

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



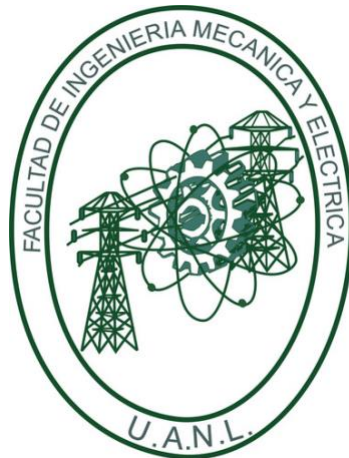
Generación de defecto de Planeza durante el enrollado de material  
Skinpasseado para aceros de bajo carbono en espesores < 2.00 mm

**Por**  
**JOSÉ DARIO REYNA CAVAZOS**

**EN OPCIÓN AL GRADO DE**  
**MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA CON**  
**ORIENTACIÓN EN MATERIALES**

**FEBRERO, 2024**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



Generación de defecto de Planeza durante el enrollado de material  
Skinpasseado para aceros de bajo carbono en espesores  $< 2.00$  mm

Por  
**JOSÉ DARIO REYNA CAVAZOS**

**EN OPCIÓN AL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA CON  
ORIENTACIÓN EN MATERIALES**

**FEBRERO, 2024**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**  
**Posgrado**

Los miembros del Comité de Evaluación de Tesis recomendamos que la Tesis “Generación de defecto de Planeza durante el enrollado de material Skinpaseado para aceros de bajo carbono en espesores < 2.00 mm”, realizada por el estudiante José Darío Reyna Cavazos, con número de matrícula 1338619, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias de la Ingeniería con orientación en Materiales.

**El Comité de Evaluación de Tesis**

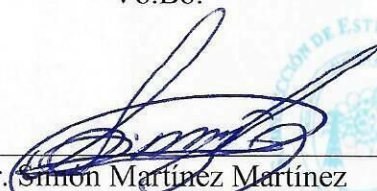
Dr. Luis Adolfo Leduc Lezama  
Director

Dr. Rafael David Mercado Solís  
Revisor

Dr. Julio César Morales Chavela  
Revisor

MC Efraín Ubici  
Revisor

Vo.Bo.

  
Dr. Simón Martínez Martínez  
Subdirector de Estudios de Posgrado

Institución 190001

Programa 5575 416

Acta Núm. 4316

Ciudad Universitaria, a 23 de febrero de 2024.

# DEDICATORIA

*A mi madre María de Jesús por estar siempre en todo momento de mi vida y apoyándome en cada decisión tomada.*

*A mi Padre José Reyna que sé que me guía en cada paso que doy en esta vida y que sé que me apoya en todo momento en donde quiera que éste.*

*A mi Hermana Dra. Karen Reyna que siempre está a mi lado y me motiva con sus acciones a ser cada día mejor, gracias por sus consejos y por asesorarme en gran parte de este documento para que se pudiera concluir.*

*A mi amada esposa Esteffany López que sin su apoyo, comprensión y amor nada de esto hubiera sido posible, por siempre acompañarme en cada momento bueno y malo en cada etapa de mi vida desde que nos conocemos.*

*A mi hija Julieta que con su amor fue, es y será la motivación extra que se necesita para librar cualquier obstáculo que se presente en la vida.*

*A mis suegros el Lic. Raúl y la Lic. Otilia que me acompañaron y apoyaron durante la etapa de realización de este documento y siempre me motivan a seguir creciendo como persona.*

*Y demás familiares (Eduardo, amigos) que siempre están presentes.*

---

## AGRADECIMIENTOS

*A la empresa Ternium por confiar en mi para ser partícipe de este proyecto y darme la oportunidad de seguir capacitándome en mi vida laboral y que contribuye también para seguir creciendo en lo personal a través de estas experiencias. Especialmente a mi jefe el Ing. Israel Arcos que siempre confió en mi para ser parte de este proyecto al igual que el Director el Ing. Alexander Matthey. También a mis compañeros Elisa Guerrero, Efrain Ubici, compañeros de MC2 que durante esta etapa fueron partícipes y colaboradores de las pruebas, así como el personal de las líneas operativas de Skin Pass y Molino Caliente 2 que participaron y me ayudaron para la realización y seguimiento de las pruebas.*

*A la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y sus Profesores por habernos transmitido el conocimiento y ayudado siempre en cada momento de mi estancia para poder avanzar en cada obstáculo que se nos presentaba.*

*Al Dr. Luis Adolfo Leduc Lezama por ser mi asesor y apoyarme en todo momento en la realización de este documento sin la paciencia y apoyo no hubiera sido posible la realización de este proyecto.*

---

# ÍNDICE

<b>ÍNDICE .....</b>	<b>I</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>VIII</b>

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

1.1. Hipótesis.....	1
1.2. Objetivo General.....	1
1.2.1. <i>Objetivos Específicos</i> .....	2

## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO**

2.1. Antecedentes .....	3
2.2. Definición de Planeza .....	8
2.3. Defectos de Planeza.....	16
2.3.1. <i>Coil Set</i> .....	16
2.3.2. <i>Camber</i> .....	16
2.3.3. <i>Torsión (Twist)</i> .....	17
2.3.4. <i>Ondulación en Bordes</i> .....	18
2.3.5. <i>Ondulación al Centro</i> .....	20
2.3.6. <i>Comba (Cross Bowl)</i> .....	22
2.3.7. <i>Consecuencia de los Defectos de Planeza</i> .....	23

2.4. Factores que afectan la Planeza en proceso de Skin Pass .....	24
2.4.1. <i>Importancia del Perfil de Lamina Caliente</i> .....	24
2.4.2. <i>Patrón de Enfriamiento del Rodillo de Trabajo</i> .....	28
2.4.3. <i>Impacto del Perfil de Lámina Rolada con Desplazamiento de la Línea Central del Molino</i> .....	30
2.4.4. <i>Proceso de Enrollado en el Molino Caliente</i> .....	31
2.5. Dispositivos para Controlar Planeza en Skin Pass .....	33
2.5.1. <i>Rodillo BFI</i> .....	34
2.5.2. <i>Rodillos Pressductor ABB</i> .....	36
2.6. Proceso de Skin Pass.....	38

### **CAPÍTULO 3. EXPERIMENTACIÓN**

3.1. Introducción.....	43
3.2. Composición Química de Producto.....	43
3.2. Caracterización de Variables Molino Caliente .....	44
3.2.1. <i>Temperatura de Enrollado</i> .....	44
3.2.2. <i>Perfil de Corona de Lámina</i> .....	47
3.2.3. <i>Tensiones de Enrollado</i> .....	51
3.3. Caracterización de Variables en Skin Pass .....	53
3.3.1. <i>Preparación de Rodillos de Trabajo</i> .....	54
3.3.1.1. <i>Rodillos de Trabajo Alto Cromo</i> .....	54
3.3.1.2. <i>Rodillos de Trabajo Forjados</i> .....	58
3.3.2. <i>Variación de Tensiones durante Proceso de SKP</i> .....	59
3.3.3. <i>Dispositivo para Medición de Planeza en SKP</i> .....	62
3.3.3.1. <i>Conversión de Unidades N/mm<sup>2</sup> a Unidades I</i> .....	63
3.3.3.2. <i>Conversión de Unidades mm a Unidades I</i> .....	66

<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS .....</b>	<b>68</b>
<b>CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>74</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>79</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>83</b>



# ÍNDICE DE FIGURAS

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

Figura 2.1. Gráfico de Reclamos por defecto de Planeza. ....	4
Figura 2.2. Gráfica de Defectos de línea Skin Pass.....	5
Figura 2.3. Gráfica de defecto de Mala Planeza Reprocesadas por Espesor y Acero.....	6
Figura 2.4. Ejemplo de gráfica de planeza de rollo reclamado.....	7
Figura 2.5. Clasificación de desviación de forma [7]. ....	11
Figura 2.6. Gráfico de Definición de Planeza [5]. ....	12
Figura 2.7. Defecto Ilustrativo de Camber [6]. ....	17
Figura 2.8. Defecto Ilustrativo de Torsión (Twist) [5]. ....	18
Figura 2.9. a) Defecto Ilustrativo de Ondulación en Bordes, b) Defecto longitudinal donde uno o ambos bordes han sido sobre enrollados haciéndolo más largos que la tira del centro [5]. ....	19
Figura 2.10. a) Defecto Ilustrativo de Ondulación al Centro, b) El centro de la tira se ha enrollado más largo haciéndola más larga que la tira en los bordes, como esta longitud adicional no tiene parte al ir se forma ondas longitudinales en el centro [5]. ....	21
Figura 2.11. Defecto Ilustrativo de Comba (Cross Bowl) [5]. ....	22
Figura 2.12. Relaciones Matemáticas para la Corona y Cuña de Material Laminado en Caliente [11]. ....	25
Figura 2.13. Perfil de Lámina Rolada en Caliente. ....	26

