	-50,4%	-37,6%	-42,8%
Suministrador F	-20,1%	-33,7%	-45,5%	-35,6%		-19,8%

Tabla 12: Diferencia porcentual del coste de rendimiento dependiendo del suministrador tomando como base el sumin. B para aceros 316

En este caso, el proveedor B sigue siendo el peor, pero se puede observar que el comportamiento del suministrador A para este material se incrementa notablemente respecto al 304, hasta el punto de comportarse mejor que el suministrador F en todos los grupos menos el intermedio.

Debido a que los valores mostrados son relativos, para ver cómo afecta el material al coste de rendimiento, se hizo una tabla comparativa estudiando esta variable entre el 304 y el 316. Los porcentajes reflejan el incremento del coste de rendimiento del acero 316 respecto al 304 para cada suministrador y grupo de espesor.

Supplier/Gauge(mm)	3	4	5-7	8-9	10-12
Suministrador B	62,3%	71,7%	89,0%	148,0%	96,5%
Suministrador A	63,4%	28,5%	36,4%	37,5%	42,3%

Tabla 13: Incremento porcentual del coste de rendimiento del 316 respecto al 304 por suministrador tomando como referencia el sumin. B

El coste de rendimiento medio en el 316 es mucho mayor que en el 304 caso debido a que la bobina negra es mucho más cara, y a mismo rendimiento, el efecto económico es mayor. Además, este incremento se refleja mucho más en el suministrador B.

### 2.3.2. Estudio de la calidad en caliente

La calidad es uno de los aspectos más importantes en la fábrica. Además de ser una cuestión de imagen y prestigio para la empresa de cara a los clientes, la calidad, al igual que el rendimiento, juega un papel fundamental en los costes de producción de la planta.

Para abordar este tema, se efectuará un estudio que consistirá en llevar a cabo un análisis de los defectos que aparecen en las bobinas en la cabeza y en la cola, haciendo hincapié en la longitud que tienen estas irregularidades.

En este caso, se usará otra base de Supervisory que incluye entre sus datos cada defecto de cada bobina y en qué metro empieza y cuando acaba. También proporciona información acerca de si el defecto se sitúa en la parte superior o inferior de la banda.

Una vez filtrado los datos y eliminados los valores atípicos y los defectuosos, se organizaron los datos para que solo fueran válidos para el estudio aquellos que estuvieran situado en la cabeza y en la cola de cada bobina. Posteriormente, se obtuvo mediante tablas dinámicas las longitudes de defecto medias en función de los grupos objeto de estudio.

Steel type	Average of Head (m)	Average of Tail (m)
200	9.27	9.24
301	9.36	9.60
304	8.85	8.94
310	8.31	8.31
316	8.80	8.82
321	7.91	7.88
409	9.88	9.48
430	10.47	10.15
Other	9.74	10.25
<b>Grand Total</b>	<b>8.91</b>	<b>8.97</b>

Gauge (mm)	Average of Head (m)	Average of Tail (m)
3	9.40	9.39
4	9.00	9.05
5-7	8.62	8.74
8-9	8.21	8.33
g10-12	7.83	7.94
<b>Grand Total</b>	<b>8.91</b>	<b>8.97</b>

Tabla 14: Longitud media de defectos en función del tipo de acero (izquierda)

Tabla 15: Longitud media de defectos en función del espesor (derecha)

El tipo de acero por tanto influye ligeramente en la longitud media de los defectos, y de igual forma ocurre con el espesor. Los ferríticos contienen un mayor número de metros de defectos que los austeníticos. El acero 321 tiene el mejor comportamiento, mientras que el que cierra la lista es el tipo 430, con dos metros y medio más por bobina. Además, los espesores gruesos tienen menor cantidad de defectos en cabeza y cola que los finos.

Debido a estas correlaciones, al hacer la evaluación en función del suministrador, se escogerán solo bobinas de tipo 304 y se realizarán dos tablas con dos tipos de espesores distintos en cada una (para 3-4 mm y 5-12mm).

Supplier	Average of Top Head (m)	Average of Top Tail (m)
Suministrador B	9,26	9,34
Suministrador A	9,15	9,17
Suministrador E	9,40	9,18
Suministrador D	8,58	8,66
Suministrador C	9,24	9,32
<b>Total general</b>	<b>9,15</b>	<b>9,20</b>

Tabla 16: Longitud media de defectos en función del suministrador para (3 y 4 mm)

Supplier	Average of Top Head (m)	Average of Top Tail (m)
Suministrador B	8,60	8,72
Suministrador A	8,32	8,45
Suministrador E	8,31	8,35
Suministrador D	7,37	7,43
Suministrador C	8,91	9,18
<b>Total general</b>	<b>8,41</b>	<b>8,54</b>

Tabla 17: Longitud media de defectos en función del suministrador para 8-12 mm

Se puede concluir para este apartado que el tipo de suministrador apenas tiene ningún tipo de influencia en la calidad, estudiada como el número de defectos de cabeza y cola de las bobinas medido en metros. Sólo el suministrador D presenta valores ligeramente inferiores, pero este decremento es muy bajo, y además el suministrador D representa solamente al 6% de todo el volumen de productos estudiados.

### 2.3.3. Análisis de Coronas

Las coronas de las bobinas hacen referencia a un perfil que se obtiene mediante la medición de los espesores de éstas en diferentes puntos a lo largo del ancho de la banda. Es un factor a tener en cuenta a la hora de comprobar si el producto final que se manda al cliente cumple con las tolerancias dimensionales requeridas.

En este caso, los datos se obtuvieron a partir de Supervisory y datos medidos con un micrómetro en la propia sección de inspección de la fábrica para una oleada de bobinas suministrador D procesadas un día en concreto. Todas las medidas pertenecen al mes de febrero.

Las mediciones se realizan en 7 puntos diferentes: a 20mm del borde izquierdo de la banda, a 50mm, a 100mm, en el centro, y de igual forma en el lado derecho. Además, estas 7 mediciones se llevan a cabo en cinco puntos distintos a lo largo de la longitud de la bobina: en la cabeza, 30 metros después, en el centro, 30 metros antes de la soldadura y en la cola.

En primer lugar, se introdujeron en una tabla todas estas mediciones, y a continuación se obtuvo la diferencia entre estos valores y el espesor nominal de la lámina de acero. Esta diferencia, representado en micras, es la que se usó para construir gráficas que reflejan la corona de la bobina a lo largo de todo su ancho.

Antes de evaluar suministradores, nuevamente se miró cómo afectaban las otras variables características de las bobinas, como el espesor, el ancho y el acero.

En cuanto al espesor, estas fueron las gráficas obtenidas:

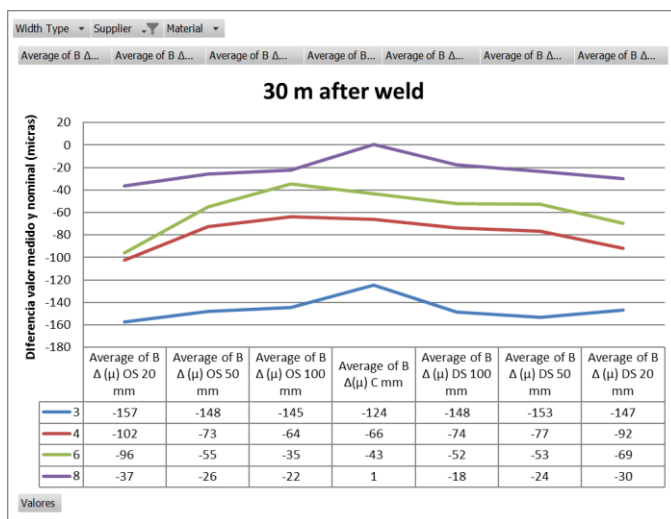
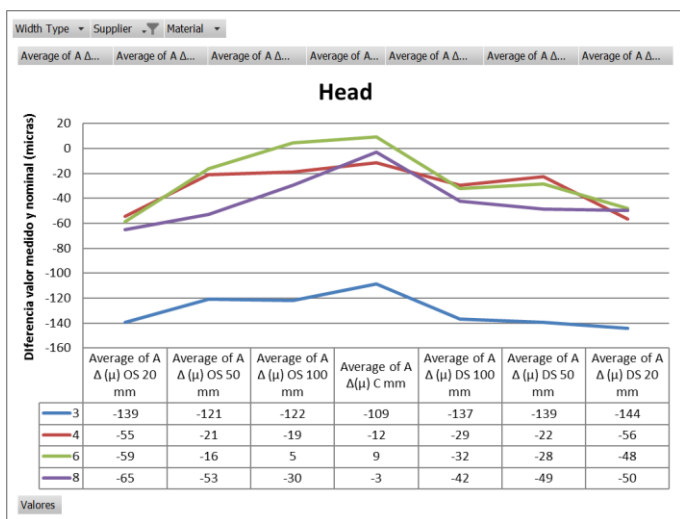


Figura 26: Perfil de la corona en función del espesor medido en cabeza (izquierda)

Figura 27: Perfil de la corona en función del espesor medido 30 metros después de soldadura (derecha)

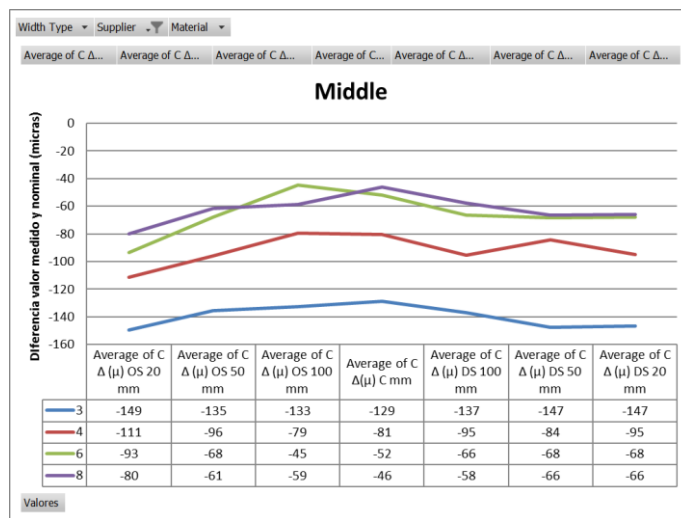


Figura 28: Perfil de la corona en función del espesor medido a mitad

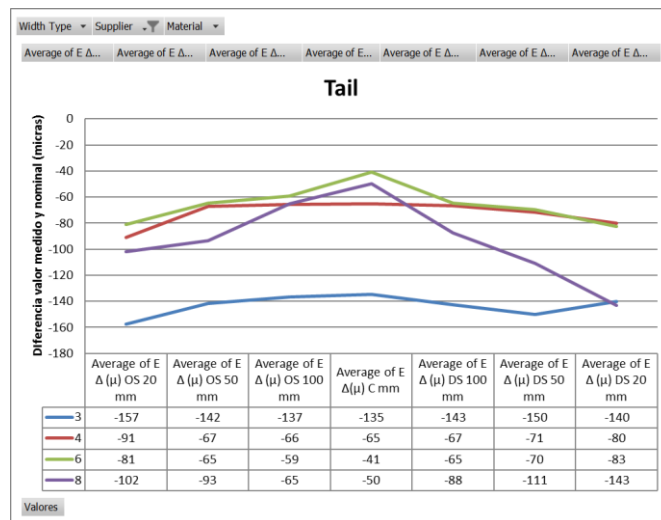
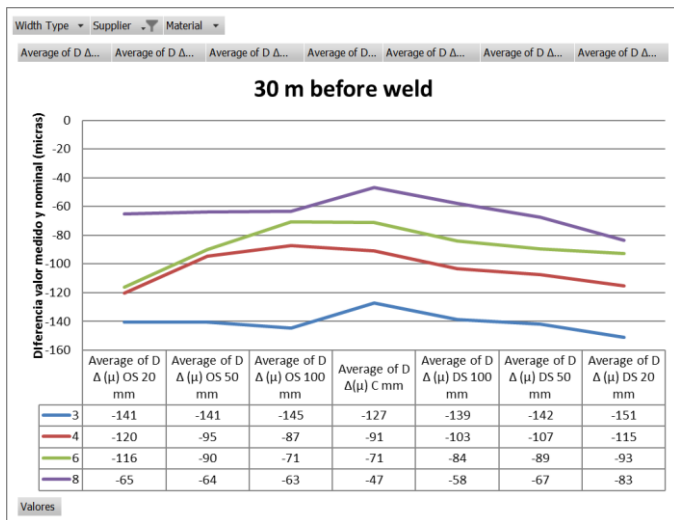


Figura 29: Perfil de la corona en función del espesor medido e30 metros antes de la soldadura (izquierda)

Figura 30: Perfil de la corona en función del espesor E medido en cola (derecha)

Se puede extraer de las gráficas anteriores que el perfil de la corona tiene formas parecidas para los distintos espesores y para las diferentes zonas. En la parte central, el valor del espesor es ligeramente mayor que en los extremos de la banda. Sin embargo, las bobinas de 3 mm presentan unos valores algo menores que los indicados como su espesor nominal. También se puede comprobar que, en casi todos los casos, las bobinas están por debajo de su espesor nominal. Esto es así debido a que los clientes por lo general prefieren comprar un acero con algo menos del espesor nominal para tener disponibles más metros de bobina, debido a que el precio de la compra siempre es por peso.

A continuación, se reflejan en las siguientes figuras el mismo cálculo, pero en este caso dependiendo del ancho que presentan las bobinas. No se consideran las bandas de 3 pies debido al poco volumen de datos disponibles de este grupo.

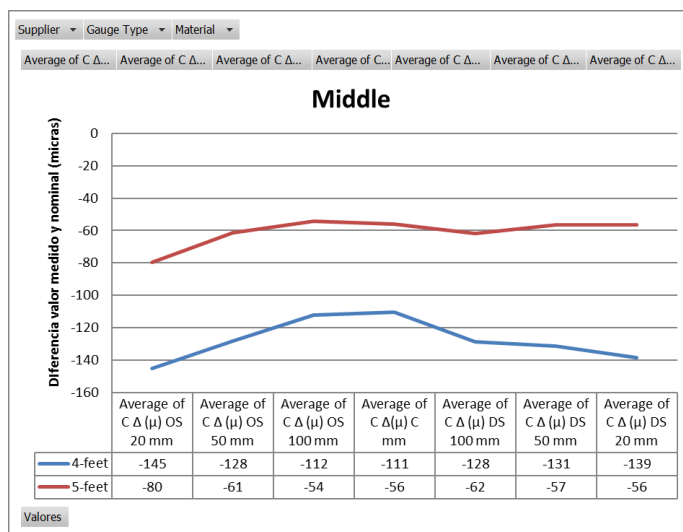
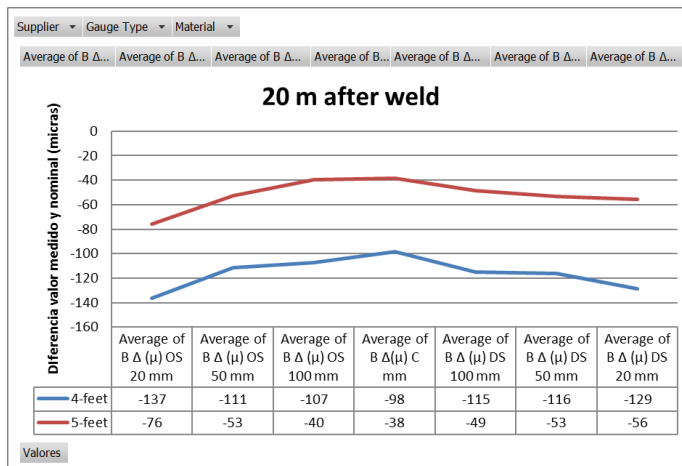
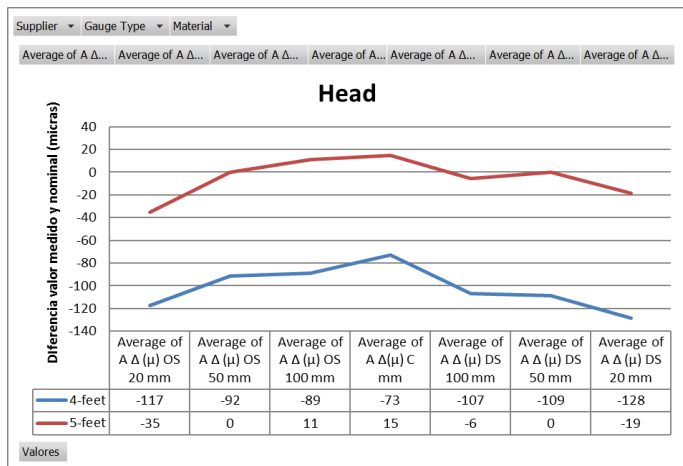


Figura 31: Perfil de la corona en función del ancho medido en cabeza (arriba e izquierda)

Figura 32: Perfil de la corona en función del ancho medido 30 metros después de soldadura (arriba y derecha)

Figura 33: Perfil de la corona en función del ancho medido en el medio (debajo)

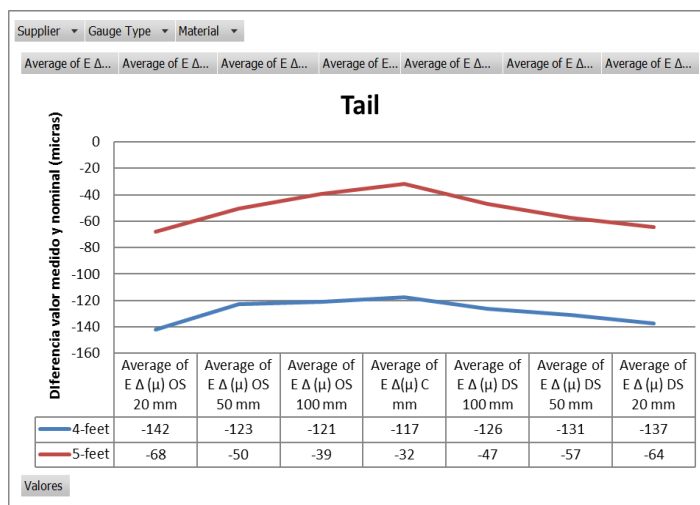
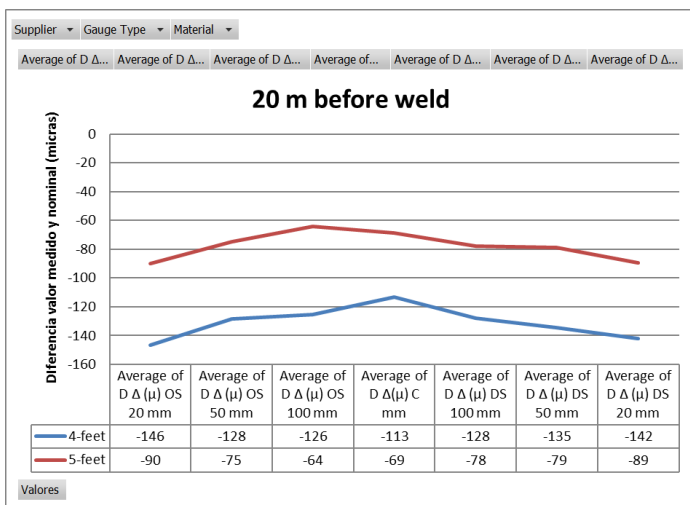


Figura 34: Perfil de la corona en función del ancho medido 30 metros antes de soldadura (izquierda)

Figura 35: Perfil de la corona en función del ancho medido en cola (derecha)

Igual que en el caso anterior, la parte central es algo más gruesa que los bordes. En este caso, las bobinas de 4 pies apuntan algo más bajo que las que tienen 5 pies respecto a sus valores nominales.