Figura 2.14. Tipos Básicos de Perfiles de Lámina Caliente de Sección Transversal [6].	27
Figura 2.15. Patrón de flujo de agua de refrigeración [7].	28
Figura 2.16. Comparación de temperatura de rodillo con uniforme y no uniforme enfriamiento [7].	29
Figura 2.17. Reconstrucción de un Lado de Perfil con Condición de Cuña [7].	30
Figura 2.18. Imagen Representativa de Rodillos BFI [5].	35
Figura 2.19. Imagen de Ejemplo de Rodillo ABB [5].	37
Figura 2.20. Gráfico de Variables de Proceso de Rollos de Skin Pass.	39
Figura 2.21. Proceso de Skin Pass Planta Guerrero Ternium.	41

### **CAPÍTULO 3. EXPERIMENTACIÓN**

Figura 3.1. Diagrama de Flujo de Prueba de Cambio de Temperaturas de Enrollado en MC2.	46
Figura 3.2. Muestra de Perfil de Lamina Caliente.	48
Figura 3.3. Diagrama de Flujo de Prueba de Cambio en el Perfil de Lámina de Molino Caliente.	50
Figura 3.4. Diagrama de Flujo de Prueba de Corrección de practica de Tensión de enrollado en Molino Caliente.	52
Figura 3.5. Se muestran los diferentes Cali per usados para verificar la Corona de los Rodillos Rectificados. En la parte posterior se muestra uno de uso digital y en la parte inferior uno de uso manual.	57
Figura 3.6. Diagrama de Flujo que muestra las variables a utilizar dentro del proceso de SKP.	61

### **CAPÍTULO 4. RESULTADOS**

**CAPÍTULO 5. DISCUSION DE RESULTADOS**

Figura 5.1. Gráfico de Temperatura de Enrollado vs Medición de Centro en Slitter.....	74
Figura 5.2. Gráfico Corona de MC2 vs Medición de Centro en Slitter.....	75
Figura 5.3. Gráfico Corona de MC2 vs Medición de Centro en Slitter.....	76
Figura 5.4. Gráfico Tipo de Rodillos vs Medición de Centro en Slitter. ....	77
Figura 5.5. Gráfico Add value de Tensión vs Medición de Centro en Slitter.....	78

# ÍNDICE DE TABLAS

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### Tabla 2.1. TOLERANCIAS DE PLANEZA

Hoja laminada en frío Corte longitudes de más de 12 pulgadas (300 mm) de ancho No especificado para estándar de nivel de mesa de planeza ..... 13

### Tabla 2.2. TOLERANCIAS DE PLANEZA

Hoja laminada en frío Corte longitudes de más de 12 pulgadas (300 mm) de ancho No especificado para estándar de nivel de mesa de planeza ..... 14

### Tabla 2.3. TOLERANCIAS DE PLANEZA

PROCAL00007 Tablas de Criterios de Aceptación y Rechazo Planos  
Guerrero (Ternium) ..... 15

### Tabla 2.4. Capacidades de Operación de Molino Skin Pass Guerrero ..... 40

## CAPÍTULO 3. EXPERIMENTACIÓN

### Tabla 3.1. Valores Obtenidos para Determinar la Composición Química del

Acero a Realizar Pruebas 7093 y 4092 ..... 44

### Tabla 3.2. Prueba de modificación de Temperatura de Enrollado ..... 45

### Tabla 3.3. Prueba de modificación de Perfil Corona de Lámina en Caliente ..... 49

### Tabla 3.4. Tabla de Secuencias trabajadas con Variables de Skin Pass ..... 56

### Tabla 3.5. Calculo de conversión de Unidades I ..... 65

## **CAPÍTULO 4. RESULTADOS**

Tabla 4.1. Resultados de modificación de variables de Proceso Molino Caliente y Skin Pass .....	69
Tabla 4.2. Resultados de modificación de variables de Proceso Molino Caliente y Skin Pass (Mediciones en Unidades I) .....	70

## **CAPÍTULO 5. DISCUSION DE RESULTADOS**

## RESUMEN

En este trabajo se identifica como mejorar y controlar un defecto que es muy común en la lámina de acero al trabajar con ella que es la mala planeza. En este documento se plantea por medio de una realización de pruebas el mejorar la planeza (Lámina Caliente Skin Passeada) de Aceros en bajo Carbono en espesores menores a 2.0 mm. Se comienza realizando una introducción de cómo funciona el proceso de Skin Pass, así como se hace un estudio del principal defecto las ondulaciones en centro y orillas que se pueden producir y cuáles son sus principales causas.

Posteriormente se plantea una serie de pruebas y se ejecutan empezando a observar tendencias de cada una de ellas para posteriormente discutir las y realizar conclusiones sobre las pruebas aplicadas y las tendencias generadas en cada una de las variables modificadas para mejorar la planeza.

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Hipótesis

Se puede mejorar la planeza del material a partir de un perfil de corona bajo de Molino Caliente, además de buscar reducir la corona mecánica de los rodillos de trabajo de Skin Pass propiciado que mejore la condición del centro de la lámina sin propiciar ondulaciones en orillas.

## 1.2. Objetivo General

Mejorar la condición de planeza del material Acero suave que se procesa por la línea del SKP de Guerrero en espesores menores a 1.9 mm para que puedan cumplir con los requerimientos de procesos posteriores.

### 1.2.1. Objetivos Específicos

- Establecer optimas tensiones de desenrollado y enrollado en el proceso de Skin Pass que permitan mejorar la planeza de la lámina.
- Realizar estudios de rodillos de trabajo con coronas de rectificado de - .0.0254 mm a 0.0762 mm el cual permita establecer la mejor practica de planeza.
- Establecer un objetivo de perfil de 40 micras de Lámina Caliente para espesores <1.9mm en Aceros suaves.



## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

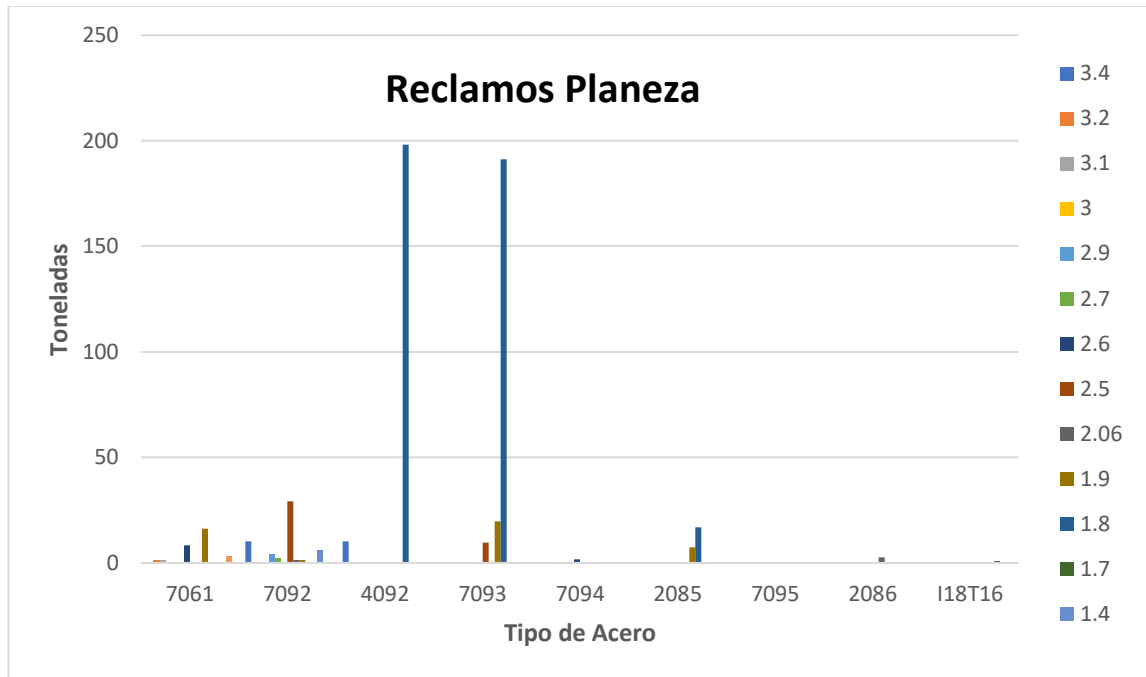
El mercado del Acero plano exige desarrollar nuevas tecnologías, pues continuamente se diseñan productos que requieren la mejor contribución de estos, para poder eficientizar su funcionalidad en los procesos de transformación posteriores.