A la hora de evaluar por suministrador, se intentó hacer grupos de mismo espesor y ancho debido a que varían ligeramente los resultados, pero debido a que se disponen de muchos menos datos relacionados con las coronas que en anteriores apartados de este proyecto, se estudió el proveedor para todos los grupos. En cualquier caso, los resultados son bastante representativos debido a que el tipo de bobina no supone un gran cambio y a que los suministradores evaluados proveen bobinas parecidas. Los resultados obtenidos se reflejan a continuación:

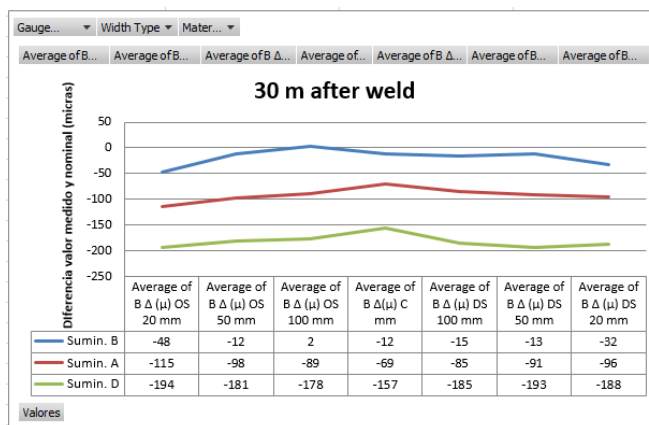
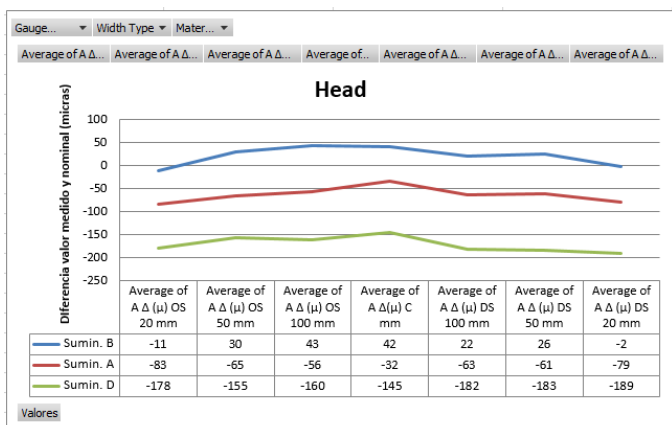


Figura 36: Perfil de la corona en función del suministrador medido en cabeza (izquierda)

Figura 37: Perfil de la corona en función del suministrador medido 30 metros después de soldadura (derecha)

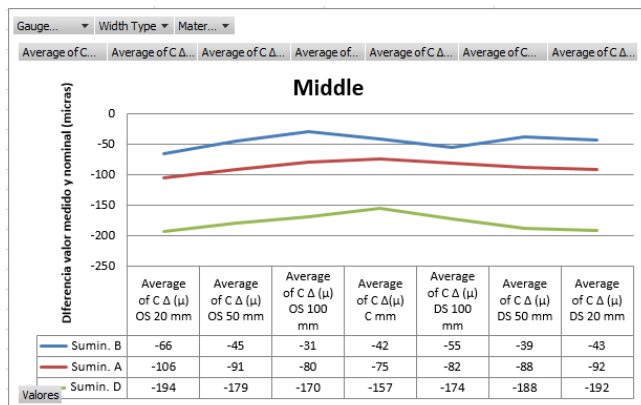


Figura 38: Perfil de la corona en función del suministrador medido en el medio

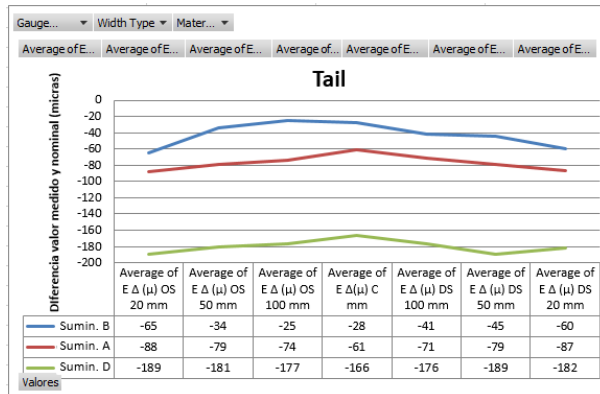
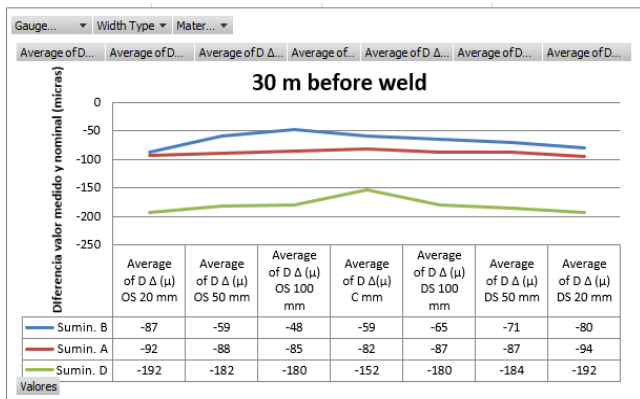


Figura 39: Perfil de la corona en función del suministrador medido 30 metros antes de soldadura (izquierda)

Figura 40: Perfil de la corona en función del suministrador medido en cola (derecha)

Como se puede ver, el suministrador que apunta más alto es el suministrador B, pero en cualquier caso a valores menores que el espesor nominal. Por contra, el suministrador que envía bobinas más alejadas de su espesor nominal es el D. En cualquier caso, para todos los proveedores, la diferencia máxima de corona nunca supera las 60 micras.

Estos valores deben ser comprobados con la norma interna de la fábrica para comprobar si estas desviaciones son admisibles, o lo que es lo mismo, que cumplen los criterios de tolerancia dimensional.

Las normas de tolerancia dimensional pueden comprobarse en el anexo G del presente documento, en este apartado se resume únicamente la información necesaria para realizar las comprobaciones. La siguiente tabla refleja una serie de tolerancias en milímetros de varias normas.

Nominal Thickness	ASTM A480		Negative Tolerance		Double Negative Tolerance	
	Lower Limit	Upper Limit	Lower Limit	Upper Limit	Lower Limit	Upper Limit
3.0	-0.130	+0.130	-0.112	0.000	-0.251	-0.139
3.5	-0.170	+0.170	-0.122	0.000	-0.289	-0.167
4.0	-0.170	+0.170	-0.132	0.000	-0.326	-0.194
4.5	-0.170	+0.170	-0.140	0.000	-0.362	-0.222
5.0	-0.170	+0.170	-0.148	0.000	-0.399	-0.251
5.5	-0.200	+0.200	-0.156	0.000	-0.435	-0.279
6.0	-0.200	+0.200	-0.164	0.000	-0.472	-0.308

Tabla 18: Tolerancias dimensionales de espesor en función de espesor y norma

ASTM es una organización internacional de estandarización que desarrolla y publica una serie de estándares técnicos de numerosos campos de aplicación. La norma ASTM A480 hace referencia a la laminación de aceros y las propiedades que éste debe tener. Esta norma aplica por defecto en el caso de que no haya ninguna otra norma adicional por parte de la empresa, se puede decir que es un mínimo de requerimiento de calidad. Sin embargo, la fábrica ofrece a sus clientes otra serie de normas (negative tolerance y double negative tolerance) las cuáles deben respetar.

En Bahru, como se explicó anteriormente, los clientes prefieren tolerancias negativas ya que en caso de no ser exacta la medida final de la nominal prefieren que el espesor se sitúe por debajo. La tolerancia más exigida por los compradores es la del negativo.

El límite inferior, según las gráficas, no baja en ningún momento de los -0,11 mm respecto al espesor nominal, excepto en el caso del suministrador D. Al comprobar los valores de tolerancia en las tablas, para espesores de 3mm el límite inferior se sitúa en -0,112 mm, así que el suministrador A y B cumplen con los límites de tolerancia. Por otra parte, el límite superior más alto en las gráficas, correspondiente al suministrador B, no sube de los 0mm excepto en la cabeza el suministrador B. Sin embargo, esto no presenta un problema debido a que la cabeza de la bobina siempre presenta más defectos e irregularidades y siempre se acaba cortando parte de ella durante el proceso.

Por tanto, se puede decir que los suministradores A y B (los más importantes debido a que representan el 73% de las bobinas que entran a fábrica) cumplen los requisitos que establece la norma. Sin embargo, el suministrador D se sale de los límites de tolerancia en los bordes, no así en el resto, debido a que en toda la zona central los valores medios se sitúan en torno a los -0,15 mm, que es aproximadamente el límite inferior (aunque varía ligeramente con el espesor) que marca la norma. Por tanto, se deberían hacer más

análisis del suministrador D para encontrar las causas y ver si supone un problema. En cualquier caso, este suministrador representa un pequeño porcentaje de las bobinas de la fábrica. Además, al salirse de tolerancia únicamente en los extremos, para las bobinas que estuvieran fuera se podría rebordear (técnica que consiste en cortar longitudinalmente una tira del extremo de la bobina, reduciendo ligeramente su ancho) para asegurarse que cada bobina cumple los requisitos en todas sus zonas.

Otro requerimiento que establece las normas de la fábrica es el relacionado con la planitud máxima, estrechamente relacionado con la corona debido a que establece la diferencia de espesores máximos que se pueden dar. En este caso, los valores admisibles son aproximadamente de 100 a 150 micras en función de varios parámetros. Debido a que en ningún caso se superan las 60, este requerimiento es cumplido holgadamente.

Antes de finalizar este punto del proyecto, se comprobará si en las bobinas se aprecia el llamado “efecto cuña”. Este nombre describe un efecto no deseado que ocurre en algunos casos debido a rodillos en mal estado, y consiste en que el perfil de las coronas, en vez de ser algo más grueso por el centro y más delgado por los extremos, adquiere una forma cónica o trapezoidal, es decir, una pendiente constante que produce que un extremo sea mucho más alto que el otro. Aunque en las gráficas previamente estudiadas no se aprecia tal efecto, se quiso profundizar en este aspecto para asegurarse. Para ello se calculó la diferencia de espesores que había entre la medida de 20mm desde el borde izquierdo y la medida de 20mm desde el derecho. No se hizo justo en el mismo extremo debido a que la medida no es un valor representativo en esta zona. Se realizó el cálculo para todas las bobinas y se realizaron tablas dinámicas para ver la media por cada grupo. La siguiente tabla muestra los resultados, medidos en porcentaje de esta desviación respecto al valor nominal de la bobina, para cada caso:

Percentage difference 20-20/gauge Gauge (mm)	Width		
	4-feet	5-feet	Grand Total
<b>3</b>	<b>1,38</b>	<b>2,08</b>	<b>1,52</b>
Suministrador B	2,40		2,40
Suministrador A	1,21	1,81	1,42
Suministrador D	1,16	2,39	1,36
<b>4</b>	<b>0,99</b>	<b>1,24</b>	<b>1,11</b>
Suministrador B	1,06	1,65	1,29
Suministrador A	0,20	1,31	1,26
Suministrador D	0,93	0,47	0,77
<b>6</b>	<b>0,58</b>	<b>0,83</b>	<b>0,73</b>
Suministrador B	0,63	0,69	0,66
Suministrador A	0,34	1,05	0,89
<b>8</b>	<b>0,50</b>	<b>0,64</b>	<b>0,62</b>
Suministrador B	0,08	0,79	0,74
Suministrador A	0,60	0,33	0,43
<b>Grand Total</b>	<b>1,08</b>	<b>1,12</b>	<b>1,10</b>

Tabla 19: Diferencia porcentual media de las medidas en 20mm izquierda y 20mm derecha

Se observa una tendencia a la baja de este porcentaje de cuña a medida que las bobinas ganan espesor. En cualquier caso, por término medio, este porcentaje se sitúa alrededor del 1%. Esto quiere decir que para una bobina de 4mm, la diferencia de espesor entre extremos es de 40 micras, un valor que refleja la ausencia de cuña, ya que ambos lados están muy parejos.

---

### 2.3.4. Estudio de productividad en caliente

Uno de los elementos más críticos a la hora de evaluar el rendimiento general de una fábrica es la productividad que ofrecen cada una de sus líneas. Este factor influye de manera directa en la eficiencia de la planta debido a que una mala productividad encarece de manera muy notable los costes de producción. Por tanto, uno de los objetivos del presente proyecto consiste en conocer el nivel de producción real (en toneladas por hora) de cada una de las líneas de la fábrica. Con esto se consigue comprobar el nivel de carga de éstas al compararlo con los valores de diseño óptimos y comprobar si existe algún cuello de botella en la línea de producción que pueda estar alterando el funcionamiento óptimo de la fábrica.

Este estudio se llevó a cabo en primer lugar para la producción en caliente, es decir, la línea AP1 hot, que realiza el proceso de recocido y decapado previo a la laminación.

Lo primero que se realizó fue calcular el flujo másico en AP1 a partir del peso de cada bobina de forma individual y su tiempo de proceso en la línea, para después sumar todas las bobinas por grupos y sacar las medias.

A continuación, se hizo un sistema en Excel en el cual un usuario pudiera calcular el tiempo estimado que tarda un pedido determinado en procesarse por las distintas líneas de la fábrica a partir del histórico de datos. La idea era que en una tabla el usuario fuera introduciendo datos de varios pedidos distintos, con las toneladas que se requieren, el tipo de acero, su ancho y su espesor. Una vez introducido todos los datos, el programa calcularía el tiempo necesario en horas y días para procesar esos pedidos.

Para realizar esta tarea se dispuso de todas las bobinas procesadas en los años 2014 y 2015 en una hoja de Excel con sus características y el flujo de masa previamente calculado, una fila por bobina. A continuación, se dispusieron 20 columnas, llamadas "pedido 1", "pedido 2", etc., hasta llegar al 20. Paralelamente, en otra hoja de Excel, se construyó otra tabla de 20x4 en la cual el usuario podía introducir 20 pedidos distintos con el número de toneladas y el grupo de aceros requerido.

Volviendo a la primera hoja, en las columnas de pedido, se escribió la siguiente fórmula:

**=SI(Y(\$A2=Pedidos!\$E\$6;\$B2=Pedidos!\$F\$6;\$C2=Pedidos!\$G\$6);1;0)**

En la primera columna de pedidos (pedido 1), para cada fila (es decir, para cada bobina procesada del histórico de datos), en la celda aparece un 1 si el tipo de acero, ancho y espesor coincide con las características que introduce el usuario, y un 0 en caso contrario.

Después, una vez hecho esto para el número de pedidos requerido por el cliente (hasta un máximo de 20), se escribió la fórmula descrita a continuación:

**=INDICE(\$A\$1:\$Z\$12034;K.ESIMO.MENOR(SI(\$G\$1:\$G\$12034=1;FILA(\$A\$1:\$A\$12034));FILA(1:1));4)**

Esta fórmula busca para cada pedido todas las celdas de la anterior matriz en las cuales aparece un 1 (es decir, del tipo demandado por el comprador) y representa en una columna todos los flujos máxicos de esas bobinas. A partir de otra fórmula,

**=CONTAR(AC2:AC6527)**

Se obtiene el número de bobinas del histórico de datos que cumplen las condiciones. Por último, usando este último dato y sumando todos los flujos máxicos de la columna obtenida, se logra la media del flujo máxico de todas las bobinas del período 2014 y 2015 de las características que se han introducido en la tabla de la hoja 2. En la misma tabla donde el usuario introduce los pedidos, y a partir del flujo máxico medio, se obtiene el tiempo previsto de proceso en minutos, horas y días. Un ejemplo de dicha tabla se puede contemplar a continuación. Los datos del tiempo vienen representados como la diferencia respecto al pedido 1, que se cogió como base para no representar valores absolutos y poner en un compromiso a la empresa desde el punto de vista de la confidencialidad.

Pedidos	Toneladas	Acero	Espesor	Ancho	Minutos	Horas	Días
1	183,0	304	2,0	5,0	59,6	1,0	0,0
2	195,0	304L	2,5	5,0	5,8	0,1	0,0
3	85,0	316	2,8	5,0	-16,9	-0,3	0,0
4	140	430	3	5,0	127,3	2,1	0,1
5	187	304L	3,5	5,0	97,2	1,6	0,1
6	23	304L	4	5,0	-42,7	-0,7	0,0
7	56	441	4,5	5,0	-21,6	-0,4	0,0
8	420	316	5	5,0	253,7	4,2	0,2
9	0	441	6	5,0	0,0	0,0	0,0
10	0	441	7	5,0	0,0	0,0	0,0
11	0	441	8	5,0	0,0	0,0	0,0
12	0	441	9	5,0	0,0	0,0	0,0
13	0	441	10	5,0	0,0	0,0	0,0
<b>Total</b>					<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>

Tabla 20: Tabla realizada para calcular el tiempo de proceso de varios pedidos de distintas características

---

Este programa también fue usado para obtener las tablas de productividad para la línea AP1 caliente. Para ello se calcularon pedidos de una tonelada para todas las combinaciones posibles. Haciendo esto, se calculó la productividad medida en toneladas/hora de cada grupo en AP1, cogiendo simplemente los resultados de cada pedido en horas y haciendo el inverso.

Debido al gran tamaño de las matrices que representan las productividades de AP1 caliente y a la gran cantidad de datos, las tablas se pueden encontrar en los anexos Ñ que concluyen este proyecto. Las filas coloreadas de amarillo representan las combinaciones producidas en AP1 en los dos últimos años, y reflejan por lo tanto aquellas de las cuáles disponemos de datos.

Como se puede visualizar, estas tablas de productividad contienen también una columna que representan los valores teóricos de diseño. Estos datos, pertenecientes a la fábrica, permiten realizar comparaciones entre la productividad real y teórica de la planta y ver así si se está operando de manera eficiente y si se está aprovechando al máximo la capacidad de producción de la fábrica. Lógicamente, esto repercute de manera directa en los costes de fabricación. Esta comparación viene reflejada en la columna “Porcentaje Real/Teórico”.

Como estudio adicional, se quiere comprobar también como fue descrito previamente el nivel de ocupación real de la fábrica para identificar posibles cuellos de botella, y analizar la opción de realizar una posible futura inversión para mejorar la capacidad de la planta en caso de que fuera necesario.

Para este cometido se añadieron dos columnas más a la tabla de productividad. La primera de ellas muestra las toneladas totales procesadas por la fábrica de cada grupo durante el tiempo de estudio. La segunda columna (llamada “tiempo usado en 1 año”) denota el tiempo en horas que ha usado la fábrica para procesar todas las bobinas del año 2015 de ese tipo de pedido. Sumando todas las combinaciones posibles, y teniendo en cuenta que un año (no bisiesto) tiene 8760 horas, se puede hallar el porcentaje de tiempo el cuál la fábrica ha estado en funcionamiento, es decir, la previamente aludida “ocupación total de la fábrica”.

Nuevamente, no se pueden expresar datos absolutos debido a que pueden ser en parte confidenciales, pero estas son los resultados y conclusiones que se pueden extraer del estudio de productividad.

- El nivel de ocupación de la línea AP1 caliente es medio. Hay que tener en cuenta que el valor real respecto al que se obtiene en esta parte es ligeramente superior debido a que AP1 procesa caliente y también frío, aunque en menor medida. Aun así, la ocupación está lejos de ser alta. Esto es debido a que la línea se sobredimensionó en su compra, pensando en la futura expansión de la planta.

- Queda claro que a día de hoy, la línea AP1 se encuentra lejos de ser un cuello de botella, se estudiará posteriormente otras líneas para comparar niveles de ocupación en las distintas zonas y observar si la línea entera de producción está equilibrada.
- El **91,79%** de las horas que la fábrica estuvo en funcionamiento en el año 2015 estuvo procesando acero inoxidable austenítico, el resto de las horas ferrítico.
- El porcentaje total de productividad real respecto a la teórica ponderado por peso se sitúa en el **62,77%**, este valor es la productividad base. Este porcentaje se desglosa, para materiales austeníticos y ferríticos, en un **64,03%** y **39,47%** respectivamente. Es decir, la productividad de los ferríticos fue bastante peor en planta que la de los austeníticos en el año 2015. Sin embargo, para comparar este valor con el valor teórico y sacar conclusiones correctas, se divide el valor de productividad base por 85%, para obtener un valor real de 73,8% respecto al teórico. El 15% de aumento corresponde a un coeficiente que es necesario tener en cuenta debido a la sobredimensión de las líneas que hace que el ritmo de trabajo sea menor a cambio de utilizar tiempo para más cambios, así como potenciar la calidad frente a la producción posible máxima.



### **3. Evaluación de las Bobinas de Frío de la Fábrica**



### 3.1. Preprocesamiento de los datos

El segundo bloque del proyecto trata sobre hacer un estudio para las bobinas que son procesadas en frío (después de laminación). El proceso de frío incluye la línea de recocido y decapado AP2 y el taller de acabados, donde se transforma finalmente la bobina en la forma de producto que requiere el usuario final. Se recuerda además que la línea AP1 se usa en algún caso también para procesar material en frío. Esta línea se llamará AP1 frío.

De manera análoga a lo realizado para el primer bloque, lo primero que se hizo fue obtener los datos de todas las bobinas procesadas en AP2, CS1, CS2, SL1 y SL2 a partir de Supervisory.

Una vez exportados los datos a Excel, se hizo un filtro para eliminar los datos erróneos y los valores atípicos no representaban las condiciones normales de funcionamiento de la fábrica, también se realizaron los nuevos grupos para facilitar su posterior análisis. La decisión final adoptada para hacer los grupos fue:

- Para el espesor, los grupos realizaos fueron de <0,5mm, <0,7mm, <0,9mm, <1,0mm, <1,2mm, <1,5mm, <2,0mm, <3,0mm, <4,0mm, y >4mm. La razón de escoger más grupos para el caso de laminación en frío reside en que el espesor final después de laminación es de vital importancia para algunos factores que se comentarán más adelante, por tanto, es necesario ser más específicos a la hora de realizar los grupos.
- Para los grupos de ancho, se escogió nuevamente 1000mm, 1220mm, 1250mm, y 1524mm.
- En cuanto al tipo de acero, debido al alto número de tipos diferentes, se usaron los aceros más comunes, debido a que, en algunos casos de aceros más raros, no había suficientes datos para extraer conclusiones.

## 3.2. Análisis de las Bobinas Procesadas en Frío

### 3.2.1. Estudio de rendimientos en frío

Una vez obtenido los datos necesarios y agruparlos para facilitar el trabajo con ellos, se procedió a analizar el rendimiento en frío de las bobinas. Este caso suponía una dificultad añadida respecto al análisis en caliente debido a que no se dispone de los datos de rendimiento para el taller de acabados.

Realizando una búsqueda en la base de datos, se obtuvieron los rendimientos globales de las bobinas, es decir, después de todo el proceso de producción. Para obtener los rendimientos del taller de acabado era necesario calcular en primer lugar el rendimiento en frío (entendido en este apartado como el rendimiento de los laminadores y de la línea recocido-decapado posterior). Después, junto a los rendimientos de caliente ya calculados y los rendimientos globales, se extraían los datos de rendimiento de acabados.

Para conseguir este propósito, en primer lugar, se copió en una pestaña de una hoja excel (denominada "First Pass") todas las bobinas del proceso de caliente (AP1 hot) y en una segunda pestaña ("Second Pass") todas las de frío (AP2+AP1 cold). Las bobinas de frío se seleccionaron de entre todos los datos filtrando las filas con un "process code" que fuera APF, APT o APD.

En otra pestaña aparte, que se llamará pestaña principal, se copiaron todas las bobinas del año 2014 y 2015 con sus respectivos datos. Se añadieron varias columnas con información adicional. Una de ellas se denominó rendimiento en caliente. Se escribió la fórmula:

**=BUSCARV(A2;'First Pass'!\$A\$1:\$Y\$7358;9;FALSO)**

Esta fórmula busca de entre todas las bobinas de caliente aquella que coincide con la bobina de la fila correspondiente, y devuelve el dato de rendimiento asociado a esa bobina.

**=BUSCARV(A2;'Second Pass'!\$A\$2:\$X\$6159;24;FALSO)**

---

Se hace lo mismo para sacar el rendimiento de frío de la pestaña de AP2+AP1 cold y se pone la información en una nueva columna de la pestaña principal.

A continuación, teniendo en cuenta la siguiente relación:

$$\mu = HY * CY * FLY$$

siendo:

HY = rendimiento de caliente

CY = rendimiento de frío

FLY = rendimiento taller de acabado

Se despeja FLY y se calcula para todas las bobinas.

Sin embargo, este análisis no puede llevarse a cabo sin tener en cuenta el tipo de producto final. No es lo mismo tener que rebordear una bobina para cortar láminas que simplemente hacer bobinas de menor tamaño. Además, algunas bobinas madre se usan para distintos productos. Por ello, fue necesario hacer una lista de las bobinas que eran homogéneas, es decir, que se descomponía entera en el mismo tipo de producto. Las bobinas heterogéneas fueron excluidas del estudio debido a que la información de rendimientos que proporciona es muy desvirtuada.

Para obtener solo las bobinas homogéneas, se tomó todos los datos de las bobinas procesadas en las líneas CS1, CS2, SL1, SL2, que son las que conforman el taller de acabados, y mediante un comando en Excel se seleccionaron únicamente las bobinas que tuvieran un “process code” igual para todos los pasos. En la pestaña principal, mediante el comando “BUSCAR”, se añadió una columna con el tipo de producto final en el cuál se convertía la bobina.

Algunas bobinas tienen, después de varios procesos en los cuales se va cortando la bobina, un último proceso llamado NOT. Esto quiere decir que a veces, cuando la bobina principal se ha cortado en varios trozos para obtener el producto final, queda un último tramo que, por ser muy pequeño, no se procesa y normalmente pasa a stock para encontrarle un uso en el futuro. Estas bobinas no fueron incluidas debido a que hay una parte de masa que a fecha presente no se sabe si se convertirá en chatarra o si será producto útil para futuros pedidos.

Una vez eliminado los NOT y algunas bobinas defectuosas, se obtuvieron los datos de rendimiento para caliente en un 91% de los casos y de frío para un 82%. Por este motivo, sólo el 77% de las bobinas tenían ambos datos. Además, las bobinas homogéneas representaban aproximadamente la mitad del total. Debido a este hecho, solo se pudo estudiar el 40% de la población de bobinas de los años 2014 y 2015.

Una vez obtenido todos los datos para esta población, se pasó al análisis de los datos. En primer lugar, para mostrar la importancia de los rendimientos en el tipo de producto final, se realizó la siguiente tabla dinámica, para material 304:

Type of Product	Average of HY	Average of CY	Average of FLY	Average of Overall
Coil				
Sheet	-0,1%	-0,1%	-0,9%	-1,0%
Slit	0,0%	0,1%	-3,9%	-3,8%
<b>Grand Total</b>				

Tabla 21: Diferencia porcentual de rendimientos entre los productos finales "coil" (bobina), "sheet" (lámina) y "slit" (fleje) tomando como base los valores de "coil", para 304

La tabla representa la variación porcentual del rendimiento de los distintos productos finales tomando como base de referencia el producto "bobina",

Lógicamente, el tipo de producto final no influye en las líneas AP1 y AP2 porque el proceso que sigue la bobina es independiente de la forma final. Sin embargo, en el taller de acabados, la diferencia de rendimiento es importante. El producto fleje tiene el peor rendimiento de todos, casi 4% peor que la bobina. Esto se debe a que, en muchos casos, al cortar los flejes, queda una tira entera bastante gruesa pero insuficiente para hacer otro fleje, por lo que se desperdicia mucho material. Las láminas se comportan un 1% peor que las bobinas.

Se realizó la misma tabla para los materiales 316, obteniéndose el siguiente resultado:

Row Labels	Average of HY	Average of CY	Average of FLY	Average of Overall
Coil				
Sheet	0,1%	0,0%	-2,1%	-2,0%
Slit	0,5%	0,5%	-5,7%	-4,8%
<b>Grand Total</b>				

Tabla 22: Diferencia porcentual de rendimientos entre los productos finales tomando como base los valores de "coil", para 316

Para este tipo de acero con alto contenido en Molibdeno, los resultados son parecidos al acero 304 pero el cambio en el rendimiento es aún más brusco. Las láminas y los flejes poseen un rendimiento de 2% y 4,8% peor respectivamente que las bobinas.

A continuación, se quiso analizar la influencia que tenía el tipo de acero sobre el rendimiento de frío y del taller de acabados. Como el tipo de producto final influye notoriamente, esta tabla se realizó exclusivamente para el producto bobina, y se representó el rendimiento en términos porcentuales, tomando como referencia esta vez el tipo de acero 304:

Steel Type	Average of HY	Average of CY	Average of FLY	Average of Overall
304				
316	-0,5%	0,3%	0,9%	0,8%
409	-0,4%	-0,4%	-1,2%	-2,0%
430	-0,4%	0,8%	-0,8%	-0,3%
<b>Grand Total</b>				

Tabla 23: Diferencia porcentual de rendimientos dependiendo de tipo de acero tomando como referencia el 304

Se deduce que el tipo de acero es también importante a la hora de analizar rendimientos. El acero 316 es el material que mejor rendimiento en el taller de acabados posee, seguido del 304. Sin embargo, el rendimiento en frío es mejor para el 430. Se puede apreciar que por lo general los aceros austeníticos tienen un mayor rendimiento que los ferríticos en la línea de acabados.

Acto seguido, se analizaron las variables objeto de estudio desde un punto de vista atendiendo al ancho, obteniendo los siguientes resultados:

Width (mm)	Average of HY	Average of CY	Average of FLY	Average of Overall
1000				
1220	0,1%	0,2%	0,5%	0,8%
1250	0,0%	0,2%	1,2%	1,5%
1500	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>Grand Total</b>				

Tabla 24: Diferencia porcentual del rendimiento en función del ancho tomando como referencia el 1000mm, material 304

La tabla muestra resultados para el acero 304 y producto final "bobina". Se puede ver que el ancho afecta únicamente al rendimiento en líneas de acabado, pero no de forma muy clara. El rendimiento de 4 pies es ligeramente mayor a los de las bobinas de 5 pies. La razón puede deberse a que las bobinas de 5 pies vienen habitualmente con más margen de ancho respecto a lo que el cliente demanda, por lo que en la operación de rebordeo se quita más material. En cualquier caso, el ancho de la bobina no afecta de manera importante a los rendimientos.

Estas mismas conclusiones se extraen de la tabla que alude al material 316:

Width (mm)	Average of HY	Average of CY	Average of FLY	Average of Overall
1000				
1220	0,0%	-0,4%	1,3%	0,9%
1250	-0,2%	-0,1%	1,4%	1,2%
1500	-0,1%	-0,4%	0,6%	0,1%
<b>Grand Total</b>				

Tabla 25: Diferencia porcentual del rendimiento en función del ancho tomando como referencia el 1000mm, material 316

En cuanto al espesor, para el mismo grupo de producto final (bobina) y tipo de acero (304), la tabla obtenida se refleja a continuación:

Row Labels	Average of HY	Average of CY	Average of FLY	Average of Overall
<=0.5				
<=0.7	-0,1%	-1,0%	0,9%	-0,2%
<=0.9	0,0%	-0,8%	0,5%	-0,2%
<=1.0	0,3%	-0,6%	1,0%	0,7%
<=1.2	0,1%	-0,3%	0,9%	0,7%
<=1.5	0,0%	-0,3%	0,8%	0,5%
<=2.0	0,0%	-0,6%	1,3%	0,7%
<=3.0	0,1%	0,4%	-0,4%	0,2%
<=4.0	0,0%	0,1%	-0,2%	-0,1%
>4	0,2%	0,0%	-0,8%	-0,6%
<b>Grand Total</b>				

Tabla 26: Diferencia porcentual del rendimiento en función del espesor tomando como referencia el <0,5 mm, material 304

El rendimiento en caliente no se ve afectado, debido a que en la laminación el espesor se reduce hasta los valores dados, pero no importa el espesor de inicio, es decir, el que se tiene en caliente. El espesor final es independiente del inicial, depende de lo que se quiera reducir.

En cuanto al rendimiento de frío, se ve que los espesores delgados (a excepción del <0,5 mm) tienen un peor rendimiento. Esto se puede deber a que, durante el decapado, los materiales delgados tienen más superficie que los gruesos por unidad de masa. Como el decapado erosiona la capa superficial de la bobina, las mermas son mayores para espesores estrechos.

Por otra parte, se observa que el rendimiento en taller de acabados es peor para bobinas de valores de espesor altos. Esto ocurre por el hecho de que al cortar x metros de bobina en el taller de acabados para sanear o para rebordear, cuanto mayor sea el grosor de la bobina mayor es la cantidad de masa que quitas para un mismo número de metros de longitud.

El rendimiento general, debido a que espesores finos favorecen un mayor rendimiento en taller de acabados, pero peor en frío, las bobinas con un mejor rendimiento total son las que tienen un espesor intermedio.

Sin embargo, como conclusión final, se ha de estudiar estos datos con cuidado debido a que las bobinas de <0,5mm no cumplen con este razonamiento. Además, el taller de acabados no ofrece un mayor rendimiento de forma clara para los espesores pequeños respecto a los intermedios. No hay que olvidar que los datos estudiados apenas representan el 40% del total de las bobinas debido a los problemas previamente citados de homogeneidad, errores, valores atípicos o bobinas no transformadas en producto final al 100%. Por ello, es posible que algunos datos que no concuerdan a la tónica general expuesta sea debido a una insuficiente o no representativa población de bobinas.

A pesar de no ser los datos 100% precisos, sí que ofrecen una idea general del comportamiento de los distintos grupos respecto a su rendimiento. Por ello, se realizará una última representación que haga referencia a éstos en función de su suministrador. La información siguiente está hecha para bobinas de acero 304 y producto final "bobina". Sin embargo, como el espesor es diferente, se harán 3 tablas distintas: para espesores finos ( $\leq 0,9$  mm), espesores intermedios (hasta  $\leq 2$  mm) y gruesos ( $> 2$  mm).

Suministrador	Average of HY	Average of CY	Average of FLY	Average of Overall
Suministrador B				
Suministrador A	0,3%	-0,5%	-0,1%	-0,3%
Suministrador E	0,4%	-2,3%	-1,2%	-3,1%
Suministrador D	0,6%	-0,7%	-0,6%	-0,8%
Suministrador C	0,7%	0,2%	0,1%	1,0%
<b>Grand Total</b>				

Tabla 27: Rendimientos totales y desglosados, representados como diferencia porcentual respecto al sumin. B, y para espesores  $\leq 0,9$  mm

Suministrador	Average of HY	Average of CY	Average of FLY	Average of Overall
Suministrador B				
Suministrador A	0,3%	-0,2%	-0,1%	0,0%
Suministrador E	0,6%	-1,7%	0,0%	-1,1%
Suministrador D	0,9%	-1,0%	-0,4%	-0,5%
Suministrador C	0,9%	-0,6%	0,4%	0,6%
<b>Grand Total</b>				

Tabla 28: Rendimientos totales y desglosados, representados como diferencia porcentual respecto al sumin. B, y para espesores entre 1 y 2 mm (incluidos)

Suministrador	Average of HY	Average of CY	Average of FLY	Average of Overall
Suministrador B				
Suministrador A	0,0%	0,3%	0,3%	0,6%
Suministrador E	0,1%	0,1%	0,8%	0,9%
Suministrador D	0,5%	-0,3%	-0,4%	-0,2%
Suministrador C	0,3%	0,4%	1,0%	1,7%
<b>Grand Total</b>				

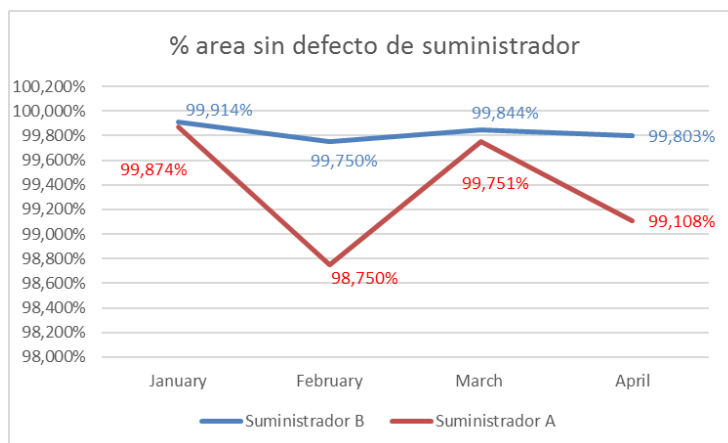
Tabla 29: Rendimientos totales y desglosados, representados como diferencia porcentual respecto al sumin. B, y para espesores > 2mm

Analizando las 3 tablas, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- En el apartado 2.3.2. se comprobó que los 2 suministradores principales, A y B, eran los que peor rendimiento en caliente tenían. Sin embargo, gracias a un mayor rendimiento en frío y taller de acabados, el rendimiento general de ambos es solo superado por el suministrador C, que sigue siendo el más fuerte. Esto pasa para espesores bajos e intermedios.
- Al hablar de espesores gruesos, cambia un poco la configuración. En este caso, el suministrador E mejora claramente su rendimiento general y pasa de ser el peor a situarse segundo.
- La mayor diferencia de rendimientos viene del taller de acabados. Por contra, el rendimiento en caliente es el que se deja influir en menor medida el tipo de suministrador.

### 3.2.2. Estudio de calidad en frío

Se procedió de manera análoga a lo realizado en el apartado 2.3.2. de caliente. Sin embargo, en este caso, se quería analizar aquellos defectos procedentes únicamente del suministrador que contenían las bobinas. Para ello se exportó una nueva hoja de datos que contenía información acerca de todos los defectos hallados en cada bobina y su procedencia. Una vez filtrado estos datos para quedarse solamente con los defectos de origen uno de los suministradores, se obtuvo la siguiente gráfica, que hace referencia al año 2016:



**Figura 41: Porcentaje de superficie libre de defectos originados por el suministrador**

La gráfica representa el porcentaje de área sin defecto proveniente del suministrador respecto al total de peso procesado de ese suministrador para los meses de enero a abril del 2016.

Se aprecia que el suministrador B posee mayor calidad durante todo el período de estudio que el suministrador A. La superficie libre de defectos de B no baja de 99,7% en estos 4 meses, mientras que A tiene su valle en el mes de febrero, con un valor de 98,750%.

### 3.2.3. Análisis de Propiedades Mecánicas

De cada bobina procesada en la planta, una vez terminado el proceso, se extrae una pequeña muestra en forma de cuadrado de unos 25\*25 cm que se lleva al laboratorio para luego ser almacenada durante una temporada.

En el laboratorio, esta muestra se somete a varias pruebas, entre ellas una de composición química y otra de ensayo de tracción para comprobar sus propiedades químicas y mecánicas. Este apartado se centrará en analizar las segundas para así comprobar si lo que se está mandando al comprador final cumple con los requisitos de resistencia requeridos. Esto es muy importante. Un ejemplo puede ser el acero que se solicite para la construcción de un edificio en concreto. En caso de no cumplir con los valores requeridos, el acero puede acabar fallando al someterse a determinados

esfuerzos, pudiendo tener consecuencias muy graves. De ahí la importancia de asegurarse que es tan resistente como se le supone.

Para comenzar, se solicitó al laboratorio los últimos datos de los ensayos realizados sobre las muestras. Este informe se puede ver en parte como ejemplo en los anexos O que se pueden encontrar en la última parte del proyecto.

Las variables suministradas que se van a analizar son:

- Resistencia máxima a rotura (TS) ➡ Es la máxima tensión que soporta un material antes de que empiece a romperse.
- Límite elástico (YS) ➡ Hace referencia a la máxima tensión que el material puede soportar antes de empezar a deformarse plásticamente (deformación plástica).
- A50 ➡ Significa la elongación máxima en mm que sufre una probeta de 50mm hecha con el material a estudiar hasta que rompe.
- HRB ➡ Representa la dureza de un material, o lo que es lo mismo, la resistencia a ser arañado.

Para analizar estos datos, se cambió la manera de proceder en un aspecto: los grupos de espesor. Los escogidos para ver las propiedades mecánicas fueron: 0,4mm; 0,5 mm; 0,6 mm; 0,7 mm; 0,8 mm; 0,9 mm; 1,0 mm; 1,2 mm; 1,5 mm; 2 mm ;2,5 mm; 3 mm; 4 mm; 5 mm y 6 mm.

Después de disponer de todos los datos, agruparlos y eliminar aquellos que son defectuosos, se procedió al análisis de los mismos.

La tabla mostrada a continuación enseña la media de las variables de estudio en función del tipo de acero. Datos mostrados en megapascuales.

Steel Type	Average of TS	Average of YS	Average of A50	Average of HRB
200	797,3	383,2	52,1	83,6
304	690,6	299,6	55,0	83,8
304L	661,1	303,7	53,0	83,6
304DDQ	632,4	287,0	55,3	80,0
316	627,0	311,6	50,8	82,9
409	429,3	239,7	36,1	79,6
430	511,8	320,8	28,7	78,8
439	458,1	309,1	32,8	80,9
441	489,1	329,4	31,5	82,2
Other	569,1	296,2	43,8	81,5
<b>Grand Total</b>	<b>642,1</b>	<b>303,2</b>	<b>50,9</b>	<b>83,2</b>

Tabla 30: Propiedades mecánicas medias en función del tipo de acero

Como conclusiones de esta primera tabla, se puede afirmar que para los aceros con alto contenido de manganeso (grupo 200), la tensión máxima a rotura y el límite elástico son claramente los más elevados de todos. Además, se aprecia que tanto la resistencia máxima a rotura como la elongación son, por regla general, mayores en los aceros austeníticos que en los ferríticos. Sin embargo, el límite elástico permanece constante entre estos dos grandes grupos. También se observa unos valores de dureza ligeramente inferiores en los austeníticos respecto al grupo que presenta ferrita en su estructura cristalina.

Gauge (mm)	Average of TS	Average of YS	Average of A50	Average of HRB
0,4	695,3	293,6	58,7	76,7
0,5	681,3	296,1	57,1	78,0
0,6	680,8	294,4	56,4	79,4
0,7	675,6	296,4	55,2	80,9
0,8	676,2	303,1	54,0	82,5
0,9	677,0	310,2	52,7	83,7
1	675,8	308,8	53,4	84,0
1,2	671,8	306,9	52,5	84,2
1,5	661,4	304,1	52,5	84,3
2	655,2	306,2	51,8	84,4
2,5	647,1	297,5	52,4	84,2
3	644,5	294,0	52,9	83,9
4	642,0	304,4	52,7	85,0
5	639,7	306,8	52,6	85,6
6	633,0	302,6	53,7	85,5
<b>Grand Total</b>	<b>663,3</b>	<b>303,4</b>	<b>53,1</b>	<b>83,6</b>

Tabla 31: Propiedades mecánicas medias en función del espesor

En cuanto a espesores, la tabla refleja los datos del acero 304 y 304L (se juntaron debido a que sus valores en la primera tabla eran muy parejos). Se deduce que la tensión máxima a rotura tiene una clara relación inversamente proporcional al espesor. A mayor espesor, menor tensión máxima aguanta el acero. La razón reside probablemente en que los aceros más delgados han sido probablemente laminados con un coeficiente de reducción mucho mayor. Debido a la deformación de la estructura cristalina, esta laminación produce un endurecimiento del material.

Por otro lado, el límite elástico no se ve afectado por el espesor, por lo tanto, la reducción del espesor en laminación no afecta a la hora de decir cuánto puede aguantar un material sin deformarse plásticamente.

La dureza encontrada en los grupos de mayor espesor es algo más grande que en el caso de los espesores finos. La elongación, por contra, apenas se ve afectada.

También se realizó una tabla para ver estos valores dependiendo del grupo de ancho, pero este parámetro no afectaba a la resistencia, elongación y dureza.

Por último, se construyó una tabla en función del suministrador. Se realizó para todos los aceros 304 y 304L, y para espesores intermedios (1-2,5 mm, ambos inclusive). El resultado fue:

Supplier	Average of TS	Average of YS	Average of A50	Average of HRB
Suministrador B	660,6	314,2	53,9	81,2
Suministrador A	685,4	298,9	56,8	80,6
Suministrador E	651,4	311,7	53,6	81,6
Suministrador D	687,7	283,3	54,1	79,9
Suministrador C	693,9	292,4	54,7	81,2
<b>Grand Total</b>	<b>679,4</b>	<b>300,2</b>	<b>55,2</b>	<b>80,8</b>

Tabla 32: Propiedades mecánicas medias en función del tipo de acero, para 304 y espesores intermedios

Lo primero que se puede extraer de las tablas es el hecho de que, para todos los casos, la diferencia entre los valores más altos y más bajos no superan el 10% de diferencia, por tanto, la diferencia de estos valores respecto a su suministrador son apreciables, pero no muy importantes.

El suministrador B y el E tienen el menor TS de todos, pero también el mayor YS. Esto quiere decir que proveen material algo más dúctil pero menos resistente que el resto. Además, el proveedor C es el que vende las bobinas más resistentes, aguantando casi 700MPa por término medio.

Los valores de elongación dureza apenas se ven afectados por el tipo de suministrador.