Por ende, la calidad del producto que se entrega a los clientes se necesita que tenga el mejor performance posible para poder diseñar y realizar sus procesos y productos finales de la mejor manera.

Los atributos de cada rollo que se procesan por las líneas de Ternium de acuerdo con el cliente final deben de cumplir con las necesidades de estos mismos para evitar descartes y posteriores retrabajos que impactan fuertemente en los cumplimientos acordados de entregas.

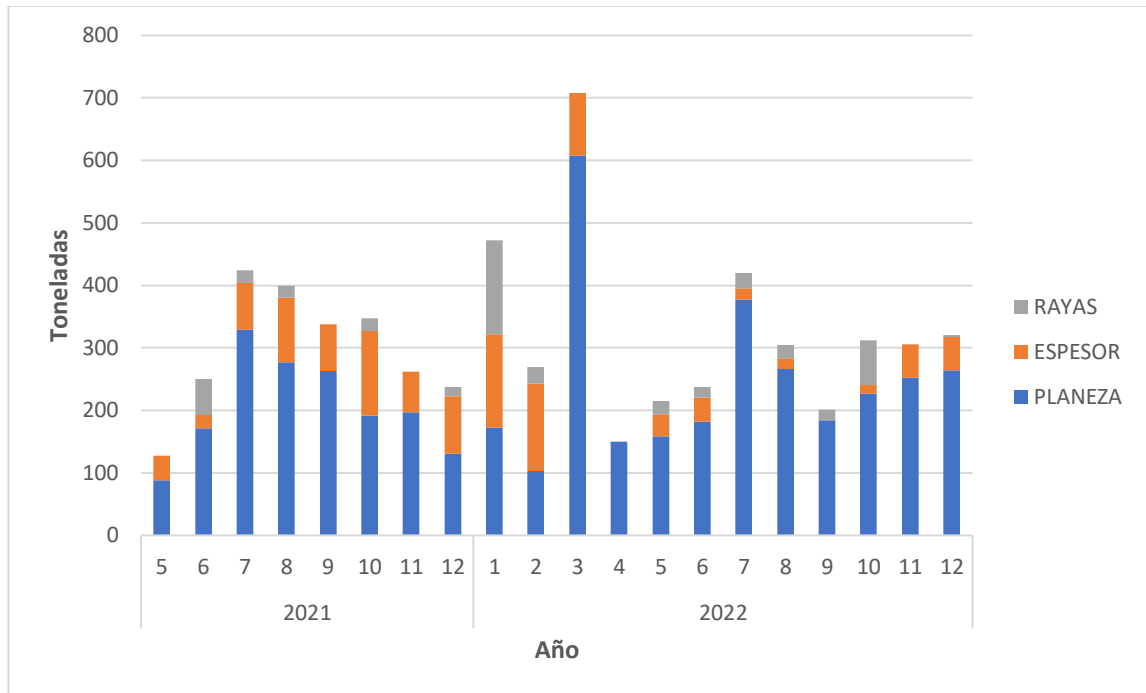
En este estudio se analiza la tendencia de los reclamos y reproceso de la línea de Skin Pass de Guerrero de Ternium en la cual se detectan índices de reclamos y reprocesos mayoritariamente por el defecto de mala planeza en el cual se localizan principalmente en Acero de Bajo Carbono y en espesores menores a <2 mm.

Se genera un análisis de los reclamos y reprocesos que existen en el año 2022 del defecto que se atribuyen a problemas de planeza no adecuada para el uso y así, se determina lo siguiente:



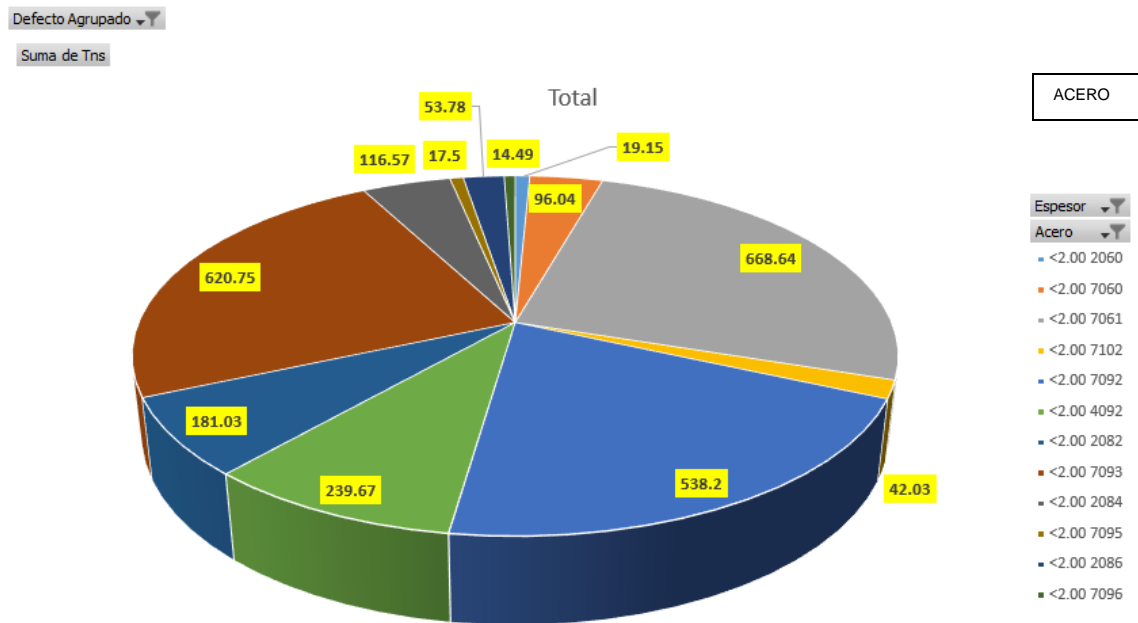
**Figura 2.1. Gráfico de Reclamos por defecto de Planeza.**

En la figura 2.1 muestran 543 toneladas reclamadas por cliente por defecto de mala Planeza, esta causa es originada por los conceptos de Ondulación al centro y Ondulación en bordes de las cuales 513 toneladas son en espesores de 1.8 mm principalmente en Aceros 7093 (191 toneladas de 210.958 toneladas totales) y 4092 (198.279 toneladas totales).



**Figura 2.2. Gráfica de Defectos de línea Skin Pass.**

En la figura 2.2 se determinan que el principal defecto que se reprocesa por la línea de Skin Pass es la Planeza con un total de 4593 toneladas, y en menor medida como otros defectos son Rayas de Re-enrollado (486 ton) y Espesor Fuera de Rango (1,222 ton).