La siguiente tabla muestra la misma información, pero para espesores finos (<1 mm):

Supplier	Average of TS	Average of YS	Average of A50	Average of HRB
Suministrador B	645,9	314,7	51,6	84,5
Suministrador A	668,7	305,3	53,5	84,3
Suministrador E	634,1	312,8	52,0	84,3
Suministrador D	673,8	289,1	51,8	83,5
Suministrador C	686,3	299,5	52,6	84,2
<b>Grand Total</b>	<b>664,1</b>	<b>305,8</b>	<b>52,5</b>	<b>84,3</b>

Tabla 33: Propiedades mecánicas medias en función del tipo de acero, para 304 y espesores gruesos (> 2,5mm)

Los valores de TS y YS crecen en proporción, como se pudo ver en la tabla de espesores,

---

pero la información que muestra es exactamente la misma que la obtenida en la tabla de espesores intermedios.

A continuación, se quiso profundizar algo más en este estudio, para posteriormente analizar más detenidamente si estos valores se ajustan a los que deberían ser por norma.

Para ello se llevó a cabo un estudio estadístico para establecer rangos donde se sitúan con una probabilidad dada a partir de la muestra los datos objeto de estudio. Los criterios utilizados fueron sigma, dos sigma y tres sigma. Este criterio establece que, si la distribución de los datos se aproxima a una distribución normal, una vez obtenida la media de un histórico de datos, se sabe que una bobina futura tendrá unos valores delimitados por unos rangos. La bobina futura estará dentro de este rango con una probabilidad del 67% (1-sigma), 95% (2-sigma) y 99,7% (3-sigma).

El criterio sigma se establece a partir de la media de la población de datos y de la desviación típica. La desviación típica es la raíz cuadrada de la varianza total ( $\sigma$ ) de la muestra, que se calcula como:

$$\sigma = (\mu - x_1)^2 + (\mu - x_2)^2 + (\mu - x_3)^2 + (\mu - x_4)^2 + \dots$$

$\mu$  representa la media de una población (ejemplo, de YS) y  $X_1, X_2$ , etc. hace referencia a las distintas medidas de toda la muestra.

Por tanto, el rango de valores posibles con criterio sigma es el que va de  $\mu - \sigma$  hasta  $\mu + \sigma$ , y el 67% de las bobinas estarán en este rango. El criterio dos-sigma es de  $\mu - 2\sigma$  hasta  $\mu + 2\sigma$ . Este rango no es tan preciso, pero asegura que los valores estarán dentro en un 95% de casos. Por último, el criterio tres-sigma consiste en un rango entre  $\mu - 3\sigma$  y  $\mu + 3\sigma$ .

A través de estas fórmulas y por medio de tablas dinámicas, se obtuvieron todos los rangos posibles para cada uno de los suministradores. Toda esta información está recogida en los anexos P. Para este apartado, se recoge únicamente la información en forma de gráficas, debido a que ayudan para comprender el comportamiento de las bobinas.

A continuación, se representan las gráficas con los datos obtenidos. Los rangos se mostraron a través de un histograma al que se le añadió un diagrama de Pareto para ver el porcentaje acumulado de bobinas que entraban dentro de los distintos rangos.

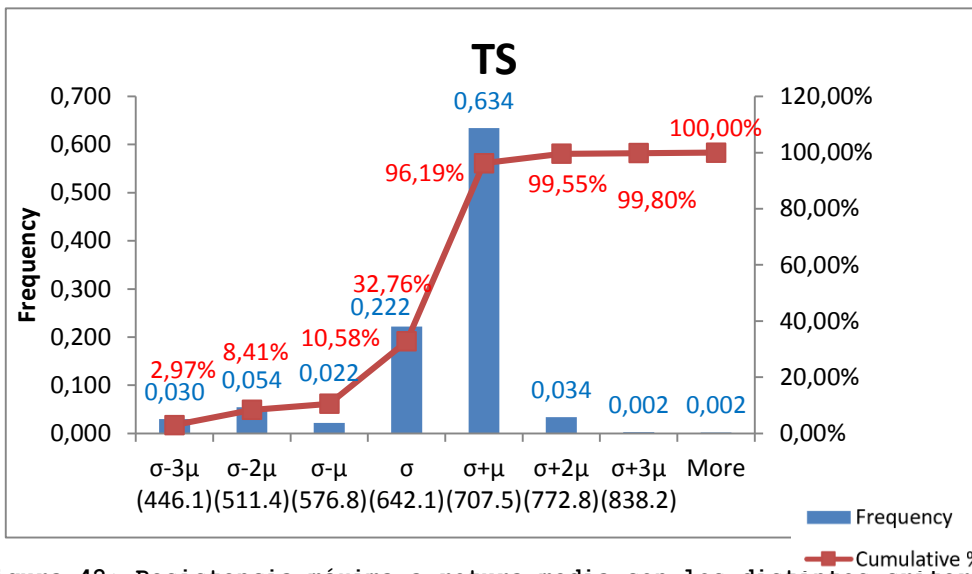


Figura 42: Resistencia máxima a rotura media con los distintos criterios estadísticos

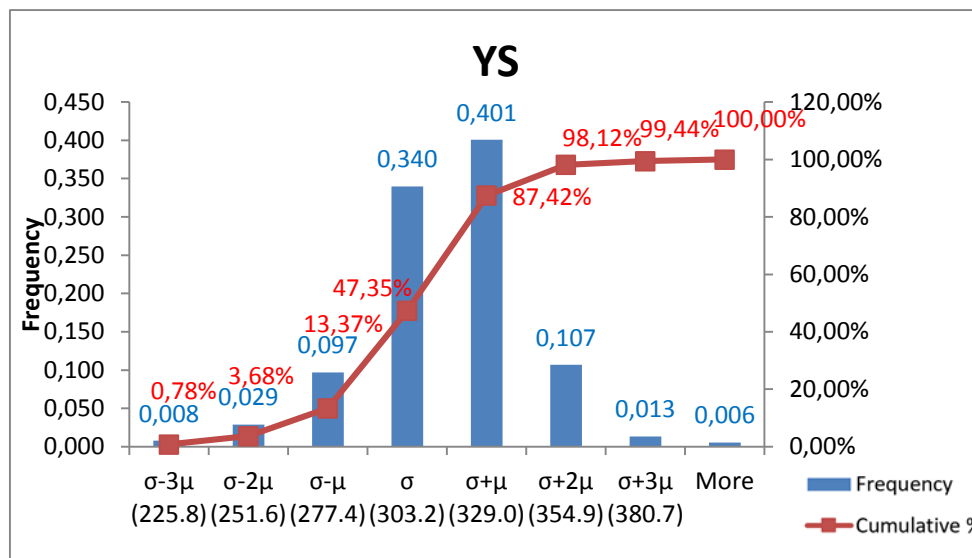


Figura 43: Límite elástico medio con los distintos criterios estadísticos

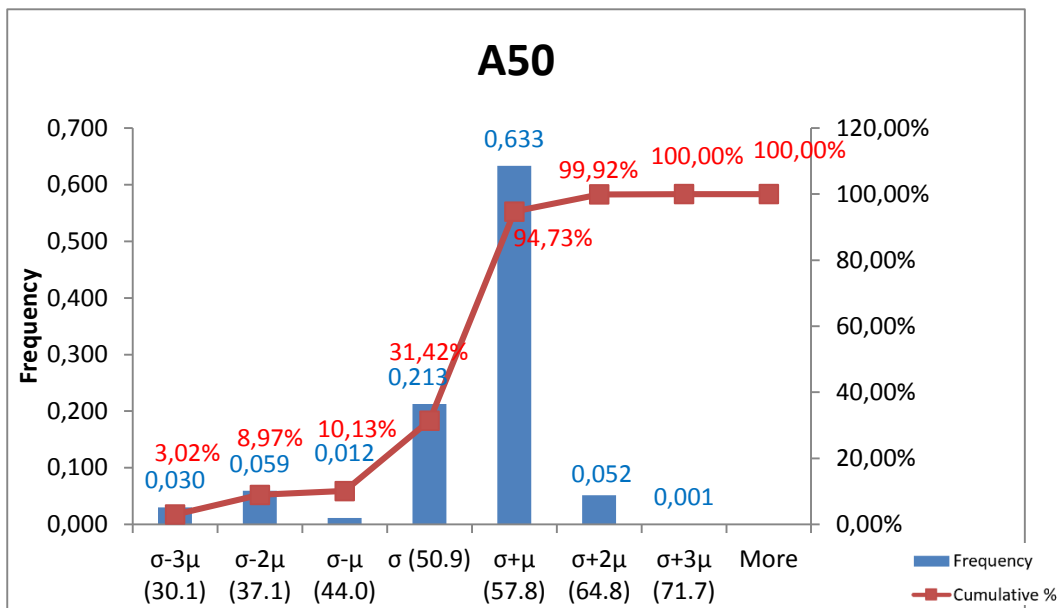


Figura 44: Elongación porcentual media con los distintos criterios estadísticos

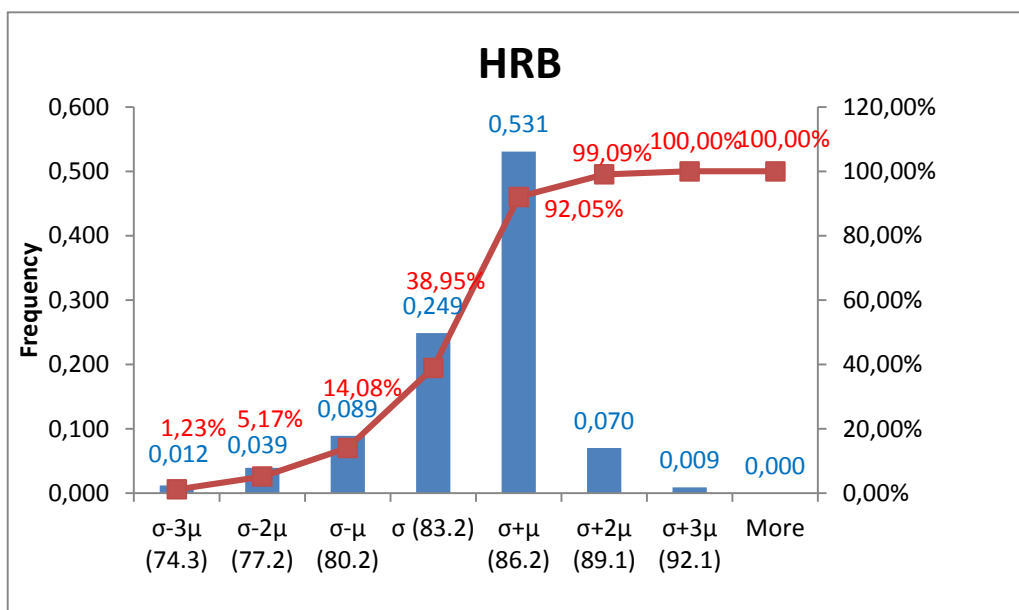


Figura 45: Dureza media con los distintos criterios estadísticos

Se recuerda que el objetivo principal de este apartado es ver si los valores de resistencia, dureza y elongación obtenidos en el laboratorio a partir de las muestras de las bobinas cumplen la norma requerida. Por tanto, esta información recogida en las gráficas no resulta útil sin establecer una comparación con lo que estipula la norma.

Acerinox tiene su propia norma en lo que a propiedades mecánicas se refiere. Esta norma es más estricta que la norma internacional americana ASTM A240, que es la que imperaría por defecto un caso de no haber ninguna otra. Ambas normas están recogidas en los anexos J del proyecto.

De manera resumida, la norma de Acerinox acerca de las propiedades mecánicas de sus productos es la siguiente:

Acerinox Spain Standard					
	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)		Elongation (%)	HRB Hardness
	Min.	Min.	Max.	Min.	Max.
304	230	540	720	45	92
304L	220	520	700	45	92
316L	240	530	670	45	95
321	220	520	700	45	95
310	205	515	700	40	95
430	280	450	600	22	87
409L	220	380	560	25	87
441	250	430	630	18	87

Tabla 34: Norma interna de la empresa en relación a propiedades mecánicas

Sin embargo, las gráficas muestran todos los tipos de bobinas. Para el 304L, los datos son los siguientes:

Variable	$\sigma-3\mu$	$\sigma-2\mu$	$\sigma-\mu$	$\sigma$	$\sigma+\mu$	$\sigma+2\mu$	$\sigma+3\mu$
TS	585,2	610,5	635,8	661,1	686,4	701,7	737,0
YS	240,5	261,5	282,6	303,7	324,8	345,8	366,9
A50	44,5	47,3	50,1	53,0	55,8	58,6	61,5
HRB	75,2	78,0	80,8	83,6	86,4	89,1	91,9

Tabla 35: Propiedades mecánicas del 304L en forma de rangos usando los distintos criterios estadísticos, para aceros 304L

El TS, como se observa en la tabla, está dentro en todos sus rangos de los valores delimitados por norma (entre 520 y 700MPa). La única excepción es el valor marcado por  $\sigma+3\mu$ . Sin embargo, se recuerda que la probabilidad que la bobina esté entre  $\sigma-2\mu$  y  $\sigma+2\mu$  es del 95%, y de que sea mayor a  $\sigma+2\mu$  un 2,5%. Por tanto, casi todas las bobinas se van a encontrar entre los 520 y 700 MPa que marca la norma.

En cuanto al límite elástico (YS), el mínimo requerido es 220 MPa. Todas las bobinas están por encima de este valor, por lo que queda comprobado que cumplen este requisito.

La elongación debe ser como mínimo un 45%. Teniendo en cuenta que el 99,7% de las bobinas están entre 44,5% y 61,5%, la cantidad de bobinas que bajan de este valor mínimo son casi insignificantes.

Por último, la dureza, representada por HRB, debe ser como máximo 92, cuando el límite superior del criterio 3 sigma es de 91,9, por tanto, también cumple con la norma.

También se realizó una comprobación para el segundo tipo de material más importante, el 316. Los rangos según los diversos criterios vienen definidos a continuación:

Variable	$\sigma-3\mu$	$\sigma-2\mu$	$\sigma-\mu$	$\sigma$	$\sigma+\mu$	$\sigma+2\mu$	$\sigma+3\mu$
TS	565,7	586,1	606,6	627,0	647,4	667,8	688,2
YS	244,9	267,1	289,3	311,6	333,8	356,0	378,2
A50	43,5	46,0	48,4	50,8	53,2	55,6	58,0
HRB	75,7	78,1	80,5	82,9	85,3	87,7	90,1

Tabla 36: Propiedades mecánicas del 304L en forma de rangos usando los distintos criterios estadísticos, para aceros 316

Haciendo un ejercicio análogo al caso anterior, se comprueba que todos los rangos posibles están dentro de la norma. Los únicos casos más ajustados son los relacionados con el límite superior de TS y el de HRB.

En el caso de TS, la norma proporciona un valor máximo de 670, valor aproximado de  $\sigma+2\mu$ . Sin embargo, al igual que en el 304, la cantidad de bobinas que superan este límite es solo de un 2,5%, por tanto, no se considera que sea un problema.

El resto de materiales, al tener poblaciones pequeñas, no se puede comparar con la norma debido a que saldrían rango de valores muy altos. En cualquier caso, el acero 304L y el 316, como se vio en el apartado 2.2 del proyecto, representan casi el 94% del total de las bobinas, por lo que son las únicas realmente importantes para analizar.

### 3.2.4. Estudio de productividad en frío

En este apartado se calcularán las tablas de productividad de las líneas de la planta que procesan frío. El esquema a seguir fue exactamente el mismo que en el caso descrito

---

para las productividades en caliente (apartado 2.3.4.). La única diferencia reside en que el estudio se realizó para AP1 cold y AP2.

Nuevamente, no se pueden expresar datos absolutos debido a que pueden ser en parte confidenciales, pero estas son los resultados y conclusiones que se pueden extraer del estudio de productividad en frío.

- El nivel de ocupación de la línea AP1 frío es inferior al **10%**. Este nivel de ocupación ha de sumarse como ya se comentó al nivel de ocupación de AP1 caliente. En cualquier caso, la ocupación total de AP1 sigue siendo bastante baja y está lejos de necesitar una expansión o de ser un cuello de botella.
- Por otra parte, el nivel de ocupación de la línea AP2 de la fábrica se sitúa alrededor del 50%. Al igual que AP1, la línea está sobredimensionada para futuras expansiones y por tanto la ocupación actual está lejos de suponer un cuello de botella, quedando disponible un 50% de capacidad.
- El **82,06%** de las horas que la fábrica estuvo en funcionamiento en el año 2015 estuvo procesando acero inoxidable austenítico, el resto de las horas ferrítico.
- El porcentaje total de productividad real respecto a la teórica ponderado por peso se sitúa en el **57,09%**. Este porcentaje se desglosa, para materiales austeníticos y ferríticos, en un **58,80%** y **45,14%** respectivamente. Es decir, nuevamente, la productividad de los ferríticos fue bastante peor en planta que la de los austeníticos en el año 2015. Sin embargo, al igual que se comentó para AP1, con el coeficiente de sobredimensión de la línea, el porcentaje real respecto al teórico de la línea fue del **67,16%**.
- Comparando la línea AP2 con AP1 del apartado 2.3.4., la línea AP2 tiene una ocupación algo mayor que AP1, por tanto, en caso de que hubiera un incremento de pedidos extraordinarios, sería la primera línea que se encontraría con problemas de capacidad. En cualquier caso, a día de hoy, debido a que no supera el 50%, no presenta ningún problema.
- En AP1 la producción real se acerca algo más al óptimo de diseño que en el caso de AP2, por tanto, el trabajo ahí realizado es más eficiente que en el caso del recocado y decapado en frío. De todas formas, la diferencia no es demasiado relevante.

Para terminar con este apartado, mencionar que se intentó llevar a cabo este mismo estudio para los dos laminadores, ZM1 y ZM2, encontrándose varias dificultades. El mayor problema fue que los datos de tiempo de proceso de Supervisory para las líneas ZM1 y ZM2 incluían los trabajos de mantenimiento de los rodillos, como los cambios de

éstos o averías. Al no estar en esos momentos procesando material, los datos obtenidos no eran del todo ciertos. Por tanto, se dejó este problema para más adelante, quedando excluido finalmente del alcance de este proyecto.



## 4. Cálculo de Presupuesto



Para hallar el presupuesto, se tendrá en cuenta el profesional, las horas de trabajo invertidas y los medios utilizados para llevar a cabo el estudio.

El precio a pagar por la Licencia pack Professional de Microsoft (incluye Excel 2010): **310 euros.**

El precio medio mensual bruto de un ingeniero industrial medio con 15 años de experiencia es de 2900 euros. Al año, contando las dos pagas extraordinarias, el salario es de 40600 euros.

Los días lectivos en el año 2015 fueron de:

365 días al año
- 104 días entre sábados y domingos
- 11 días festivos
- 23 días de vacaciones
= 227 días lectivos

Salario al día =  $40600/227 = 178,85$  euros.

Salario la hora suponiendo 9 horas de trabajo diarias =  $178,85/9 = 19,87$  euros/hora.

Suponiendo que en el estudio se emplean 300 horas:

cantidad a pagar al ingeniero =  $300*19,87 = 5961,82$  euros.

El presupuesto final del proyecto asciende a  $310 + 5961,82 = 6271,82$  euros.



## 5. Bibliografía

- [1] <http://www.worldstainless.org/>
- [2] <http://www.cedinox.es/>
- [3] <http://www.praxair.com/industries/metal-production/argon-oxygen-decarburization-aod>
- [4] <https://www.gerdau.es>
- [5] <http://www.layde.es/es/laminados> (imagen sendzimir)
- [6] [http://www.tecniaceros.com/pdfs/acero\\_inoxidable.pdf](http://www.tecniaceros.com/pdfs/acero_inoxidable.pdf)
- [7] [www.wikipedia.es](http://www.wikipedia.es)



## 6. Anexos



Anexo A: Ejemplo de la información suministrada por Supervisory reflejando el histórico de bobinas

Product No Out	Product No	Type	Priority	Finish	GPC	Process Code	NCR	Re wo rk	U O I	de de r r	Gge	Wid	Len	Out Sp	St AC	Mass In	Mass Out	Mass Loss	Yield %	Scr ap	Proc Mins	Delay Mins	MPM MDDD	MPM Start	MPM End	Operator	Act MDDD	Act Start	Act End	Pr In d	Co
A0020596	A0020596	B316240	4	NO1	CB	HBC	N				6	1240	403	31	23920	26180	-2260	100	0	13	0	0704	10:46	10:59	OTHER	0704	10:33:00	11:21:29	Y	1	
A0017347	A0017347	B304151	1	NO1	IC	HBN	Y				3,5	1555	541	34	25450	26040	-590	100	0	16	0	0211	03:35	03:51	OTHER	0211	03:19:59	04:10:44	Y	1	
C0025251	C0025251	B409800	6	NO1	CD	HBC	N				4	1263	604	12	22520	22950	-430	100	0	51	0	1210	16:45	17:36	OTHER	1210	16:10:09	18:26:23	Y	1	
D0025531	D0025531	B304150	1	NO1	CB	HBC	N				6	1555	299	19	21340	21560	-220	100	0	16	0	1225	23:21	23:37	OTHER	1225	23:04:09	00:10:36	Y	1	
C0019077B	C0019077B	B321315	-1	2D	CB	RAP	N				3	1567	639	11	23383	23540	-157	100	0	57	0	0604	14:44	15:41	OTHER	0604	14:44:37	16:09:17	Y	1	
A0022011	A0022011	B304151	4	NO1	CB	RAP	Y				4	1270	613	68	24180	24250	-70	100	0	18	0	0807	15:57	16:15	OTHER	0807	15:41:03	16:32:14	Y	1	
C0022342	C0022342	B304151	3	NO1	CB	RAP	N				3,9	1563	508	42	24700	24750	-50	100	0	24	0	0826	20:04	20:28	OTHER	0826	19:39:19	20:52:56	Y	1	
A0022673	A0022673	B316240	5	NO1	CB	RAP	N				6	1240	399	83	23500	23550	-50	100	0	20	0	0830	07:59	08:19	OTHER	0830	07:33:51	08:57:11	Y	1	
A0022596	A0022596	B304151	2	NO1	IC	RAP	Y				4	1555	538	51	26130	26180	-50	100	0	21	0	0830	06:32	06:53	OTHER	0830	06:20:00	07:20:58	Y	1	
C0025246	C0025246	B409800	6	NO1	CD	HBC	N				4	1264	588	21	22490	22530	-40	100	0	28	0	1210	13:57	14:25	OTHER	1210	13:27:54	14:59:41	Y	1	
H0019276A	H0019276A	B304150	3	2D	CB	APF	N				3	1240	636	21	18718	18750	-32	100	0	31	0	0516	19:04	19:35	OTHER	0516	18:37:55	20:06:46	Y	1	
H0020121	H0020121	B304120	9	NO1	CB	HBC	N				6	1240	378	27	21230	21260	-30	100	0	14	0	0522	00:37	00:51	OTHER	0522	00:20:26	01:18:55	Y	1	
D0021655	D0021655	B304150	3	NO1	CB	RAP	N				3	1555	807	54	27870	27900	-30	100	0	30	0	0816	23:27	23:57	OTHER	0816	23:08:32	01:34:54	Y	1	
D0021639	D0021639	B304150	3	NO1	CB	RAP	N				3	1555	818	45	28370	28400	-30	100	0	36	0	0816	22:51	23:27	OTHER	0816	22:37:37	23:52:20	Y	1	
A0022670	A0022670	B316240	0	NO1	IC	RAP	N				4	1240	597	50	23300	23330	-30	100	0	24	0	0830	04:25	04:49	OTHER	0830	04:07:12	05:16:14	Y	1	
A0022617	A0022617	B304151	2	NO1	CB	RAP	N				4	1240	607	49	23330	23360	-30	100	0	25	0	0830	04:00	04:25	OTHER	0830	03:39:25	04:52:28	Y	1	
A0022598	A0022598	B304151	4	NO1	IC	RAP	N				4	1555	531	48	26100	26130	-30	100	0	22	0	0830	06:10	06:32	OTHER	0830	05:51:28	06:59:08	Y	1	
C0021119	C0021119	B304151	2	NO1	CB	HBC	N				8	1299	293	32	23790	23810	-20	100	0	23	1	0726	13:54	14:18	OTHER	0726	13:54:15	15:52:51	Y	1	
N0022242	N0022242	B304150	4	NO1	CB	RAP	N				3,9	1295	547	50	21200	21220	-20	100	0	22	0	0830	03:17	03:39	OTHER	0830	02:54:46	04:06:28	Y	1	
A0022591	A0022591	B316240	1	NO1	IC	RAP	N				5	1240	483	40	23880	23900	-20	100	0	24	0	0830	07:14	07:38	OTHER	0830	06:53:14	08:11:56	Y	1	
H0020835	H0020835	B304150	4	NO1	CB	HBC	N				3	1240	780	41	21360	21370	-10	100	0	19	0	0628	21:08	21:27	OTHER	0628	20:58:40	21:44:54	Y	1	
D0021629	D0021629	B304150	3	NO1	CB	HBC	N				3	1555	792	47	27740	27750	-10	100	0	17	0	0812	23:48	00:05	OTHER	0812	23:42:35	00:21:35	Y	1	
D0021652	D0021652	B304150	3	NO1	CB	RAP	N				3	1555	796	32	27490	27500	-10	100	0	50	0	0816	22:01	22:51	OTHER	0816	21:39:44	23:21:49	Y	1	
A0022568	A0022568	B304151	4	NO1	IC	RAP	N				6	1555	349	11	26080	26090	-10	100	0	65	0	0830	14:41	15:46	OTHER	0830	14:19:21	16:16:27	Y	1	
D0024685	D0024685	B304150	0	NO1	CB	HBC	N				3	1555	591	20	20550	20560	-10	100	0	30	0	1214	14:11	14:41	OTHER	1214	13:55:40	15:54:52	Y	1	
A0017042B	A0017042B	B304151	4	2D	ND	APF	Y				5,3	1555	73	0	4920	4920	0	100	0	169	3463	0211	09:57	22:29	OTHER	0211	09:57:49	11:51:54	Y	2	
C0020477	C0020477	B202062	0	NO1	CB	HBC	N				3	1249	777	19	22690	22690	0	100	0	42	0	0623	16:50	17:32	OTHER	0623	16:20:13	18:01:01	Y	1	
H0020881	H0020881	B304150	0	NO1	CB	HBC	N				6	1240	373	18	21300	21300	0	100	0	21	0	0628	00:01	00:22	OTHER	0627	23:38:27	01:02:06	Y	1	
A0021945	A0021945	B304151	4	NO1	CB	RAP	Y				4	1270	613	74	24200	24200	0	100	0	25	0	0807	15:15	15:40	OTHER	0807	13:56:59	16:01:04	Y	1	
D0021689	D0021689	B304150	3	NO1	CB	HBC	N				4	1555	598	20	27840	27840	0	100	0	30	0	0813	10:40	11:10	OTHER	0813	10:24:45	11:54:38	Y	1	
H0021820	H0021820	B304150	6	NO1	CB	HBC	N				3	1240	764	40	21360	21360	0	100	0	19	0	0815	05:47	06:06	OTHER	0815	05:37:46	06:24:19	Y	1	
N0022221	N0022221	B304150	0	NO1	CB	RAP	N				2,9	1295	718	60	21260	21260	0	100	0	24	0	0829	22:45	23:09	OTHER	0829	22:30:14	23:32:13	Y	1	
A0022835	A0022835	B304151	2	NO1	CB	HBC	N				4	1555	529	38	26550	26550	0	100	0	14	0	0901	04:56	05:10	OTHER	0901	04:46:00	05:33:31	Y	1	
A0022607	A0022607	B304151	2	NO1	CB	RAP	N				6	1555	348	12	26090	26090	0	100	0	58	0	0904	01:58	02:56	OTHER	0904	01:58:59	03:37:22	Y	1	
A0022643	A0022643	B304151	2	NO1	CB	RAP	N				6	1555	350	31	26210	26210	0	100	0	23	0	0904	01:17	01:40	OTHER	0904	01:17:49	02:56:34	Y	1	
A0022572	A0022572	B316240	0	NO1	IC	RAP	N				6	1555	351	#	26270	26270	0	100	0	10	0	0904	01:07	01:17	OTHER	0904	00:38:53	02:14:30	Y	1	

### Anexo B: Significado de las siglas que aparecen en Supervisory en "Process Code"

WS CODE	WS DESCRIPTION	PROC CODE	PROCESS DESCRIPTION
CB1	COIL BUILD LINE 1	W1L	WELD ONE LEADER
		W2L	WELD TWO LEADERS
		TRI	CUT COIL. TRIM EDGE.
		UTC	CUT COIL. DO NOT TRIM EDGE.
		CUT	CUT SHEETS. TRIM EDGE.
		UCU	CUT SHEETS. DO NOT TRIM EDGE.
		LDR	CUT TO LEADERS
		REW	REWIND
AP1	ANNEAL AND PICKLE LINE 1	HBC	HOTBAND ANNEAL & PICKLE FOR COLD ROLL
		HDC	HOTBAND PICKLE ONLY FOR COLD ROLL
		HBN	HOTBAND ANNEAL & PICKLE FOR NO1 COIL
		APF	COLD ROLLED ANNEAL AND PICKLE FOR FINAL
		RAP	RE-ANNEAL AND PICKLE SHOTBLASTER ON
		RPC	RE-PICKLE
		SEV	SERVICE COIL
ZM1/2	SENDZIMIR MILL 1/2	CRF	COLD ROLL TO FINAL GAUGE (2D/2B)
		CRI	COLD ROLL TO INTERMEDIATE GAUGE.
		CRR	REROLLING TO FINAL GAUGE
AP2	ANNEAL AND PICKLE LINE 2	APF	COLD ROLLED ANNEAL AND PICKLE FOR FINAL
		APT	CR ANNEAL AND PICKLE (TRIMMING ONLY)
		APD	CR ANNEAL AND PICKLE (TRIM + DIVIDE)
		INC	INTERMEDIATE WITH APF
		RAP	RE-ANNEAL AND PICKLE SHOTBLASTER ON
		RPC	RE-PICKLE
		SEV	SERVICE COIL
SP1	SKIN PASS 1	SPD	SKIN PASS FOR ROLLED ON FINISH
		SPF	SKIN PASS FOR 2B FINISH
		SPN	SKIN PASS NO1 FINISH
		SP4	SKIN PASS FOR NO4 FINISH AFTER GRINDING.
		REW	REWIND COIL
GP1	GENERAL POLISH 1	1HL	HL ONE SIDE POLISH
		1N4	NO4 ONE SIDE POLISH
		1SB	SB ONE SIDE POLISH
		2HL	HL TWO SIDE POLISH
		2N4	N4 TWO SIDE POLISH
		2SB	SB TWO SIDE POLISH
		UTC	CUT COIL. DO NOT TRIM EDGE.
		REW	REWIND COIL
		CS1	COMBINATION SLITTING LINE 1
TRI	CUT COIL. TRIM EDGE.		
SLT	SLIT COIL OR MINI SLITS		
CUT	CUT SHEETS. TRIM EDGE.		
UCU	CUT SHEETS. DO NOT TRIM EDGE.		
REW	REWIND COIL		
UTC	CUT COIL. DO NOT TRIM EDGE.		
CS2	CUT TO LENGTH	CUT	CUT SHEETS. TRIM EDGE.
		UCU	CUT SHEETS. DO NOT TRIM EDGE.
		UTC	CUT COIL. DO NOT TRIM EDGE.
SL1	SLITTING LINE 1	UTC	CUT COIL. DO NOT TRIM EDGE.
		TRI	CUT COIL. TRIM EDGE.
		SLT	SLIT COIL OR MINI SLITS
		REW	REWIND COIL
SL1	SLITTING LINE 2	UTC	CUT COIL. DO NOT TRIM EDGE.
		TRI	CUT COIL. TRIM EDGE.
		SLT	SLIT COIL OR MINI SLITS
		REW	REWIND COIL
HAN	HAND INSPECTION	INS	INSPECT
		FBR	CUTTING FLAT BAR
PC1	COMBINATION PACKING LINE 1	PAK	PACK
PC2	CUT TO LENGTH PACKING LINE	PAK	PACK
PS1	SLIT PACKING LINE 1	PAK	PACK
PS2	SLIT PACKING LINE 2	PAK	PACK
PD1	AP2 DIRECT PACKING	PAK	PACK
PB1	CB1 PACKING	PAK	PACK
GFL	GENERAL FINAL LINES	BCC	TRI + UTC
		BCP	TRI + UCU, UTC + CUT
		BCS	UTC + TRI + SLT
		BTP	UCU + CUT
		TCP	TRI + CUT
		TCS	TRI + SLT
		UCP	UTC + UCU
		UCS	UTC + SLT
LOG	LOGISTIC	RCV	RECEIVE

Anexo C: Significado de las siglas que aparecen en Supervisory en "Finish"

2B	Cold rolled, heat treated, pickled & SP
2BB	Cold rolled, bright 2B finish
2D	Cold rolled, heat treated & pickled
2E	Cold rolled, heat treated & mech descale
2H	COLD ROLLED 2D,REDUCTION IN ZM(HIGH TEM)
BA	Cold rolled & bright annealed
BE	Cold rolled & annealed in controlled atm
CR	Cold Rolled but no A & P
CRMIX	CR mixed finish offcut sales
HL	Hair Line with mesh of 150-240 grain
HR	Hot Rolled Coil
HR2	Hot Rolled Coil (CHEQUERED)
NO1	Hot Rolled, heat treated and descaled
NO2	Stamped in hot rolled, A&P (CHEQUERED)
NO4	A linearly textured polished finish
NO6R	Rolled on Linearly textured finish
SB	Scotch Brite finish
SSB	Superior ScotchBrite finish

Anexo D: Tablas de peso medio en función del suministrador y ancho

Valores en diferencia de toneladas respecto a suministrador B.

Para acero 304:

Average of Mass In (MT)	Width (mm)				Total general
Supplier	1000	1220	1250	1524	
<b>Suministrador B</b>					
Suministrador A	-0,1	-0,3	-0,2	0,7	-0,8
Suministrador E		-2,2	-2,6	-4,9	-3,7
Suministrador D		-3,9		-3,2	-4,7
Suministrador C		-2,0		-3,4	-3,4
<b>Total general</b>					

Para acero 316:

Average of Mass In (MT)	Width (mm)				Total general
Supplier	1000	1220	1250	1524	
<b>Suministrador B</b>					
Suministrador A		0,0		0,1	0,0
Suministrador E		-1,8	-1,9	-4,8	-3,3
Suministrador F		-2,6	-4,6	-6,3	-5,1
Suministrador D		-1,9			-3,3
<b>Total general</b>					

Para acero 304 y espesores 3 y 4 mm:

Average of Mass In (MT)	Width (mm)				Total general
Supplier	1000	1220	1250	1524	
<b>Suministrador B</b>					
Suministrador A	-0,2	-0,3	-0,3	1,0	-0,8
<b>Total general</b>					

Para acero 304 y espesores 10-12 mm:

Average of Mass In (MT)	Width (mm)				Total general
Supplier	1000	1220	1250	1524	
<b>Suministrador B</b>					
Suministrador A		-0,3		0,5	-0,1
<b>Total general</b>					

Anexo E: Tablas de rendimiento en función del suministrador y ancho

Para material 304 (porcentajes de incremento tomando como base sumin. B):

Average of Yield Supplier	Width (mm)				Grand Total
	1000	1220	1250	1524	
Suministrador B					
Suministrador A	0,23%	0,27%	0,30%	0,05%	0,18%
Suministrador E		0,49%	0,53%	0,32%	0,41%
Suministrador D		0,66%		0,56%	0,58%
Suministrador C		0,71%		0,59%	0,63%
<b>Grand Total</b>					

Para material 316 (porcentajes de incremento tomando como base sumin. B):

Average of Yield Supplier	Width (mm)				Grand Total
	1000	1220	1250	1524	
Suministrador B					
Suministrador A		0,52%		0,52%	0,52%
Suministrador E		0,49%	0,57%	0,54%	0,53%
Suministrador F		0,59%	0,14%	0,23%	0,28%
Suministrador D		0,93%			0,95%
<b>Grand Total</b>					

Incremento porcentual de rendimiento del acero 304 respecto al 316:

Supplier	Width (mm)				Grand Total
	1000	1220	1250	1524	
Suministrador B	0,01%	0,10%	0,05%	0,29%	0,20%
Suministrador A		-0,16%		-0,18%	-0,13%
Suministrador E		0,09%	0,01%	0,07%	0,07%
Suministrador F		N/A	N/A	N/A	N/A
Suministrador D			-0,18%		-0,18%
<b>Grand Total</b>	<b>98,8</b>	<b>98,7</b>	<b>98,7</b>	<b>98,6</b>	<b>98,6</b>

**Anexo F: Tablas con grupos hechos y todos los cálculos necesarios para obtener el coste de rendimiento. Datos confidenciales no aparecen (1ª parte)**