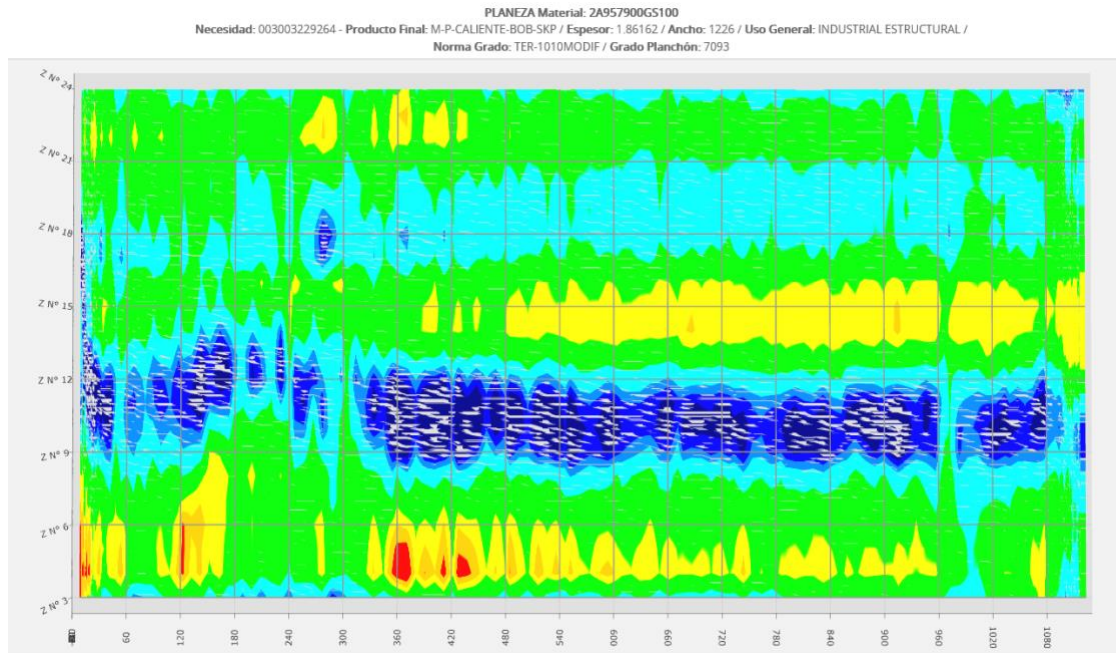


**Figura 2.3. Gráfica de defecto de Mala Planeza Reprocesadas por Espesor y Acero.**

En la figura 2.3 se muestra un estudio de las toneladas afectas por defecto de Planeza teniendo un **78%** de defectivo en el año 2022 en Aceros de Baja Resistencia y espesores <2.00 mm. En los datos se tienen 2945 toneladas afectadas de las cuales 2259 toneladas corresponden a Acero de Bajo Carbono.

Para efectos del presente trabajo, se focalizo en un acero de bajo carbono denominado internamente como 7093. Aquí se concentraban calibres por debajo de 2.00 mm el que se provee a un cliente particular. Este, solicitaba un planeza más acotada. Por lo cual se fueron realizando modificaciones y validaciones del material entregado. Y constatando con otra química como el del acero 4092 donde se mencionó en la figura 2.1 que los reclamos del año 2021 y 2022 fueron afectados por este Acero en mayor medida. El defecto para corregir es la

ondulación al centro sin afectar el resto de la forma de la lámina. Además de mejorar el performance total de los reprocesos de la línea.



**Figura 2.4. Ejemplo de gráfica de planeza de rollo reclamado.**

Para los casos reclamado se reporta un ejemplo del medidor de planeza donde las unidades están por encima de las  $-20 \text{ N/mm}^2$ . En estos casos no se realiza una presión correcta sobre la lámina lo que pudiera tender a generar el defecto de ondulación al centro al desenvolverse el rollo después del proceso de Skin Pass. Este defecto pudiera ocasionar que dependiendo la aplicación final del material ocasione problemas para el conformado del producto.

Se observaba que las mediciones en línea de Skin Pass estaban dentro de tolerancia, pero al desenvolverse y cambiar de cara la lámina se mostraba el defecto de la ondulación al centro.

En el apartado 2.6 se menciona las capacidades del Molino Skin Pass donde se podrán observar ciertas limitaciones en cuanto a las capacidades de Tensiones en las cuales se variarán en ciertos casos para verificar la planeza del material no afectando al producto.

En este caso como el bending también es limitado (no se puede aplicar vending negativo) y el defecto concretamente es ondulación al centro este factor no podemos evaluarlo dentro de las variables críticas ya que no ayuda para corregir el defecto.

Para este tipo de Acero comúnmente se utilizan rodillos de Alto Cromo ya que son rodillos efectivos para el desgaste (Ver datos en Sección 3.3). Sin embargo, también en el Molino Skin Pass se utilizan rodillos forjados que se utilizan para el reproceso de material que viene de una línea Decapada. El módulo de Young de estos rodillos tiende a ser más alto que los rodillos de Alto Cromo debido al proceso de fabricación de ellos lo cual da más rigidez al material (Ver detalles en Sección 3.3) por lo cual se deformarían menos bajo carga. Si bien los rodillos de Alto cromo como se menciona tienen una dureza superficial alta, por lo cual tienen resistencia al desgaste, esta dureza no necesariamente se traduce en una mayor rigidez.

## **2.2. Definición de Planeza**

El término "forma" aplicado a la banda laminada es bastante ambiguo porque puede referirse a la geometría de la sección transversal de la tira o la capacidad de la tira para quedar plana en un plano horizontal. El primero, particularmente

---

en el caso de placas y hojas, se denomina comúnmente "corona", especialmente cuando se pretende denotar la diferencia de espesor entre el centro de una tira y sus bordes. Este último, por otro lado, se relaciona con la presencia o ausencia de defectos en la pieza de trabajo sin restricciones que tiende a distorsionar su forma geométrica, atribuyéndose una buena forma para desferrar o laminar un producto que esté esencialmente libre de tal distorsión. En la utilización comercial de productos de láminas y tiras, es deseable que el calibre del material debe ser lo más uniforme posible y sin ningún tipo de defecto previsto en la superficie [1,5].

Lograr una geometría de banda optimizada es, por lo tanto, un objetivo prioritario tanto en la producción de láminas a través de líneas de laminación en caliente como en frío y en operaciones posteriores de procesamiento y acabado. Las causas de las desviaciones de la forma de la lámina pueden ser múltiples. La deformación puede ocurrir en los siguientes momentos:

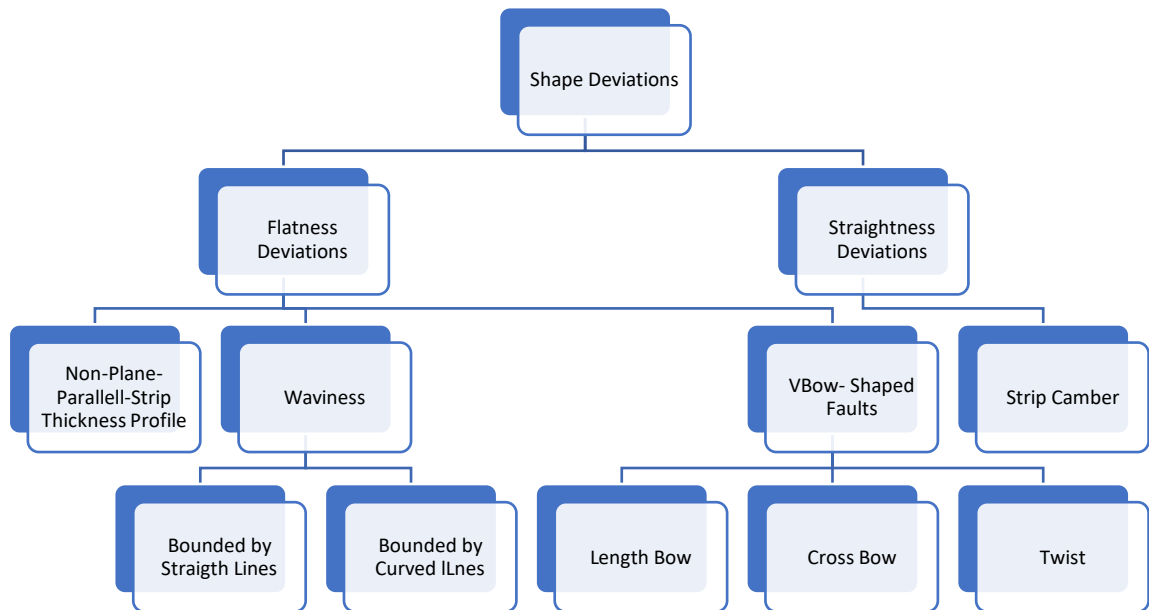
- En el hueco de láminas durante la laminación.
- En operaciones de deflexión, enrollado o desenrollado de láminas.
- Durante el calentamiento o enfriamiento, particularmente de los rollos [3].

La planitud de los productos laminados en frío es especialmente importante cuando encuentran aplicación en elementos tales como electrodomésticos, muebles, carrocerías de remolques y casas móviles. salidas desde la planitud en grandes áreas expuestas se vuelven inmediatamente aparentes y objetables desde un punto de vista estético. Los defectos de forma pueden mejorarse mediante el corte o corte posterior de una pieza de trabajo. En algunos casos un producto enrollado al desenvolverse puede presentar una planeza aceptable pero cuando se corta en cintas o hojas puedes agravarse el defecto presentándose ondulaciones en los bordes de la cinta u hoja cortada [7].