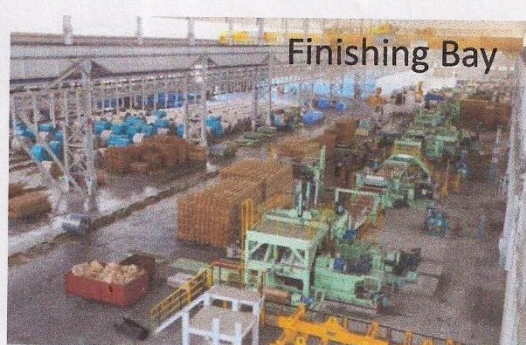
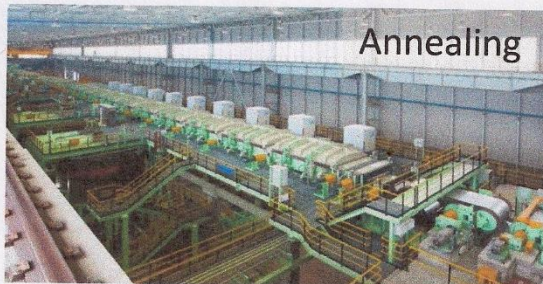
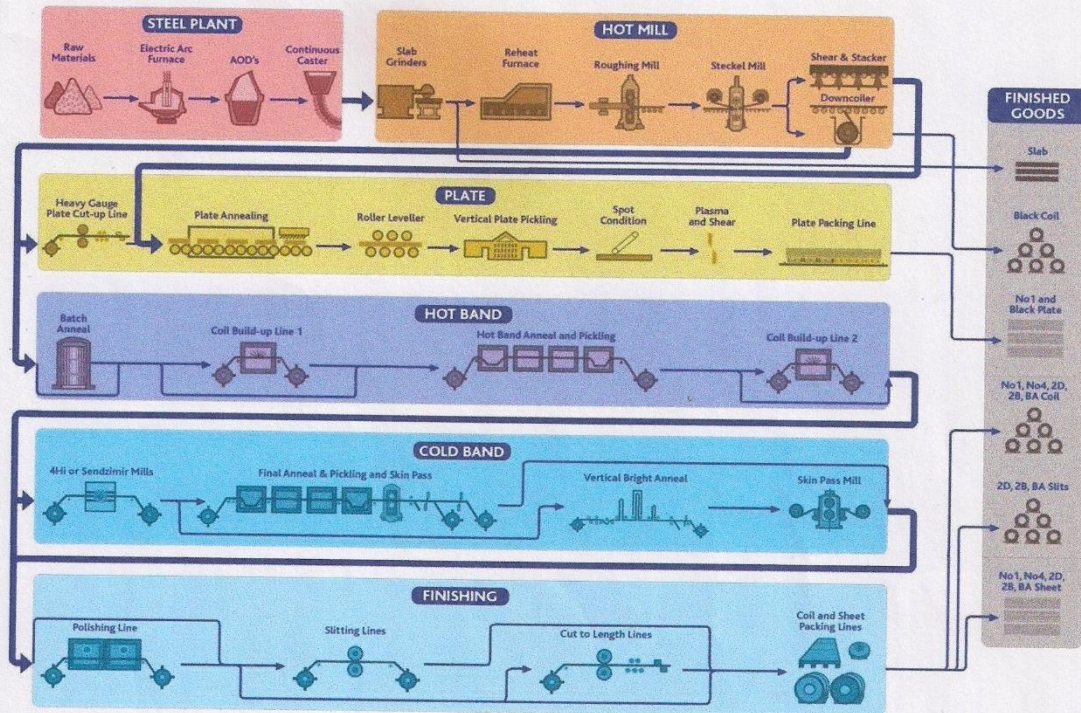
Product No	Suppliers	Type	Type Classification	Finish	GPC	Process Code	Gge Out	Gauge type	Gauge purchase	Gauge main	Width Out	Width type	Len Out	Mass In	Mass In (MT)	Mass Out	Mass Out (MT)	mass loss (Kg)	Mass Loss (MT)	Yield %
C0017278	Sumin. A	B430530	430	NO1	H1	HBN	3,04	3	3	3	1261	1220	368	10810	10,81	10650	10,65	160	0,16	98,52
C0017279	Sumin. A	B430530	430	NO1	C2	HBC	3,04	3	3	3	1261	1220	391	11370	11,37	11230	11,23	140	0,14	98,77
A0019121	Sumin. B	B304151	304	NO1	CB	HDC	3	3	3	3	1240	1220	395	11590	11,59	11410	11,41	180	0,18	98,45
A0020996	Sumin. B	B316240	316	NO1	CB	HBC	6	6	6	5-7	1555	1524	181	13460	13,46	13350	13,35	110	0,11	99,18
A0019132	Sumin. B	B304151	304	NO1	1C	HBN	3	3	3	3	1555	1524	371	13630	13,63	13380	13,38	250	0,25	98,17
A0018649	Sumin. B	B304151	304	NO1	1C	HBN	3	3	3	3	1555	1524	373	13720	13,72	13500	13,5	220	0,22	98,4
A0017650	Sumin. B	B316240	316	NO1	CB	HBC	8	8	8	8-9	1240	1220	172	13970	13,97	13540	13,54	430	0,43	96,92
A0019788	Sumin. B	B304151	304	NO1	CB	HBC	8	8	8	8-9	1270	1250	176	14270	14,27	14030	14,03	240	0,24	98,32
A0017773	Sumin. B	B316240	316	NO1	H1	HBN	6	6	6	5-7	1555	1524	192	14380	14,38	14110	14,11	270	0,27	98,12
A0017639	Sumin. B	B304151	304	NO1	CB	HDC	3	3	3	3	1270	1250	501	14680	14,68	14430	14,43	250	0,25	98,3
A0018147	Sumin. B	B304151	304	NO1	1C	HBN	6	6	6	5-7	1555	1524	201	14850	14,85	14570	14,57	280	0,28	98,11
A0019794	Sumin. B	B316240	316	NO1	H1	HBN	4	4	4	4	1240	1220	392	15160	15,16	14910	14,91	250	0,25	98,35
A0017648	Sumin. B	B316240	316	NO1	H1	HBN	6	6	6	5-7	1240	1220	259	15230	15,23	14930	14,93	300	0,3	98,03
A0025222	Sumin. B	B310350	310	NO1	1C	HBN	6	6	6	5-7	1240	1220	268	15520	15,52	15410	15,41	110	0,11	99,29
A0017295	Sumin. B	B304151	304	NO1	CB	HBC	5,65	6	6	5-7	1240	1220	282	15740	15,74	15550	15,55	190	0,19	98,79
J0022092	Sumin. F	B316240	316	NO1	H1	HBN	4	4	4	4	1270	1250	405	16040	16,04	15930	15,93	110	0,11	99,31
J0022084	Sumin. F	B316240	316	NO1	H1	HBN	3	3	3	3	1270	1250	553	16420	16,42	16150	16,15	270	0,27	98,36
J0022095	Sumin. F	B316240	316	NO1	H1	HBN	4	4	4	4	1270	1250	417	16560	16,56	16450	16,45	110	0,11	99,34
J0019380	Sumin. F	B316240	316	NO1	1C	HBN	3	3	3	3	1555	1524	458	16610	16,61	16290	16,29	320	0,32	98,07
J0022094	Sumin. F	B316240	316	NO1	H1	HBN	4	4	4	4	1270	1250	419	16630	16,63	16380	16,38	250	0,25	98,5
N0022122	Sumin. E	B304150	304	NO1	H1	HBN	4,902	4,9	5	5-7	1259,89	1220	334	16680	16,68	16470	16,47	210	0,21	98,74
C0017743	Sumin. A	B430530	430	NO1	H1	HBN	3,023	3	3	3	939	1000	784	16790	16,79	16490	16,49	300	0,3	98,21
A0018108	Sumin. B	B304151	304	NO1	CB	HBC	9	9	9	8-9	1240	1220	186	16790	16,79	16540	16,54	250	0,25	98,51
C0018132	Sumin. A	B430530	430	NO1	C2	HBC	3,014	3	3	3	1013	1000	775	16900	16,9	16620	16,62	280	0,28	98,34
C0017741	Sumin. A	B430530	430	NO1	H1	HBN	3,02	3	3	3	946	1000	784	16910	16,91	16640	16,64	270	0,27	98,4
C0017734	Sumin. A	B430530	430	NO1	C2	HBC	3,016	3	3	3	946	1000	789	16930	16,93	16670	16,67	260	0,26	98,46
J0020973	Sumin. F	B316240	316	NO1	H1	HBN	3	3	3	3	1555	1524	466	16970	16,97	16740	16,74	230	0,23	98,64
J0022086	Sumin. F	B316240	316	NO1	H1	HBN	3	3	3	3	1270	1250	569	17020	17,02	16750	16,75	270	0,27	98,41
C0017735	Sumin. A	B430530	430	NO1	C2	HBC	3,016	3	3	3	949	1000	793	17040	17,04	16820	16,82	220	0,22	98,71
C0017739	Sumin. A	B430530	430	NO1	C2	HBC	3,019	3	3	3	952	1000	790	17050	17,05	16820	16,82	230	0,23	98,65
C0017736	Sumin. A	B430530	430	NO1	C2	HBC	3,017	3	3	3	941	1000	790	17180	17,18	16920	16,92	260	0,26	98,49
C0017534	Sumin. A	B409800	409	NO1	CD	HBC	3,579	3,5	3,5	4	1251	1220	509	17200	17,2	16920	16,92	280	0,28	98,37
C0020682	Sumin. A	B304151	304	NO1	CB	HBC	3,023	3	3	3	950	1000	768	17200	17,2	17030	17,03	170	0,17	99,01
C0025243	Sumin. A	B409800	409	NO1	CD	HBC	4	4	4	4	1286	1250	432	17300	17,3	17120	17,12	180	0,18	98,96
J0019379	Sumin. F	B316240	316	NO1	1C	HBN	3	3	3	3	1555	1524	478	17390	17,39	17090	17,09	300	0,3	98,27
J0020970	Sumin. F	B316240	316	NO1	H1	HBN	3	3	3	3	1555	1524	477	17390	17,39	17160	17,16	230	0,23	98,68
C0019109	Sumin. A	B430530	430	NO1	CB	HBC	3,017	3	3	3	1022	1000	755	17400	17,4	17120	17,12	280	0,28	98,39
J0019378	Sumin. F	B316240	316	NO1	1C	HBN	3	3	3	3	1555	1524	479	17410	17,41	17130	17,13	280	0,28	98,39
H0020126	Sumin. C	B304120	304	NO1	CB	HBC	6	6	6	5-7	1240	1220	306	17510	17,51	17340	17,34	170	0,17	99,03
C0019095	Sumin. A	B430530	430	NO1	C2	HBC	3,014	3	3	3	1021	1000	758	17520	17,52	17250	17,25	270	0,27	98,46
C0025196	Sumin. A	B409800	409	NO1	CD	HBC	3,023	3	3	3	1260	1220	612	17540	17,54	17300	17,3	240	0,24	98,63
H0020125	Sumin. C	B304120	304	NO1	CB	HBC	6	6	6	5-7	1240	1220	307	17540	17,54	17370	17,37	170	0,17	99,03
J0019377	Sumin. F	B316240	316	NO1	1C	HBN	3	3	3	3	1555	1524	484	17550	17,55	17260	17,26	290	0,29	98,35
A0023861	Sumin. B	B304151	304	NO1	CB	HBC	5	5	5	5-7	1555	1524	279	17570	17,57	17410	17,41	160	0,16	99,09
C0018585	Sumin. A	B304120	304	NO1	CB	HBC	3,024	3	3	3	950	1000	794	17590	17,59	17310	17,31	280	0,28	98,41
C0018608	Sumin. A	B304120	304	NO1	CB	HBC	3,024	3	3	3	945	1000	795	17600	17,6	17340	17,34	260	0,26	98,52
C0018584	Sumin. A	B304120	304	NO1	CB	HBC	3,024	3	3	3	951	1000	796	17600	17,6	17370	17,37	230	0,23	98,69
C0018586	Sumin. A	B304120	304	NO1	CB	HBC	3,025	3	3	3	951	1000	796	17610	17,61	17290	17,29	320	0,32	98,18
C0018610	Sumin. A	B304120	304	NO1	H1	HBN	3,026	3	3	3	951	1000	797	17630	17,63	17360	17,36	270	0,27	98,47
H0020111	Sumin. C	B304120	304	NO1	CB	HBC	4	4	4	4	1240	1220	472	17695	17,695	17530	17,53	165	0,165	99,07
D0024514	Sumin. D	B304150	304	NO1	H1	HBN	5	5	5	5-7	1240	1220	360	17700	17,7	17510	17,51	190	0,19	98,93
C0020466	Sumin. A	B304151	304	NO1	CB	HBC	3,023	3	3	3	958	1000	789	17760	17,76	17540	17,54	220	0,22	98,76
C0020467	Sumin. A	B304151	304	NO1	CB	HBC	3,024	3	3	3	963	1000	787	17800	17,8	17530	17,53	270	0,27	98,48
C0018609	Sumin. A	B304120	304	NO1	CB	HBC	3,025	3	3	3	957	1000	794	17850	17,85	17580	17,58	270	0,27	98,49

(2º parte)

Scrap 1m (MT)	% scrap out of mass out	IL (MT)	% IL out of mass out	Family	Cost of black coil (\$/MT)	Cost of scrap (\$/MT)	Cost of IL (\$/MT)	Cost of mass out (\$/MT)	Coste de rendimiento (\$/Mt)	% coste de rendimiento respecto total	Coste de rendimiento (\$)	Quality 1 (% of surface)	Scrap	Dev Mins	Std Mins
0,0303	18,9276	0,1297	81,0724	Ferritic	900	235	0	913	13	1,4%	137		0		
0,0303	21,6316	0,1097	78,3684	Ferritic	900	235	0	911	11	1,2%	119		0		
0,0294	16,3267	0,1506	83,6733	Austenitic	1350	894	0	1369	19	1,4%	216		0		
0,0737	67,0064	0,0363	32,9936	Molybdenum	2040	1320	0	2050	10	0,5%	128		0		
0,0369	14,7414	0,2131	85,2586	Austenitic	1350	894	0	1373	23	1,7%	304		0		
0,0369	16,7516	0,1831	83,2484	Austenitic	1350	894	0	1370	20	1,4%	263		0		
0,0784	18,2251	0,3516	81,7749	Molybdenum	2040	1320	0	2097	57	2,7%	774		0		
0,0803	33,4433	0,1597	66,5567	Austenitic	1350	894	0	1368	18	1,3%	252		0		
0,0737	27,2989	0,1963	72,7011	Molybdenum	2040	1320	0	2072	32	1,6%	454		0		
0,0301	12,0396	0,2199	87,9604	Austenitic	1350	894	0	1371	21	1,6%	310		0		
0,0737	26,3239	0,2063	73,6761	Austenitic	1350	894	0	1371	21	1,6%	313		0		
0,0392	15,6736	0,2108	84,3264	Molybdenum	2040	1320	0	2071	31	1,5%	459		0		
0,0588	19,5920	0,2412	80,4080	Molybdenum	2040	1320	0	2076	36	1,7%	534		0		
0,0588	53,4327	0,0512	46,5673	Austenitic	2900	894	0	2917	17	0,6%	267		0		
0,0553	29,1302	0,1347	70,8698	Austenitic	1350	894	0	1363	13	1,0%	208		0		
0,0401	36,4836	0,0699	63,5164	Molybdenum	2040	1320	0	2051	11	0,5%	173		0		
0,0301	11,1478	0,2399	88,8522	Molybdenum	2040	1320	0	2072	32	1,5%	510		0		
0,0401	36,4836	0,0699	63,5164	Molybdenum	2040	1320	0	2050	10	0,5%	170		0		
0,0369	11,5167	0,2831	88,4833	Molybdenum	2040	1320	0	2077	37	1,8%	605		0		
0,0401	16,0528	0,2099	83,9472	Molybdenum	2040	1320	0	2068	28	1,3%	456		0		
0,0488	23,2335	0,1612	76,7665	Austenitic	1350	894	0	1365	15	1,1%	240		0		
0,0224	7,4750	0,2776	92,5250	Ferritic	900	235	0	916	16	1,8%	265		0		
0,0882	35,2656	0,1618	64,7344	Austenitic	1350	894	0	1366	16	1,1%	259		0		
0,0241	8,6143	0,2559	91,3857	Ferritic	900	235	0	915	15	1,6%	247		0		
0,0226	8,3591	0,2474	91,6409	Ferritic	900	235	0	914	14	1,6%	238		0		
0,0225	8,6691	0,2375	91,3309	Ferritic	900	235	0	914	14	1,5%	229		0		
0,0369	16,0233	0,1931	83,9767	Molybdenum	2040	1320	0	2065	25	1,2%	422		0		
0,0301	11,1478	0,2399	88,8522	Molybdenum	2040	1320	0	2071	31	1,5%	512		0		
0,0226	10,2778	0,1974	89,7222	Ferritic	900	235	0	911	11	1,3%	193		0		
0,0227	9,8719	0,2073	90,1281	Ferritic	900	235	0	912	12	1,3%	202		0		
0,0224	8,6262	0,2376	91,3738	Ferritic	900	235	0	913	13	1,5%	228		0		
0,0354	12,6325	0,2446	87,3675	Ferritic	850	235	0	864	14	1,6%	230		0		
0,0227	13,3457	0,1473	86,6543	Austenitic	1350	894	0	1362	12	0,9%	210		0		
0,0406	22,5764	0,1394	77,4236	Ferritic	850	235	0	858	8	1,0%	143		0		
0,0369	12,2845	0,2631	87,7155	Molybdenum	2040	1320	0	2073	33	1,6%	565		0		
0,0369	16,0233	0,1931	83,9767	Molybdenum	2040	1320	0	2064	24	1,2%	420		0		
0,0244	8,6995	0,2556	91,3005	Ferritic	900	235	0	914	14	1,6%	246		0		
0,0369	13,1620	0,2431	86,8380	Molybdenum	2040	1320	0	2071	31	1,5%	523		0		
0,0588	34,5741	0,1112	65,4259	Austenitic	1350	894	0	1360	10	0,7%	177		0		
0,0243	9,0039	0,2457	90,9961	Ferritic	900	235	0	914	14	1,5%	237		0		
0,0301	12,5379	0,2099	87,4621	Ferritic	850	235	0	861	11	1,3%	197		0		
0,0588	34,5741	0,1112	65,4259	Austenitic	1350	894	0	1360	10	0,7%	177		0		
0,0369	12,7081	0,2531	87,2919	Molybdenum	2040	1320	0	2071	31	1,5%	542		0		
0,0614	38,3891	0,0986	61,6109	Austenitic	1350	894	0	1359	9	0,7%	161		0		
0,0227	8,1054	0,2573	91,8946	Austenitic	1350	894	0	1371	21	1,5%	357		0		
0,0226	8,6830	0,2374	91,3170	Austenitic	1350	894	0	1369	19	1,4%	331		0		
0,0227	9,8778	0,2073	90,1222	Austenitic	1350	894	0	1367	17	1,2%	291		0		
0,0227	7,1020	0,2973	92,8980	Austenitic	1350	894	0	1374	24	1,7%	412		0		
0,0227	8,4200	0,2473	91,5800	Austenitic	1350	894	0	1370	20	1,4%	344		0		

Anexo G: Proceso de Producción del Acero Inoxidable

### 3. Process Flow of Stainless Steel Making





**Anexo I: Tabla de tipos de aceros y espesores producidos en Bahru Stainless**

**4. Products Range**

**Products Range For Hot-Rolled Products (No. 1)**

Grade	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	
201	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
304	Red	Red	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
304L	Red	Red	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
321	Red	Red	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
316L	Red	Red	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
310	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
409	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
429	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
430	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
439	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
441	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
410S	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
436	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red

**Products Range for Cold-Rolled Products (2B, 2BB, 2D, No. 4, SB, HL)**

Grade	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	
201	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
304	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
304L	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
321	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
316L	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
310	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
409	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
429	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
430	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
439	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
441	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
410S	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
436	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red

■ High Volume Products    
 ■ Medium Volume Products    
 ■ Currently Not Available

## Anexo J: Propiedades Mecánicas y Químicas que Deben Cumplir los Aceros

### 5. Mechanical & Chemical Properties

#### Mechanical Properties

Classification		Code			Mechanical Properties			
		AISI	EN	Bahru Stainless	Min. Yield Strength (MPa)	Min. Tensile Strength (MPa)	Min. Elongation (%)	Max. HRB Hardness
Semi-Austenitic		201	-	B201064	325	650	40	98
Austenitic	Cr-Ni	304	1.4301	B304120	205	515	40	92
		304L	1.4307	B304150	170	485	40	92
				B304151	170	485	40	92
		321	1.4541	B321315	205	515	40	95
	Cr-Ni-Mo	316L	1.4404	B316240	170	485	40	95
		309S	1.4833	B309340	205	515	40	95
		Heat Resistant	310	1.4845	B310350	205	515	40
Ferritic	Standard		409	1.4512	B409800	170	380	20
		429	-	B429820	205	450	22	89
		430	1.4016	B430500	205	450	22	89
		439	1.4510	B439515	205	415	22	89
		441	1.4509	B441845	250	430	18	88
		444	1.4521	B444555	275	415	20	96
	Utility	410S	-	B410420	205	415	22	89
	Moly	436	1.4526	B436550	240	450	22	89

#### Chemical Properties

AISI	Chemical Composition (%)									
	C	Cr	Ni	Mo	Si	Mn	P	S	N	Ti Ratio
201	0.8 - 0.9	13.4 - 15.0	1.2 - 1.6	-	0.35 - 0.70	9.4-10.5	0.080	0.015	0.1 - 0.2	-
304	0.07	17.5 - 19.5	8 - 10.5	-	0.75	2.0	0.045	0.030	1.0	
304L	0.03	17.5 - 19.5	8 - 12	-	0.75	2.0	0.045	0.030	0.1	
321	0.08	17.0 - 19.0	9 - 12	-	0.75	2.0	0.045	0.030	0.1	
316L	0.08	16.0 - 18.0	10 - 14	2.00 - 3.00	0.75	2.0	0.045	0.030	0.1	
309S	0.08	22.0 - 24.0	12 - 15	-	0.75	2.0	0.045	0.03	-	
310	0.08	24.0 - 26.0	19 - 22	-	1.50	2.0	0.045	0.030	-	
409	0.03	10.5 - 11.7	0.500	-	1.00	1.0	0.040	0.020	0.0	Ti:6x(C+N) 0.5
429	0.12	14 - 16	-	-	1.00	1.0	0.040	0.030	-	
430	0.12	16.0 - 18.0	0.750	-	1.00	1.0	0.040	0.030	-	
439	0.03	17.0 - 19.0	0.500	-	1.00	1.0	0.040	0.030	0.0	Ti:0.15+4(C+N)
441	0.03	17.5 - 18.5	-	-	1.00	1.0	0.040	0.015	-	
444	0.025	17.5 - 19.0	1.00	1.75 - 2.50	1.00	1.00	0.04	0.030	0.035	Ti+Nb:[0.2+4(C+N)]
410S	0.08	11.5 - 13.5	0.600	-	1.00	1.0	0.040	0.030	-	
436	0.12	16.0 - 18.0	-	0.75 - 1.25	1.00	1.0	0.040	0.030	-	

\*Compositions are range or maximum values.

## Mechanical Standards For Stainless Steel

### ASTM A240 Standard

	Yield Strength (MPa)		Tensile Strength (MPa)		Elongation (%)		HRB Hardness	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
304	205	-	515	-	40	-	92	-
304L	170	-	485	-	40	-	92	-
316L	170	-	485	-	40	-	95	-
321	205	-	515	-	40	-	95	-
409L	170	-	380	-	20	-	88	-
430	205	-	450	-	22	-	89	-
439	205	-	415	-	22	-	88	-
441	250	-	430	-	18	-	88	-

### Acerinox Spain Standard

	Yield Strength (MPa)		Tensile Strength (MPa)		Elongation (%)		HRB Hardness	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
304	230	720	540	720	45	92	92	92
304L	220	700	520	700	45	92	92	92
316L	240	670	530	670	45	95	95	95
321	220	700	520	700	45	95	95	95
310	205	700	515	700	40	95	95	95
430	280	600	450	600	22	87	87	87
409L	220	560	380	560	25	87	87	87
441	250	630	430	630	18	87	87	87

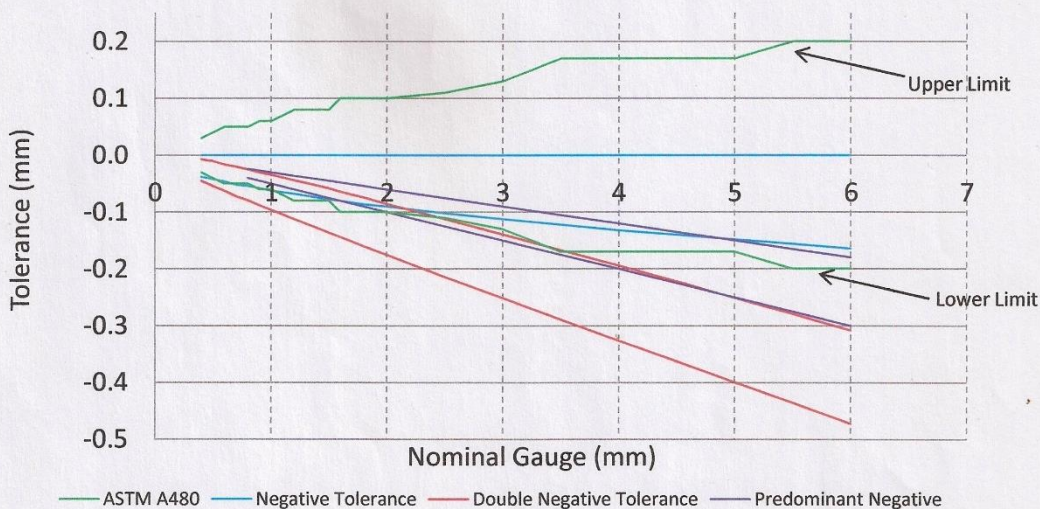
Average Chemical Composition According To Grades

	C	S	P	M/N	SI	CR	NI	MO	N	TI	NB	CU	B	CO	V	SN
B201064	0.07300	0.00550	0.03700	9.42000	0.50500	13.65500	1.35000	-	0.12650	-	-	0.80500	-	-	-	-
B201065	0.07250	0.00450	0.03125	9.51000	0.33000	14.45250	1.02750	-	0.12250	-	-	1.53750	-	-	-	-
B301110	0.09733	0.00100	0.02850	1.66402	0.45517	17.24017	6.62750	0.14333	0.04717	0.00440	0.02140	0.62483	0.00100	0.09500	0.09940	0.01380
B304120	0.04413	0.00352	0.03327	1.04000	0.40895	18.19998	8.05873	0.04067	0.05045	-	-	0.14004	-	-	-	-
B304150	0.02101	0.00306	0.03044	1.08424	0.39205	18.21957	8.05988	0.06055	0.05554	0.00442	-	0.15918	-	-	-	-
B304151	0.02273	0.00234	0.02891	1.59941	0.37113	18.10991	8.02938	0.19763	0.07286	0.00667	0.00836	0.25997	0.00239	0.12959	0.10167	0.01332
B304160	0.03300	0.00100	0.03500	1.28000	0.35000	17.73000	8.30000	0.26700	0.04800	0.00400	0.00900	0.49200	0.00100	0.18300	0.09700	0.01400
B304181	0.04000	0.00100	0.03100	1.30300	0.37800	17.71000	8.91500	0.43100	0.03200	0.00500	0.02000	0.37700	0.00100	0.14800	0.09300	0.01200
B310350	0.04600	0.00162	0.02220	1.63209	0.54191	24.26360	19.11822	0.10898	0.02706	0.00389	0.00342	0.10038	0.00400	0.07618	0.12402	0.01053
B316240	0.02092	0.00174	0.02990	1.33245	0.39479	16.61887	10.03986	2.02686	0.04199	0.01377	0.01300	0.28404	0.00402	0.15242	0.08739	0.00801
B321315	0.02416	0.00103	0.02958	1.11147	0.52553	17.08758	9.07500	0.26011	0.01729	0.32163	0.00795	0.32895	0.00087	0.16616	0.10405	0.01374
B409800	0.01013	0.00128	0.02166	0.45745	0.59936	11.17771	0.11948	0.01164	0.01073	0.19399	0.00158	0.08277	0.00051	0.01117	0.08680	0.01408
B410420	0.01539	0.00161	0.02239	0.58839	0.37129	11.69806	0.21032	0.01977	0.01076	0.01755	0.00206	0.08645	0.00357	0.01581	0.08581	0.01242
B429820	0.01000	0.00300	0.03600	1.10000	0.91000	13.89000	0.18000	-	0.00700	-	0.38000	0.10000	-	-	-	-
B430500	0.02705	0.00104	0.02330	0.37816	0.42805	16.50191	0.23195	0.01409	0.03290	0.00600	0.00427	0.09930	0.00091	0.01977	0.11166	0.01327
B430530	0.04217	0.00102	0.02255	0.44388	0.44191	16.15409	0.14637	0.00910	0.04066	0.00240	0.00292	0.07346	0.00229	0.02041	0.11475	0.01437
B436550	0.01080	0.00188	0.02340	0.33600	0.32600	17.17000	0.17600	0.89500	0.01380	0.11660	0.25820	0.07333	0.00053	0.02000	0.12333	0.01167
B439515	0.01278	0.00189	0.02535	0.43610	0.46342	17.20051	0.15581	0.01085	0.01611	0.16059	0.37137	0.07578	0.00045	0.02683	0.11966	0.01516
B441845	0.01226	0.00160	0.02368	0.47495	0.49824	18.09060	0.15780	0.01374	0.01800	0.14797	0.40472	0.06495	0.00045	0.03000	0.12731	0.01442

**Anexo K: Tolerancias Dimensionales Admisibles del Acero**

## 6. Dimensional Tolerances

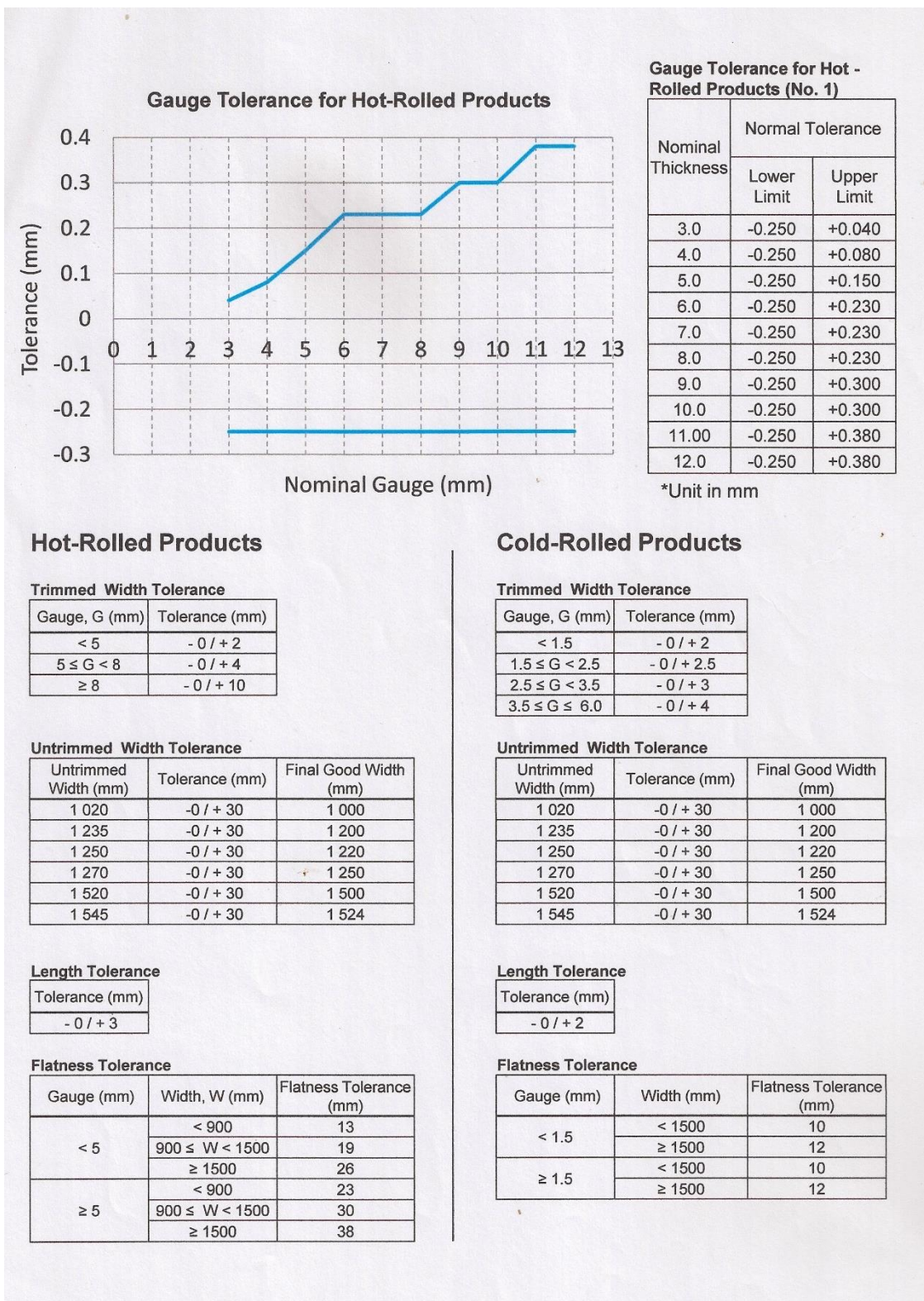
**Gauge Tolerance for Cold-Rolled Products**



**Gauge Tolerance for Cold-Rolled Products (2B, 2BB, 2D, No. 4, SB, HL)**

Nominal Thickness	ASTM A480		Negative Tolerance		Double Negative Tolerance		Predominant Negative Tolerance	
	Lower Limit	Upper Limit	Lower Limit	Upper Limit	Lower Limit	Upper Limit	Lower Limit	Upper Limit
0.4	-0.030	+0.030	-0.038	0.000	-0.045	-0.007	-	-
0.5	-0.040	+0.040	-0.042	0.000	-0.054	-0.010	-	-
0.6	-0.050	+0.050	-0.046	0.000	-0.062	-0.016	-	-
0.7	-0.050	+0.050	-0.052	0.000	-0.072	-0.020	-	-
0.8	-0.050	+0.050	-0.054	0.000	-0.079	-0.025	-0.040	-0.024
0.9	-0.060	+0.060	-0.058	0.000	-0.088	-0.030	-0.045	-0.027
1.0	-0.060	+0.060	-0.062	0.000	-0.096	-0.034	-0.050	-0.030
1.2	-0.080	+0.080	-0.068	0.000	-0.112	-0.044	-0.060	-0.036
1.5	-0.080	+0.080	-0.078	0.000	-0.136	-0.058	-0.075	-0.045
1.6	-0.100	+0.100	-0.080	0.000	-0.144	-0.064	-0.080	-0.048
1.8	-0.100	+0.100	-0.086	0.000	-0.160	-0.074	-0.090	-0.054
2.0	-0.100	+0.100	-0.090	0.000	-0.175	-0.085	-0.100	-0.060
2.5	-0.110	+0.110	-0.102	0.000	-0.214	-0.112	-0.125	-0.075
3.0	-0.130	+0.130	-0.112	0.000	-0.251	-0.139	-0.150	-0.090
3.5	-0.170	+0.170	-0.122	0.000	-0.289	-0.167	-0.175	-0.105
4.0	-0.170	+0.170	-0.132	0.000	-0.326	-0.194	-0.200	-0.120
4.5	-0.170	+0.170	-0.140	0.000	-0.362	-0.222	-0.225	-0.135
5.0	-0.170	+0.170	-0.148	0.000	-0.399	-0.251	-0.250	-0.150
5.5	-0.200	+0.200	-0.156	0.000	-0.435	-0.279	-0.275	-0.165
6.0	-0.200	+0.200	-0.164	0.000	-0.472	-0.308	-0.300	-0.180

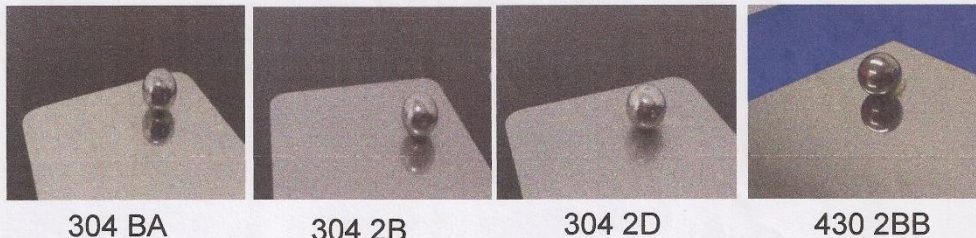
\*Unit in mm



Anexo L: Tipos de Acabados Superficiales y Disponibilidad en Bahru

## 7. Surface Finishes

Finishes	Description
NO. 1 / 1D	Hot rolled, heat treated and descaled. Suitable when smoothness and uniformity of finish are not important.
2D	Cold rolled, heat treated and pickled. Dull, smooth finish. Suitable for forming applications.
2B	Cold rolled, heat treated and pickled. Bright and smoother finish than 2D (obtained by skin passing or tension levelling).
2BB	The bright pickled 2BB surface is a mirror surface finish, providing an alternative to Bright Annealed (BA) finishes on most of the applications where a smooth surface and a bright appearance are needed.
No. 4	A linearly textured polished finish, one or both sides, typically using 180 to 240 grit polishing belts, with a transverse Ra <1mm.
SB	Scotch Brite finish, one or both sides, with a transverse Ra <0.5mm.
HL	Hairline, a brushed stainless steel with a two-step abrasive polished finish with superior matching characteristics.



304 BA

304 2B

304 2D

430 2BB

### Grades and Surface Finishes Availability

	NO. 1	2D	2B	2BB	No. 4	SB	HL
201	-	-	✓	-	-	-	-
304	-	-	✓	-	✓	✓	✓
304L	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
321	✓	-	✓	-	-	-	-
316L	✓	✓	✓	-	✓	-	-
310	✓	✓	✓	-	-	-	-
409	✓	✓	✓	-	-	-	-
429	-	-	✓	-	-	-	-
430	-	-	✓	✓	✓	-	-
439	✓	✓	✓	-	-	-	-
441	✓	✓	✓	-	-	-	-
410S	✓	-	✓	-	-	-	-
436	-	-	✓	-	-	-	-

**Anexo M: Aplicaciones de los Distintos Tipos de Acero**

Grade	Properties						Applications	
	Strength	Toughness	Ductility	Formability	Weldability	Corrosion Resistance		Pitting Resistance
201	★★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	Low cost alternative to 304, good low temperature properties, Cu added to compensate for the high work-hardening rate, kitchenware.
304	★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★	★★	Cookware, sinks, cutlery, catering equipment, hospitals, food and beverage, abattoirs, pharmaceutical, oil & gas, cryogenic as well as pipe work, tanks and process vessels for a large variety of corrosive liquids.
304L	★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★	★★	Cookware, sinks, cutlery, hospital, food, beverage, pharmaceutical, oil & gas, cryogenic, vessel for large variety of corrosive liquids.
321	★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★	★★	Furnace components, equipment exposed to elevated temperature and/or aqueous cycles.
316L	★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★	★★★	Environments containing chlorides and in polluted marine environments, desalination, pipe work, tanks, process vessels for more aggressive corrosive liquids and conditions in chemical, petrochemical, pulp & paper, pollution control, hydrometallurgical and petroleum industries.
309S	★★★	★★	★★	★★	★★	★★★	★★★	Excellent corrosion and heat resistance. Used as furnace parts, heat exchangers, aircraft parts, heating elements, kiln liners, boiler baffles and auto exhaust parts.
310	★★★	★★	★★	★★	★★	★★★	★★★	Excellent resistant to high temperature oxidation, spalling, carburization, ammonia atmospheres, furnace, radiant tubes, ammonia converters.
409	★★	★	★★	★★★★	★	★★	★★	Automotive exhaust pipes, silencers and catalytic converters.
429	★★	★	★★	★★	★	★★	★★	Automotive exhaust pipes.
430	★★	★	★★	★★★★	★	★★	★★	Sinks, wash troughs, urinals, toilets, trim for domestic equipment, kitchen and cafeteria utensils and cutlery, coinage, roofing and cladding.
439	★★	★	★★★★	★★★★	★	★★	★★	Difficult to form components e.g. exhaust system components, evaporator tube in the sugar industry, domestic appliances, geysers and heat exchanger tubing.
441	★★	★	★★	★★★★	★	★★	★★	Catalytic converters for more arduous conditions than 409 (near exhaust manifold), heat exchangers, tubes, geysers, burners and evaporator tube in the sugar industry.
444	★★★	★★	★★	★★★	★★	★★★	★★★	Applications requiring superior corrosion resistance and resistance to chloride stress corrosion cracking are ideal for this alloy. Current uses include food processing, brewery and wine-making equipment; hot-water tanks and heat exchanger tubing and automotive components
410S	★★	★	★★	★★★★	★	★★	★★	Automotive exhaust pipes, cutlery.
436	★★	★★	★★	★★	★★	★★	★★	Better weldability due to Nb and sensitization resistance, improved creep resistance, auto exhaust systems, domestic appliances, cladding.

★ Low

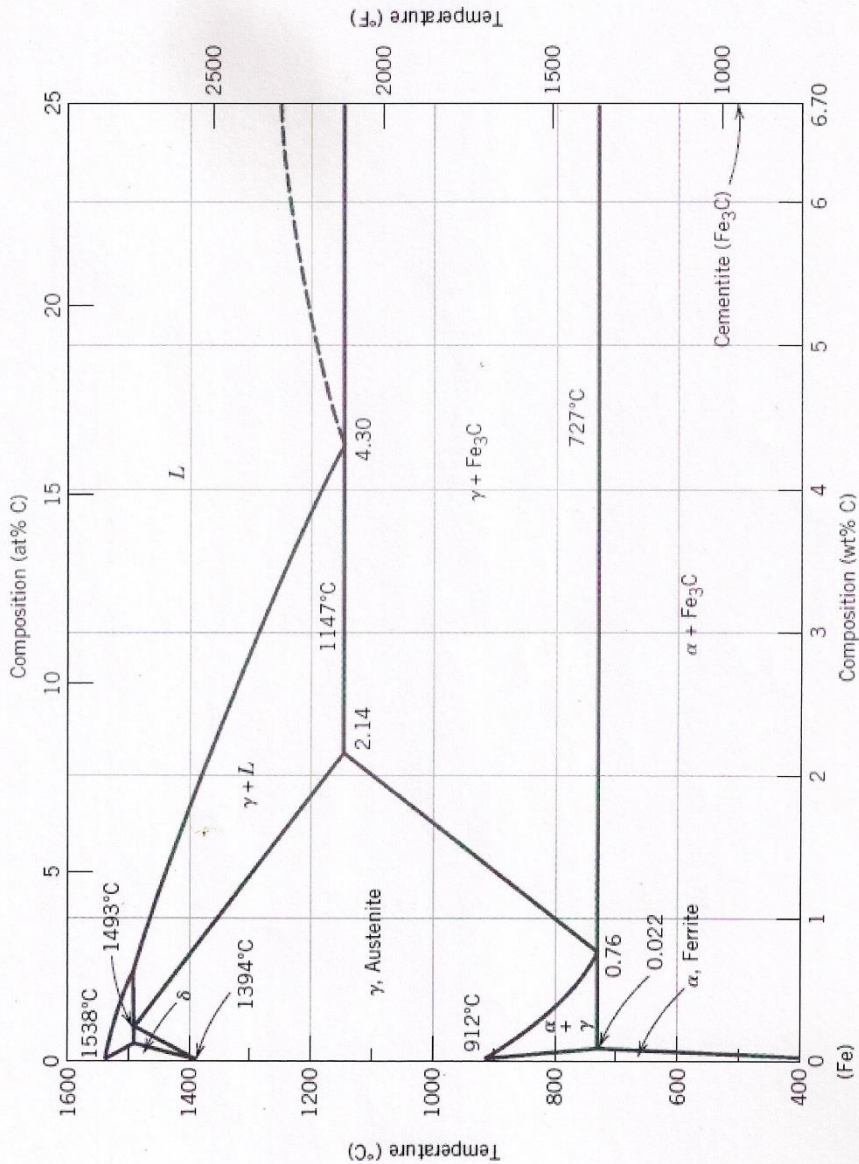
★★ Fair

★★★ Good

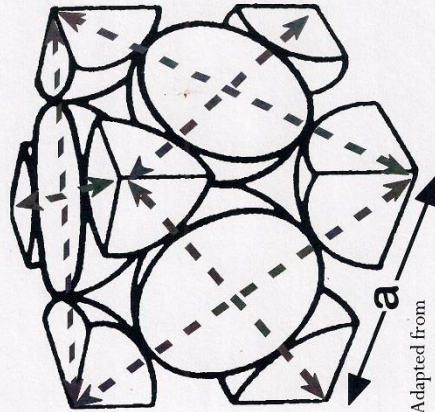
★★★★ Excellent

Anexo N: Diagrama de Fases Hierro-Carbono y Estructura de la Austenita y Ferrita

# Iron Iron-Carbide Phase Diagram



# Austenitic (Face Center Cubic)



Adapted from  
Fig. 3.1(a),  
Callister 6e.

Close-packed directions:  
length =  $4R$   
 $= \sqrt{2} a$

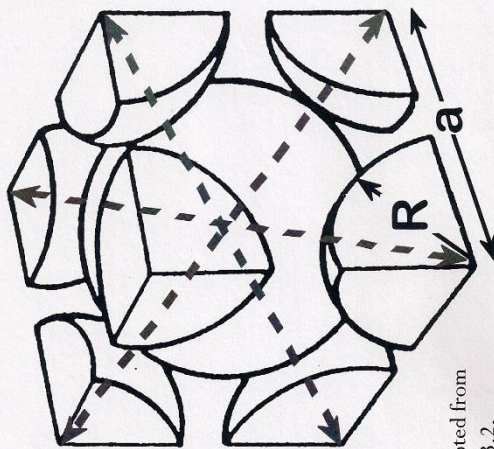
Unit cell contains:  
 $6 \times 1/2 + 8 \times 1/8$   
 $= 4$  atoms/unit cell

$$\text{APF} = \frac{\frac{\text{atoms}}{\text{unit cell}} \cdot \frac{\text{volume}}{\text{atom}}}{\frac{\text{volume}}{\text{unit cell}}}$$

$$\text{APF} = \frac{4 \cdot \frac{4}{3} \pi \left(\frac{\sqrt{2}a}{4}\right)^3}{a^3}$$

- APF for a body-centered cubic structure =  $\pi / (3\sqrt{2}) = 0.74$

# Ferritic (Body Center Cubic)



Adapted from  
Fig. 3.2,  
Callister 6e.