Las desviaciones de forma son el resultado de la variación de la deformación plástica localmente a través del ancho de la tira y/o el espesor de la tira, que a su vez produce variaciones de tensión inherentes dentro de la tira. Se producirá una desviación de la condición ideal de banda plana, por ejemplo, cuando las tensiones inherentes en el material superan un nivel crítico denominado tensión crítica de pandeo. La extensión total de la desviación de la forma no será visible hasta que se elimine la tensión de la tira inducida por el proceso [7].

Existen numerosos tipos diferentes de desviaciones de la forma de la tira, que se pueden clasificar, por ejemplo, como se ilustra en el resumen de la figura 2.5. Así, una distinción básica es entre la planitud de la tira y las desviaciones de rectitud. Las desviaciones de planitud se dividen, a su vez, en tres grandes patrones de defectos: ondulación, fallas en forma de arco y un perfil de espesor de franja no plano-paralelo. Desviaciones de rectitud se describen comúnmente como Camber de lámina.





**Figura 2.5. Clasificación de desviación de forma [7].**

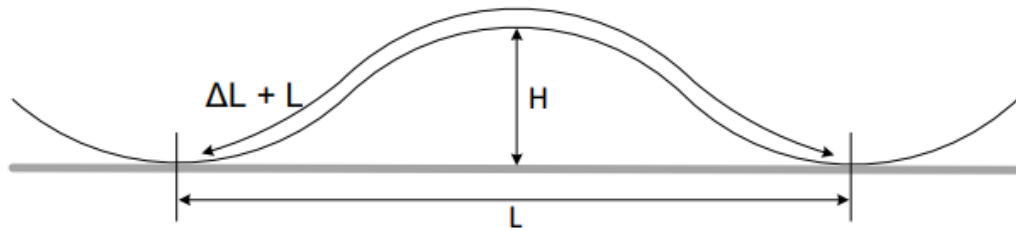
Según la norma ASTM, la planitud se define en unidades I a partir de la siguiente relación:

$$\frac{\Delta l}{l} \times 10^5 = \left( \frac{\pi}{2} \times \frac{H}{L} \right)^2 \times 10^5$$

Donde:

H es la altura máxima de la onda.

L es el periodo de onda más largo como se muestra a continuación:



**Figura 2.6. Gráfico de Definición de Planeza [5].**

Esta es una aproximación del alargamiento basada en una forma de onda sinusoidal. La longitud del arco sinusoidal sólo puede ser determinado a través de una integral elíptica computacionalmente costosa, lo que resulta en el uso de la estimación anterior. Tener en cuenta que 1 unidad I =  $10^{-5}$  m/m o  $10 \mu\text{m/m}$  [5].

Las tolerancias de planitud son publicadas por AISI para rollos laminados en frío en función de si las láminas no han sido especificadas con un estándar de planitud nivelado en mesa. Las tolerancias para hojas no especificados se dan en la tabla 2.1, mientras que los requisitos más estrictos para el otro las hojas se dan en la tabla 2.2. Para laminas recubiertas de zinc o aluminio, las tolerancias de planitud son similares a las dadas en las tablas 2.1 y 2.2. Sin embargo, se remite al lector al Manual de productos de acero AISI Hojas de acero al carbono para conocer las especificaciones exactas.

**Tabla 2.1. TOLERANCIAS DE PLANEZA**

Hoja laminada en frío

Corte longitudes de más de 12 pulgadas (300 mm) de ancho

No especificado para estándar de nivel de mesa de planeza

(ASTM A568)

<b>Especificación mínima de espesor pulg (mm)</b>	<b>Especificación mínima de espesor pulg (mm)</b>	<b>Tolerancia de planeza (máxima desviación de una cara plana horizontal) pulg (in)</b>
0.44 (1.12) y más delgada	Para 36 (910) incl.	3/8 (9.5)
	Sobre 36 (910)	5/8 (16)
Sobre 0.44 (1.12)	Para 60 (1512) incl.	7/8 (22)
	Sobre 60 (1510)	
	Para 36 (910) incl.	¼ (6.4)
	Sobre 36 (910)	3/8 (9.5)
	Para 60 (1512) incl.	5/8 (16)
	Sobre 60 (1510)	7/8 (22)

Nota 1. La tabla anterior también se aplica a longitudes cortadas de bobinas por el consumidor cuando se realizan las medidas adecuadas de aplanamiento.

**Tabla 2.2. TOLERANCIAS DE PLANEZA**

Hoja laminada en frío

Corte longitudes de más de 12 pulgadas (300 mm) de ancho

No especificado para estándar de nivel de mesa de planeza

(ASTM A568)

<b>Especificación mínima de espesor pulg (mm)</b>	<b>Especificación mínima de espesor pulg (mm)</b>	<b>Tolerancia de planeza (máxima desviación de una cara plana horizontal) pulg (in)</b>
Sobre 0.015 (.38) a 0.028 (0.71) incl.	Para 36 (910) incl.	1/4 (6.4)
	Para 120 (3050) incl.  Mas ancha o más larga	3/8 (9.5)
Sobre 0.028 (0.71)	Para 48 (1220) incl.	1/8 (3.2)
	Para 120 (3050) incl.  Mas ancha o más larga	1/4 (6.4)

**Tabla 2.3. TOLERANCIAS DE PLANEZA**

PROCAL00007 Tablas de Criterios de Aceptación y Rechazo Planos Guerrero  
(Ternium)

<b>PLANEZA ALTURA (mm)</b>					
<b>Clase</b>	<b>Mínimo Espesor (mm)</b>	<b>Ancho Específico (mm)</b>	<b>CS</b>	<b>HSLA</b>	
<b>Rollo Caliente</b> <b>Rollo Caliente Decapado</b>	<b>0.69 a 1.45 incl.</b>	<b>304.80 (12") a 914.40 (36")</b>	<b>38.1</b>	<b>57.15</b>	
		<b>914.40 (36") a 1524 (60")</b>	<b>57.15</b>	<b>85.72</b>	
		<b>&gt; 1524 (60")</b>	<b>76.2</b>	<b>No aplica</b>	
	<b>&gt;1.45 a 4.57 excl.</b>	<b>304.80 (12") a 1524 (60")</b>	<b>38.1</b>	<b>57.15</b>	
		<b>1524 (60") a 1828.80 (72")</b>	<b>57.15</b>	<b>85.72</b>	
		<b>&gt; 1828.80 (72")</b>	<b>76.2</b>	<b>114.3</b>	
	<b>4.57 a 5.84 excl.</b>	<b>304.80 (12") a 1524 (60")</b>	<b>38.1</b>	<b>57.15</b>	
		<b>1524 (60") a 1828.80 (72")</b>	<b>57.15</b>	<b>85.72</b>	
		<b>&gt; 1828.80 (72")</b>	<b>76.2</b>	<b>114.3</b>	
	<b>Rollo Caliente Con Skin Pass</b> <b>Rollo Caliente Decapado con Skin Pass</b>	<b>0.69 a 1.45 incl.</b>	<b>304.80 (12") a 914.40 (36")</b>	<b>12.7</b>	<b>19.05</b>
			<b>914.40 (36") a 1524 (60")</b>	<b>19.05</b>	<b>28.58</b>
			<b>&gt; 1524 (60")</b>	<b>25.4</b>	<b>No aplica</b>
<b>&gt;1.45 a 4.57 excl.</b>		<b>304.80 (12") a 1524 (60")</b>	<b>12.7</b>	<b>19.05</b>	
		<b>1524 (60") a 1828.80 (72")</b>	<b>19.05</b>	<b>28.58</b>	
		<b>&gt; 1828.80 (72")</b>	<b>25.4</b>	<b>38.1</b>	
<b>4.57 a 5.84 excl.</b>		<b>304.80 (12") a 1524 (60")</b>	<b>12.7</b>	<b>19.05</b>	
		<b>1524 (60") a 1828.80 (72")</b>	<b>19.05</b>	<b>28.58</b>	
		<b>&gt; 1828.80 (72")</b>	<b>25.4</b>	<b>38.1</b>	

## 2.3. Defectos de Planeza

A lo largo de los años, los diversos defectos de forma han adquirido un número considerable de enfoques. En consecuencia, dado que los mismos defectos tienen diferentes denominaciones en diferentes molinos, algunos existen cierto grado de confusión con respecto a su identificación. Enumeramos los más típicos de la laminación en frío:

- Coil Set
- Camber
- Torsión (Twist)
- Ondulación en Bordes
- Ondulación en Centro
- Canoa (Cross Bowl)

### 2.3.1. Coil Set

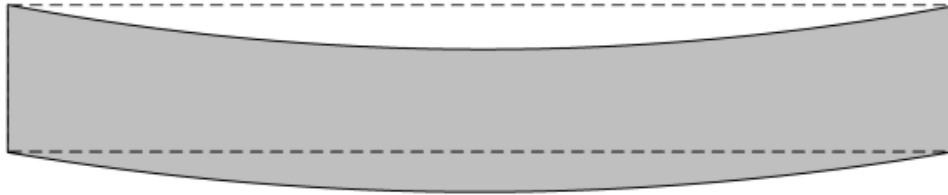
Este defecto resulta de una condición asimétrica con respecto a la línea de paso normal de la lámina en la operación de laminado y puede implicar condiciones asimétricas que involucran las posiciones, diámetros, condiciones de la superficie o velocidades de los rodillos de trabajo o su defecto al lamina puede desviarse de la línea de paso normal en la entrada o la mordida de la salida del rollo [6].

### 2.3.2. Camber

Este defecto, a veces denominado "arqueamiento" y manifestado por una curvatura lateral de la lámina, puede resultar del laminado de una tira con una

---

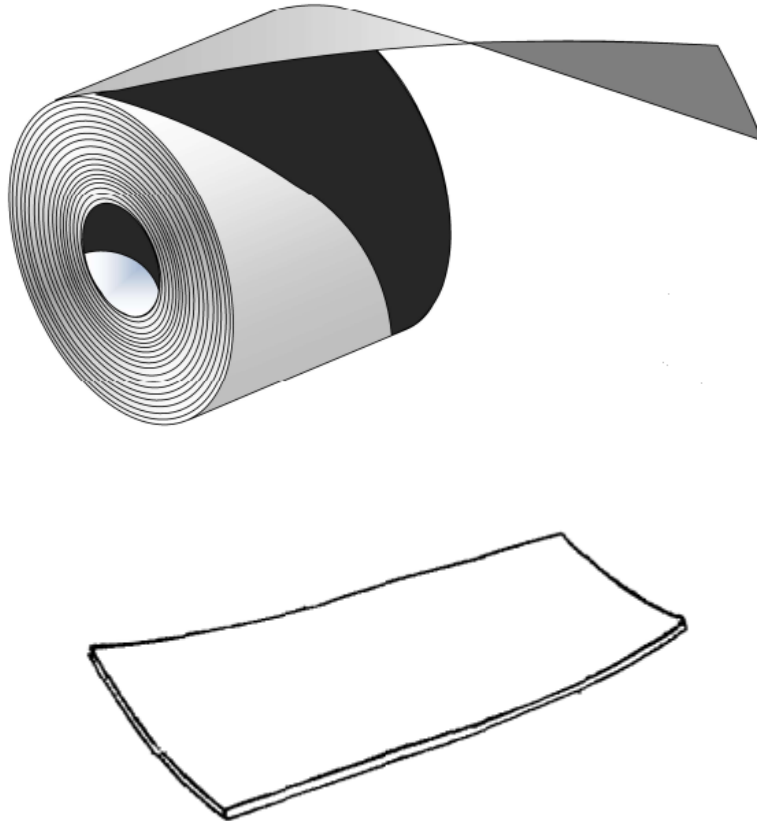
sección en forma de cuña en un laminador con un espacio entre rodillos uniforme, o del laminado de una tira de forma aceptable en un laminador con un gap no uniforme. En cualquier caso, un ajuste del gap entre rodillos para proporcionar un seguimiento adecuado de la tira generalmente eliminará el problema [3,6].



**Figura 2.7. Defecto Ilustrativo de Camber [6].**

### **2.3.3. Torsión (Twist)**

Esfuerzo superficial residual de diferente magnitud en las dos superficies que actúan en una dirección intermedio entre las direcciones de rolado y transversal dan lugar a un defecto conocido como torsión (twist). Cada lámina cortada de una tira que presente este defecto tenderá a curvarse de forma idéntica a ilustrado en la figura 2.8. El defecto se cree atribuible a la desalineación de los rodillos de trabajo, no solo entre sí, sino también con respecto a un rodillo de tensión en el lado de salida del molino. Para evitar este tipo de defectos, es necesario un alineamiento preciso de los rodillos del molino y el uso de una menor tensión de la tira de salida cuando sea posible [6].



**Figura 2.8. Defecto Ilustrativo de Torsión (Twist) [5].**

#### **2.3.4. Ondulación en Bordes**

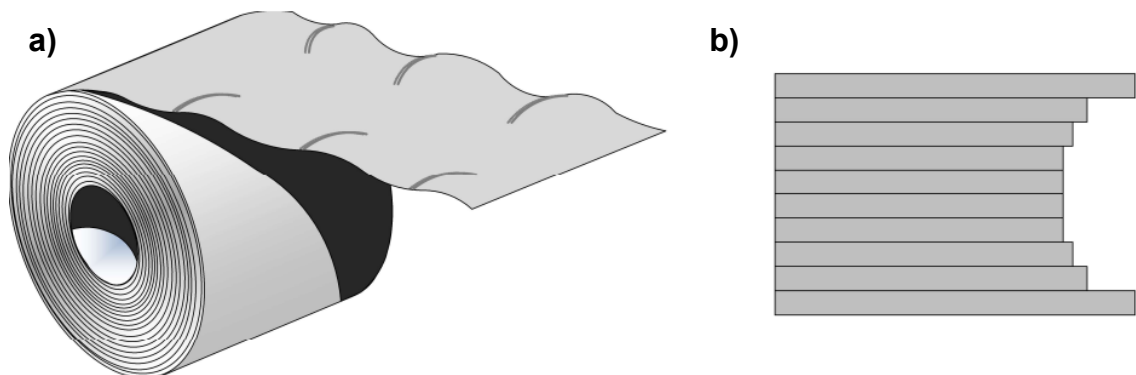
Un defecto longitudinal donde uno o ambos bordes de la tira han sido sobre enrollados, haciéndolos más largos que la tira en el centro.

- Este es un defecto de elongación longitudinal.
- Resulta de muy poca corona de rodillo en el molino en comparación con el perfil de la tira.



- Para materiales muy delgados y duros, es deseable cierta cantidad de onda en el borde para evitar que las roturas de la tira se propaguen desde los bordes, por lo general muy pequeños en magnitud.
- Un decremento en la lubricidad de rolado también puede dar lugar a ondulación en bordes.

Este tipo de defecto puede paliarse aumentando las coronas de los rodillos, doblando adecuadamente ya sea los rodillos de trabajo o los rodillos de apoyo, o disminuyendo la fuerza de rolado. Este último puede ser logrado, en su totalidad o en parte, mediante el uso de una mejor lubricidad de rolado, rodillos más suaves y mayor tensión en la lámina [1,2,3,5,6].



**Figura 2.9. a) Defecto Ilustrativo de Ondulación en Bordes, b) Defecto longitudinal donde uno o ambos bordes han sido sobre enrollados haciéndolo más largos que la tira del centro [5].**

### 2.3.5. Ondulación al Centro

Este tipo de defecto es el más frecuente en operaciones de laminación en frío y una ligera planitud en el centro de la tira enrollada a veces se produce deliberadamente en la creencia de que un mejor seguimiento de la tira en las líneas de procesamiento posteriores, como las líneas de recocido continuo, se logra gracias a esta característica [6].

El centro completo es el resultado de un enrollamiento excesivo de la parte central de la tira (deformación no uniforme) debido generalmente a la excesiva corona de los rodillos de laminación en frío.

El defecto puede atribuirse a:

- a) Un aumento en la corona de la lámina entrante.
- b) Un aumento en la corona de los rodillos de trabajo de laminación en frío.
- c) Una disminución en la fuerza de laminación.

El aumento de las coronas de los rodillos puede deberse al desarrollo de una distribución de temperatura no uniforme en los rodillos del molino o, cuando se utiliza el sistema de flexión de rodillos.