Close-packed directions:  
length =  $4R$   
 $= \sqrt{3} a$

Unit cell contains:  
 $1 + 8 \times 1/8$   
 $= 2$  atoms/unit cell

$$APF = \frac{\text{atoms/unit cell} \times \frac{4}{3} \pi \left(\frac{\sqrt{3}a}{4}\right)^3}{a^3} = \frac{\text{volume atom}}{\text{volume unit cell}}$$

- APF for a body-centered cubic structure =  $\pi\sqrt{3}/8 = 0.68$

Anexo Ñ: Tabla de productividad (no completa) de la línea AP1 caliente

Acero	Espesor (mm)	Ancho (pies)	Hourly Prod. (ton/h)	Hourly Prod. Teo (ton/h)	Porcentaje Real/Teórico	Toneladas 2 años	Tiempo usado 1 año (horas)	Acero	Espesor (mm)	Ancho (pies)	Hourly Prod. (ton/h)	Hourly Prod. Teo (ton/h)	Porcentaje Real/Teórico	Toneladas 2 años	Tiempo usado 1 año (horas)
201	2,0	3	0	78,5	0,0%		0	304L	2	3	33,09	78,50	42,2%	131,26	1,983093303
201	2,5	3	0	98,1	0,0%		0	304L	2,5	3	0,00	98,10	0,0%	0,00	0
201	2,8	3	0	109,85	0,0%		0	304L	2,8	3	0,00	109,85	0,0%	0,00	0
201	3,0	3	0	117,7	0,0%		0	304L	3	3	55,17	117,70	46,9%	4104,78	37,20183168
201	3,5	3	0	117,7	0,0%		0	304L	3,5	3	82,63	117,70	70,2%	19,28	0,116666667
201	4,0	3	0	117,7	0,0%		0	304L	4	3	63,78	117,70	54,2%	2153,93	16,88510984
201	4,5	3	0	117,7	0,0%		0	304L	4,5	3	85,94	117,70	73,0%	18,62	0,108333333
201	5,0	3	0	117,7	0,0%		0	304L	5	3	65,20	117,70	55,4%	366,37	2,809428887
201	6,0	3	0	117,7	0,0%		0	304L	6	3	72,94	117,70	62,0%	1098,66	7,531133238
201	7,0	3	0	117,7	0,0%		0	304L	7	3	62,53	117,70	53,1%	135,50	1,083430198
201	8,0	3	0	117,7	0,0%		0	304L	8	3	59,46	117,70	50,5%	714,38	6,007661273
201	9,0	3	0	117,7	0,0%		0	304L	9	3	72,41	117,70	61,5%	19,31	0,133333333
201	10,0	3	0	117,7	0,0%		0	304L	10	3	23,12	117,70	19,6%	19,27	0,416666667
201	12,0	3	0	117,7	0,0%		0	304L	12	3	64,53	117,70	54,8%	19,36	0,15
201	2,0	4	0	78,5	0,0%		0	304L	2	4	0,00	78,50	0,0%	0,00	0
201	2,5	4	0	98,1	0,0%		0	304L	2,5	4	54,52	98,10	55,6%	867,34	7,954815335
201	2,8	4	0	109,85	0,0%		0	304L	2,8	4	58,10	109,85	52,9%	3259,86	28,05231744
201	3,0	4	0	117,7	0,0%		0	304L	3	4	68,25	117,70	58,0%	51743,438	379,1004689
201	3,5	4	0	117,7	0,0%		0	304L	3,5	4	66,65	117,70	56,6%	514,7	3,861200835
201	4,0	4	0	117,7	0,0%		0	304L	4	4	74,71	117,70	63,5%	39016,999	261,1224807
201	4,5	4	0	117,7	0,0%		0	304L	4,5	4	74,06	117,70	62,9%	2966,97	20,03150229
201	5,0	4	54,9551411	117,7	46,7%	522,24	4,751511774	304L	5	4	75,92	117,70	64,5%	7285,04	47,97776441
201	6,0	4	0	117,7	0,0%		0	304L	6	4	78,46	117,70	66,7%	17841,73	113,7053711
201	7,0	4	0	117,7	0,0%		0	304L	7	4	61,60	117,70	52,3%	1061,63	8,616838209
201	8,0	4	0	117,7	0,0%		0	304L	8	4	68,88	117,70	58,5%	8976,34	65,15854322
201	9,0	4	0	117,7	0,0%		0	304L	9	4	65,98	117,70	56,1%	1127,64	8,545858
201	10,0	4	0	117,7	0,0%		0	304L	10	4	69,68	117,70	59,2%	2021,23	14,50266238
201	12,0	4	0	117,7	0,0%		0	304L	12	4	62,59	117,70	53,2%	1401,3	11,19364102
201	2,0	5	0	78,5	0,0%		0	304L	2	5	0,00	78,50	0,0%	0,00	0
201	2,5	5	0	98,1	0,0%		0	304L	2,5	5	0,00	98,10	0,0%	0,00	0
201	2,8	5	0	109,85	0,0%		0	304L	2,8	5	0,00	109,85	0,0%	0,00	0
201	3,0	5	0	117,7	0,0%		0	304L	3	5	71,77	117,70	61,0%	20335,09	141,673994
201	3,5	5	0	117,7	0,0%		0	304L	3,5	5	71,58	117,70	60,8%	384,35	2,68486559
201	4,0	5	0	117,7	0,0%		0	304L	4	5	81,71	117,70	69,4%	25979,161	158,9723966
201	4,5	5	0	117,7	0,0%		0	304L	4,5	5	84,67	117,70	71,9%	4718,39	27,86328546
201	5,0	5	0	117,7	0,0%		0	304L	5	5	85,28	117,70	72,5%	8444,62	49,50894905
201	6,0	5	0	117,7	0,0%		0	304L	6	5	89,29	117,70	75,9%	26925,671	150,784924
201	7,0	5	0	117,7	0,0%		0	304L	7	5	63,75	117,70	54,2%	645,07	5,059055371
201	8,0	5	0	117,7	0,0%		0	304L	8	5	80,66	117,70	68,5%	20611,82	127,7626553
201	9,0	5	0	117,7	0,0%		0	304L	9	5	72,90	117,70	61,9%	3487,47	23,92028213
201	10,0	5	0	117,7	0,0%		0	304L	10	5	78,66	117,70	66,8%	6256,12	39,76681387
201	12,0	5	0	117,7	0,0%		0	304L	12	5	76,12	117,70	64,7%	3701,55	24,31531844
202	2,0	3	0	78,5	0,0%		0	304DDQ	2	3	0,00	78,50	0,0%	0,00	0
202	2,5	3	0	98,1	0,0%		0	304DDQ	2,5	3	0,00	98,10	0,0%	0,00	0
202	2,8	3	0	109,85	0,0%		0	304DDQ	2,8	3	0,00	109,85	0,0%	0,00	0
202	3,0	3	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	3	3	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	3,5	3	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	3,5	3	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	4,0	3	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	4	3	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	4,5	3	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	4,5	3	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	5,0	3	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	5	3	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	6,0	3	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	6	3	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	7,0	3	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	7	3	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	8,0	3	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	8	3	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	9,0	3	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	9	3	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	10,0	3	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	10	3	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	12,0	3	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	12	3	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	2,0	4	0	78,5	0,0%		0	304DDQ	2	4	0,00	78,50	0,0%	0,00	0
202	2,5	4	0	98,1	0,0%		0	304DDQ	2,5	4	0,00	98,10	0,0%	0,00	0
202	2,8	4	0	109,85	0,0%		0	304DDQ	2,8	4	0,00	109,85	0,0%	0,00	0
202	3,0	4	43,85003289	117,7	37,3%	209,53	2,389165825	304DDQ	3	4	66,06	117,70	56,1%	692,63	5,242401032
202	3,5	4	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	3,5	4	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	4,0	4	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	4	4	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	4,5	4	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	4,5	4	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	5,0	4	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	5	4	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	6,0	4	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	6	4	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	7,0	4	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	7	4	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	8,0	4	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	8	4	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	9,0	4	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	9	4	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	10,0	4	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	10	4	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	12,0	4	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	12	4	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	2,0	5	0	78,5	0,0%		0	304DDQ	2	5	0,00	78,50	0,0%	0,00	0
202	2,5	5	0	98,1	0,0%		0	304DDQ	2,5	5	0,00	98,10	0,0%	0,00	0
202	2,8	5	0	109,85	0,0%		0	304DDQ	2,8	5	0,00	109,85	0,0%	0,00	0
202	3,0	5	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	3	5	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	3,5	5	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	3,5	5	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	4,0	5	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	4	5	43,68	117,70	37,1%	26,21	0,3
202	4,5	5	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	4,5	5	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	5,0	5	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	5	5	68,66	117,70	58,3%	26,32	0,191666667
202	6,0	5	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	6	5	87,70	117,70	74,5%	52,46	0,299087799
202	7,0	5	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	7	5	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	8,0	5	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	8	5	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	9,0	5	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	9	5	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	10,0	5	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	10	5	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
202	12,0	5	0	117,7	0,0%		0	304DDQ	12	5	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
301	2,0	3	0	78,5	0,0%		0	310	2	3	0,00	78,50	0,0%	0,00	0
301	2,5	3	0	98,1	0,0%		0	310	2,5	3	0,00	98,10	0,0%	0,00	0
301	2,8	3	0	109,85	0,0%		0	310	2,8	3	0,00	109,85	0,0%	0,00	0
301	3,0	3	0	117,7	0,0%		0	310	3	3	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
301	3,5	3	0	117,7	0,0%		0	310	3,5	3	0,00	117,70	0,0%	0,00	0
301	4,0	3	0	117,7	0,0%		0								

Anexo O: Ejemplo de datos de propiedades mecánicas suministrados por laboratorio

Mechanical Test Results		Production Date:		01-ene-15 6:00		to 30-mar-16											
Material	Column	Gau	Gauge	Gaug	Fin	W	Fin	IntType	Steel	Sample ID	SmpType	Sr	SmpStatu	TS	YS	A50	HRB
A0010098ABAB	A0010098	0,28	<=0,9	0,4	2BB	SL2	SL2	B430500	430	SL2E000273	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	507,565	349,352	30,02	72,33
A0014238AA	A0014238	0,47	<=0,9	0,5	2B	SL1	SL1	B304151	304L	SL1E000025	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	672,291	312,181	56,81	78,9
A0014297CB	A0014297	2,979	2.1-3.0	3	2B	CS1	CS1	B304151	304L	CS1E000249	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	628,99	299,359	56,75	84,13
A0014341BC	A0014341	5,987	3.1-6	6	2B	CS1	CS1	B316240	316	CS1E000011	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	598,25	305,116	51,11	83,13
A0015184	A0015184	1,181	0.91-1.3	1,2	2B	CS2	CS2	B304151	304L	CS2D002755	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	660,451	313,857	49,76	84,55
A0015185	A0015185	1,183	0.91-1.3	1,2	2B	SL2	SL2	B304151	304L	SL2E000197	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	648,471	314,467	47,38	87,5
A0015255B	A0015255	0,681	<=0,9	0,7	2B	SL2	SL2	B301110	Other	SL2E001610	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	765,6	298,328	59,37	78,7
A0015493C	A0015493	1,919	1.3-2.0	2	2B	SL1	SL1	B316240	316	SL1E000363	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	607,772	296,724	54,34	83,2
A0015541BD	A0015541	5,607	3.1-6	6	2B	CS1	CS1	B304151	304L	CS1MC02731	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	638,029	322,906	50,47	85,43
A0015657	A0015657	0,47	<=0,9	0,5	2B	SL1	SL1	B304151	304L	SL1E000031	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	677,176	309,903	54,52	79,13
A0015666A	A0015666	0,4	<=0,9	0,4	2B	SL1	SL1	B304151	304L	SL1E000543	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	702,985	298,082	63,12	77
A0015836C	A0015836	1,98	1.3-2.0	2	2B	SL1	SL1	B310350	Other	SL1E000727	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	570,116	253,221	47,1	79,8
A0015854AB	A0015854	0,88	<=0,9	0,9	2B	SL1	SL1	B304151	304L	SL1E000507	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	665,68	303,641	52,91	88,3
A0015955	A0015955	3,979	3.1-6	4	2B	CS1	CS1	B304151	304L	CS1D004659	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	613,286	296,749	53,47	82,73
A0015957	A0015957	1,442	1.3-2.0	1,5	2B	SL1	SL1	B304151	304L	SL1E000703	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	648,016	323,853	50,46	90,2
A0015959	A0015959	0,964	0.91-1.3	1	CR	AP2	Other	B321315	Other	AP22146209	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	596,263	251,14	54,12	78,3
A0015980ABA	A0015980	1,179	0.91-1.3	1,2	2B	SL1	SL1	B304151	304L	SL1E000723	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	650,598	312,143	54,31	85,45
A0016086A	A0016086	0,381	<=0,9	0,4	2B	SL2	SL2	B304151	304L	SL2E000005	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	688,079	325,322	57,1	77
A0016168	A0016168	2,809	2.1-3.0	3	2B	CS1	CS1	B304151	304L	CS1E000342	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	643,238	305,237	50	81,5
A0016170D	A0016170	2,881	2.1-3.0	3	2B	CS1	CS1	B304151	304L	CS1E000424	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	607,443	266,251	56,56	79,97
A0016175E	A0016175	0,488	<=0,9	0,5	2B	SL2	SL2	B304151	304L	SL2E000017	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	595,704	271,902	56,24	77,15
A0016188A	A0016188	0,382	<=0,9	0,4	2B	CS2	CS2	B304151	304L	CS2D002589	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	680,644	309,831	59,88	82,6
A0016211	A0016211	0,48	<=0,9	0,5	2B	SL1	SL1	B304151	304L	SL1D007332	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	676,371	294,252	57,98	75,93
A0016215AC	A0016215	0,78	<=0,9	0,8	2B	SL2	SL2	B304151	304L	SL2E000001	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	669,762	323,737	52,61	83,1
A0016238B	A0016238	1,922	1.3-2.0	2	2B	SL1	SL1	B316240	316	SL1E000051	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	622,659	291,952	49,39	83,25
A0016281	A0016281	2,48	2.1-3.0	2,5	2B	SL1	SL1	B316240	316	SL1E000986	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	598,832	289,755	53,95	83,1
A0016289A	A0016289	0,847	<=0,9	0,8	2B	CS2	CS2	B304151	304L	CS2E000037	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	674,622	348,321	49,58	85,63
A0016301	A0016301	0,86	<=0,9	0,9	2B	SL2	SL2	B304151	304L	SL2E000021	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	672,242	326,45	52,93	88,2
A0016402	A0016402	0,843	<=0,9	0,8	2B	SL1	SL1	B304151	304L	SL1E000976	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	668,309	353,936	47,46	86,1
A0016425	A0016425	2,48	2.1-3.0	2,5	2B	SL1	SL1	B316240	316	SL1E000974	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	608,602	296,21	51,8	80,77
A0016426	A0016426	1,48	1.3-2.0	1,5	2B	SL1	SL1	B316240	316	SL1E000011	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	646,609	311,413	47,77	83,6
A0016446E	A0016446	1,87	1.3-2.0	2	2B	CS2	CS2	B316240	316	CS2E000373	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	641,28	326,276	47,7	85,2
A0016459	A0016459	2,399	2.1-3.0	2,5	2B	SL1	SL1	B316240	316	SL1E000569	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	613,102	295,042	54,02	83,5
A0016512	A0016512	0,58	<=0,9	0,6	2B	SL1	SL1	B321315	Other	SL1E002145	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	559,156	267,059	57,49	76,67
A0016513	A0016513	0,581	<=0,9	0,6	2B	SL1	SL1	B321315	Other	SL1E002055	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	565,821	254,344	58,93	75,5
A0016518	A0016518	0,58	<=0,9	0,6	2B	SL1	SL1	B316240	316	SL1E000057	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	677,595	310,415	52,31	78
A0016526B	A0016526	3,977	3.1-6	4	2B	CS1	CS1	B321315	Other	CS1E000447	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	571,127	306,941	54,67	81,87
A0016542	A0016542	1,92	1.3-2.0	2	2B	SL1	SL1	B316240	316	SL1D007334	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	634,323	311,744	48,3	84,03
A0016545	A0016545	1,979	1.3-2.0	2	2B	SL1	SL1	B316240	316	SL1E000065	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	649,417	313,219	48,54	83,7
A0016549A	A0016549	0,86	<=0,9	0,9	2B	CS2	CS2	B304151	304L	CS2E000345	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	653,379	292,879	56,9	88,2
A0016571	A0016571	1,479	1.3-2.0	1,5	2B	SL1	SL1	B316240	316	SL1E000009	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	608,733	284,535	48,92	83,2
A0016574	A0016574	1,15	0.91-1.3	1,2	2B	SL1	SL1	B316240	316	SL1E000185	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	644,4	307,98	49,17	82,43
A0016577	A0016577	5,976	3.1-6	6	2B	CS1	CS1	B316240	316	CS1D004790	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	645,253	318,639	47,49	84,3
A0016712A	A0016712	0,58	<=0,9	0,6	NO4	SL1	SL1	B304151	304L	SL1D007276	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	677,4475	293,3165	56,1	75,27
A0016714	A0016714	1,179	0.91-1.3	1,2	NO4	CS2	CS2	B304151	304L	CS2D002853	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	649,928	299,52	51,02	83,43
A0016724	A0016724	1,439	1.3-2.0	1,5	2B	SL1	SL1	B316240	316	SL1E000061	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	647,415	342,416	46,42	83,77
A0016726B	A0016726	0,782	<=0,9	0,8	2D	AP2	Other	B304151	304L	AP22144419	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	683,451	353,826	45,54	85,4
A0016730A	A0016730	0,679	<=0,9	0,7	2B	SL1	SL1	B304151	304L	SL1E000079	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	664,861	305,032	52,47	80,97
A0016731	A0016731	0,96	0.91-1.3	1	2B	CS2	CS2	B304151	304L	CS2E000013	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	669,033	340,155	48,89	84,4
A0016732	A0016732	1,15	0.91-1.3	1,2	2B	CS2	CS2	B304151	304L	CS2E000009	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	664,956	322,754	49,45	84,8
A0016733	A0016733	0,942	0.91-1.3	0,9	2B	SL1	SL1	B304151	304L	SL1E000055	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	636,272	323,905	51,07	82,47
A0016734	A0016734	0,471	<=0,9	0,5	2B	CS2	CS2	B304151	304L	CS2E000069	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	670,707	310,739	53,34	77,87
A0016735	A0016735	1,98	1.3-2.0	2	2B	SL1	SL1	B304151	304L	SL1E000103	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	657,128	327,9	46,53	85,4
A0016736	A0016736	1,98	1.3-2.0	2	2B	SL1	SL1	B304151	304L	SL1E000027	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	638,647	296,871	51,37	83,37
A0016737	A0016737	1,12	0.91-1.3	1,2	2B	CS2	CS2	B304151	304L	CS2E000011	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	664,9	339,17	48,73	85,35
A0016738A	A0016738	0,78	<=0,9	0,8	2B	SL1	SL1	B304151	304L	SL1E000013	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	653,632	319,714	52,98	84,25
A0016739	A0016739	1,18	0.91-1.3	1,2	2B	SL1	SL1	B304151	304L	SL1E000043	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	658,334	334,783	48,79	84,1
A0016740	A0016740	1,479	1.3-2.0	1,5	2B	SL1	SL1	B316240	316	SL1E000069	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	622,71	303,714	49,75	84,03
A0016741	A0016741	1,98	1.3-2.0	2	2B	SL1	SL1	B304151	304L	SL1E000023	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	665,028	311,175	49,88	85,27
A0016743	A0016743	1,98	1.3-2.0	2	2B	SL1	SL1	B304151	304L	SL1E000045	MFINRELSMP	H	SMPRECVD	647,032	326,925	47,63	84,1

**Anexo P: Rangos de valores de resistencia, elongación y dureza usando criterio sigma, 2-sigma y 3-sigma, dependiendo del suministrador**

Total		Media	Desviacion est	$\sigma-3\mu$	$\sigma-2\mu$	$\sigma-\mu$	$\sigma$	$\sigma+\mu$	$\sigma+2\mu$	$\sigma+3\mu$
	TS	642,21	65,27	446,41	511,68	576,95	642,21	707,48	772,75	838,02
	YS	303,24	25,81	225,80	251,61	277,42	303,24	329,05	354,86	380,67
	A50	50,92	6,91	30,18	37,10	44,01	50,92	57,83	64,75	71,66
	HRB	83,19	2,98	74,26	77,23	80,21	83,19	86,16	89,14	92,11
Sumin. B		Media	Desviacion est	$\sigma-3\mu$	$\sigma-2\mu$	$\sigma-\mu$	$\sigma$	$\sigma+\mu$	$\sigma+2\mu$	$\sigma+3\mu$
	TS	641,96	27,14	560,55	587,69	614,82	641,96	669,09	696,23	723,36
	YS	311,96	21,79	246,60	268,39	290,18	311,96	333,75	355,54	377,33
	A50	52,00	3,39	41,84	45,23	48,61	52,00	55,39	58,78	62,16
	HRB	83,75	2,76	75,48	78,24	80,99	83,75	86,50	89,26	92,01
Sumin. A		Media	Desviacion est	$\sigma-3\mu$	$\sigma-2\mu$	$\sigma-\mu$	$\sigma$	$\sigma+\mu$	$\sigma+2\mu$	$\sigma+3\mu$
	TS	620,30	88,42	355,04	443,46	531,88	620,30	708,72	797,14	885,56
	YS	300,72	27,88	217,07	244,96	272,84	300,72	328,61	356,49	384,37
	A50	49,01	9,68	19,96	29,64	39,32	49,01	58,69	68,37	78,05
	HRB	82,69	3,32	72,75	76,06	79,38	82,69	86,01	89,33	92,64
Sumin. E		Media	Desviacion est	$\sigma-3\mu$	$\sigma-2\mu$	$\sigma-\mu$	$\sigma$	$\sigma+\mu$	$\sigma+2\mu$	$\sigma+3\mu$
	TS	631,70	26,74	551,47	578,21	604,96	631,70	658,44	685,19	711,93
	YS	310,15	20,03	250,06	270,09	290,12	310,15	330,18	350,21	370,24
	A50	51,96	3,78	40,61	44,40	48,18	51,96	55,75	59,53	63,32
	HRB	83,64	2,23	76,95	79,18	81,41	83,64	85,87	88,10	90,33
Sumin. F		Media	Desviacion est	$\sigma-3\mu$	$\sigma-2\mu$	$\sigma-\mu$	$\sigma$	$\sigma+\mu$	$\sigma+2\mu$	$\sigma+3\mu$
	TS	564,47	45,94	426,65	472,59	518,53	564,47	610,41	656,35	702,29
	YS	302,15	29,42	213,90	243,32	272,74	302,15	331,57	360,99	390,41
	A50	45,94	10,49	14,47	24,96	35,45	45,94	56,44	66,93	77,42
	HRB	82,28	2,63	74,38	77,01	79,65	82,28	84,91	87,54	90,17
Sumin. D		Media	Desviacion est	$\sigma-3\mu$	$\sigma-2\mu$	$\sigma-\mu$	$\sigma$	$\sigma+\mu$	$\sigma+2\mu$	$\sigma+3\mu$
	TS	673,42	26,14	595,01	621,15	647,29	673,42	699,56	725,69	751,83
	YS	287,24	18,47	231,84	250,31	268,78	287,24	305,71	324,18	342,65
	A50	52,16	3,63	41,26	44,90	48,53	52,16	55,80	59,43	63,06
	HRB	82,52	2,84	73,99	76,83	79,67	82,52	85,36	88,20	91,04
Sumin. C		Media	Desviacion est	$\sigma-3\mu$	$\sigma-2\mu$	$\sigma-\mu$	$\sigma$	$\sigma+\mu$	$\sigma+2\mu$	$\sigma+3\mu$
	TS	688,91	30,44	597,59	628,03	658,47	688,91	719,36	749,80	780,24
	YS	298,70	25,75	221,45	247,20	272,95	298,70	324,45	350,20	375,96
	A50	52,94	3,04	43,81	46,85	49,90	52,94	55,99	59,03	62,08
	HRB	83,59	2,39	76,41	78,80	81,20	83,59	85,98	88,37	90,76