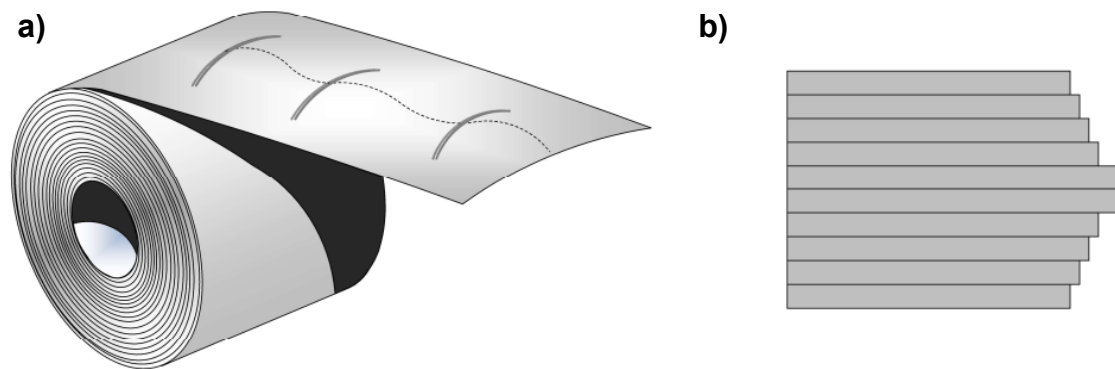
Una disminución en la fuerza de rolado, por otro lado, puede resultar de:

- a) Una tira entrante que es más estrecha y/o más suave de lo normal.
- b) Se da un tiro menor a la tira.
- c) Se mejora la lubricación de rodadura.

A su vez, mejor lubricidad puede resultar de:

- a) Cambios químicos o físicos en el lubricante rodante.
- b) Superficies más ásperas en la tira entrante.
- c) Superficies de rodillos de trabajo más suaves.
- d) Un cambio en la velocidad de laminación.

Para aliviar el problema del centro completo, la corona efectiva de los rodillos debe ser disminuido como, por ejemplo, sustituyendo los rodillos por coronas menores, cambiando la temperatura distribución en los rodillos por regulación de los sprays refrigerantes, regulación del sistema de flexión de rodillos si se usa tal o aumentando la fuerza de rolado mediante el uso de un lubricante de rolado menos eficaz [1,2,3,6].

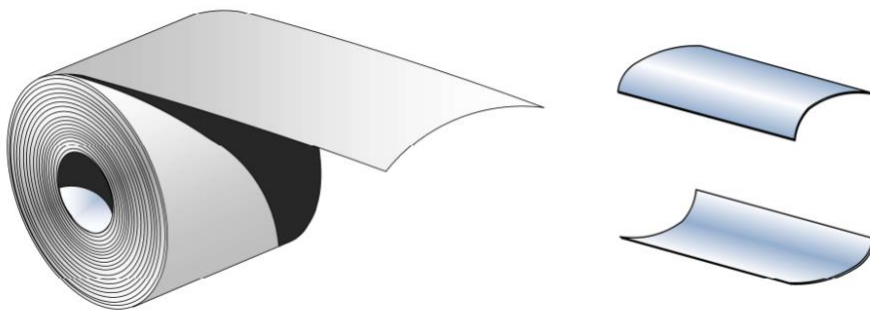


**Figura 2.10. a) Defecto Ilustrativo de Ondulación al Centro, b) El centro de la tira se ha enrollado más largo haciéndola más larga que la tira en los bordes, como esta longitud adicional no tiene parte al ir se forma ondas longitudinales en el centro [5].**

### 2.3.6. Comba (Cross Bowl)

Un defecto lateral que hace que la tira se doble hacia arriba o hacia abajo a lo largo de la tira.

- Causado por las deformaciones laterales que son diferentes en la superficie superior e inferior de la tira.
- Las causas más comunes son demasiada corona de rodillos de trabajo, lo que hace que los rodillos de trabajo se desplacen en direcciones opuestas en el proceso de laminación en dirección de la línea central del molino.
- Cuando la tira solo se dobla en un borde, el defecto se denomina comúnmente “curvatura”.



**Figura 2.11. Defecto Ilustrativo de Comba (Cross Bowl) [5].**

### 2.3.7. Consecuencia de los Defectos de Planeza

La lamina enrollada sin defectos de planeza no solo es fundamental para la calidad del material, sino que también es esencial para el laminado. La prevalencia de defectos de planeza puede causar lo siguiente:

Consecuencias de los defectos:

- Mayor posibilidad de roturas de tiras.
- Reducción de la velocidad y el rendimiento de laminación en frío debido a:
  - Problemas de bobinado debido a una acumulación inadecuada o telescopaje de la bobina.
  - Limitaciones del actuador.
- Reducción en la velocidad y el rendimiento del procesamiento aguas abajo debido a:
  - Seguimiento deficiente en los acumuladores u hornos de la línea de procesamiento.
  - La amplitud de onda excesiva puede entrar en contacto con el equipo y dejar rayones.
- Causa problemas con el proceso de corte longitudinal.
- Costes de relaminación o reproducción.
- Rechazo por parte del cliente final [5].

## **2.4. Factores que afectan la Planeza en proceso de Skin Pass**

Existen varios factores externos que pueden afectar la planeza en el proceso de Skin Pass y están interrelacionados además de que pueden variar según la aplicación específica y los requisitos del producto final. Un ajuste y control preciso de estos factores son esenciales para garantizar una buena planeza en el proceso de Skin Pass.

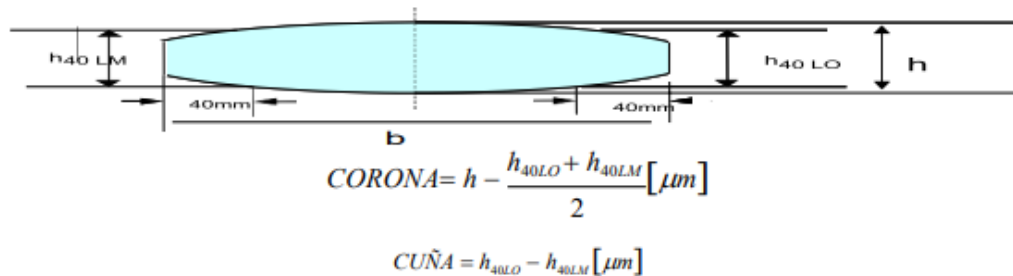
A continuación, se enlistan los principales factores que afectan a la planeza.

### **2.4.1. Importancia del Perfil de Lamina Caliente**

Es bien sabido que el perfil relativo de los rollos laminados en caliente, la tira no cambia notablemente después de la reducción en frío en un molino tándem. Además, a medida que la tira se vuelve más delgada en las pasadas posteriores de laminación en frío, cualquier irregularidad de la banda perfil, como la acumulación en ambos bordes de la tira o una acumulación en el borde de un lado acompañada de una condición de cuña, puede provocar un deterioro de la forma local [1,3].

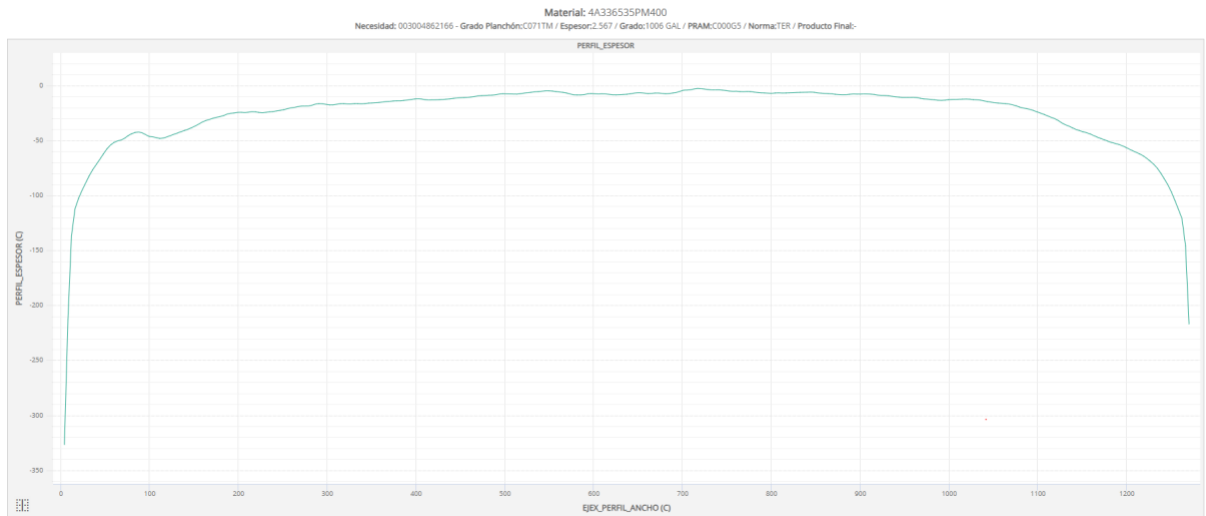
Un perfil inconsistente produce una mala planeza, lo cual hace ver la necesidad de mantener dicho perfil constante tanto a lo ancho como a lo largo de la cinta de acero, misma situación que redundará en la entrega de un producto con excelentes características de calidad. Es necesario destacar, que las variables más importantes que afectan tanto al perfil como a la planeza de una cinta de

acero son: el ancho, el espesor final, la corona maquinada a los rodillos de trabajo, las fuerzas de separación y la presión en el sistema de flexión que se ejerzan durante una campaña de laminación, representándolo matemáticamente en la figura 2.12 mostrada a continuación:



**Figura 2.12. Relaciones Matemáticas para la Corona y Cuña de Material Laminado en Caliente [11].**

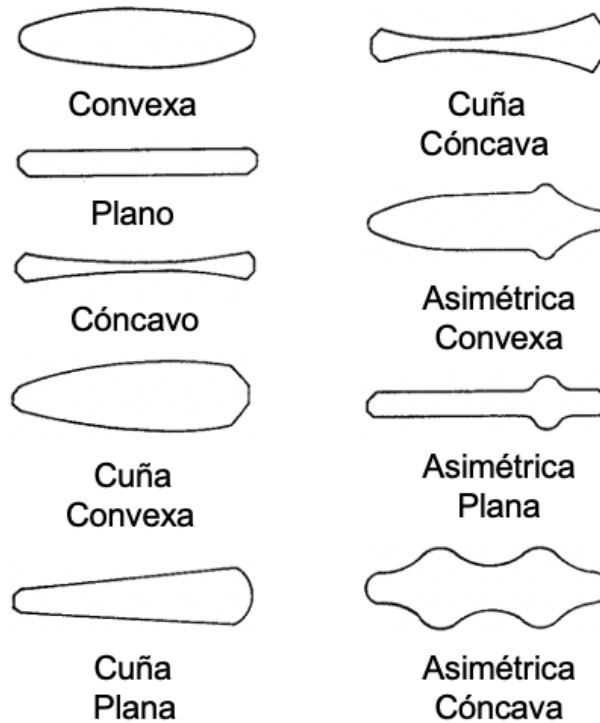
Un perfil típico de banda caliente como el que se muestra en la figura 2.13 se extrae de mediciones precisas del espesor realizadas a intervalos de una pulgada a lo largo del ancho de la tira realizada a una ubicación a lo largo de su longitud donde se cree que el perfil representa su contorno promedio. Como se ilustra en la figura, el calibre cae bruscamente desde cada "hombro" hasta el borde correspondiente de la tira, los hombros están ubicados a unas 2 pulgadas de los bordes de la tira.



**Figura 2.13. Perfil de Lámina Rolada en Caliente.**

Los perfiles de tiras calientes se pueden clasificar en tres tipos básicos: convexos, planos y cóncavos. Ellos pueden ser simétricas, asimétricas (si están asociadas a una condición de cuña) o irregulares (si asociados con puntos altos). Estos tipos básicos de perfiles se ilustran en la figura 2.14. Una corona, o perfil convexo es aquel que tiene un aumento bastante uniforme en el calibre de no menos de 0.0015 pulgadas. de cada hombro al centro de la tira, como se ilustra en la figura 2.14. Un perfil plano muestra poco o ninguna variación en el calibre entre los hombros, y un perfil cóncavo exhibe un espesor central menor que en los hombros. Un perfil de cuña es aquel en el que el espesor en un hombro excede el del otro por 0.001 pulgadas o más [5,6].





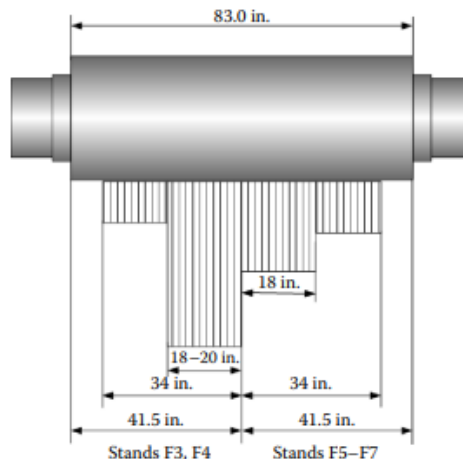
**Figura 2.14. Tipos Básicos de Perfiles de Lámina Caliente de Sección Transversal [6].**

A través de simulaciones de las condiciones térmicas de los rodillos de trabajo en los castillos de acabado del laminador de bandas en caliente, se ha establecido que el patrón particular del enfriamiento del rodillo y la desviación de la banda de la línea central del molino se encuentran entre las causas principales de las irregularidades del perfil de la banda caliente mencionadas anteriormente. Datos experimentales han probado los hallazgos [2,4,6].

Las irregularidades del perfil de la tira en la banda caliente producen defectos conocidos como acumulación o crestas en la bobina reducida en frío. Tales crestas, aunque sólo un poco más gruesas que la mayor parte de la tira, puede explicar una acumulación de un cuarto de pulgada o más en los cientos de vueltas del rollo banda [6].

### 2.4.2. Patrón de Enfriamiento del Rodillo de Trabajo

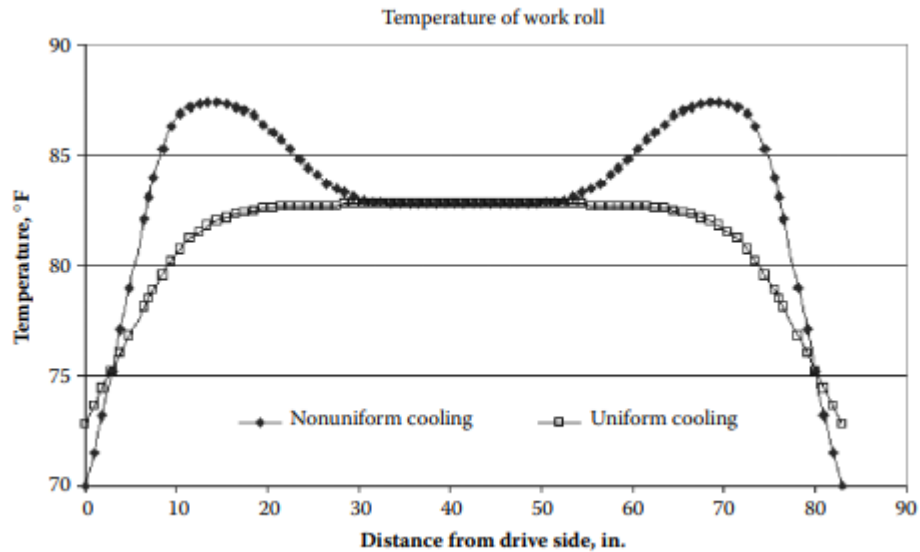
El patrón del flujo de agua de refrigeración aplicado a un rodillo de trabajo tiene un máximo en la sección media del rollo y se estrecha hacia los bordes, como se muestra en figura 2.15. En algunos casos, debido a una condición particular del molino, se usa un patrón opuesto con un flujo de agua más bajo en el medio que en los bordes. Incluso cuando el patrón de enfriamiento real no es uniforme, la mayoría de los modelos de expansión térmica del rodillo de trabajo que son utilizados para la configuración del molino de acabado suponen que la transferencia de calor el coeficiente de enfriamiento es constante a lo largo de la longitud del rollo [3,4].



**Figura 2.15. Patrón de flujo de agua de refrigeración [7].**

Un rasgo característico de la distribución de la temperatura del rollo a lo largo de la longitud del rollo en el caso de enfriamiento no uniforme (Ver figura 2.16), es la presencia de dos máximos ubicados simétricamente entre la línea central y los bordes. Tal la apariencia difiere de lo que normalmente se mide en el final de la

campana de rollos después de laminar productos estrechos, cuando se detecta un patrón familiar de temperatura en forma de campana [7].



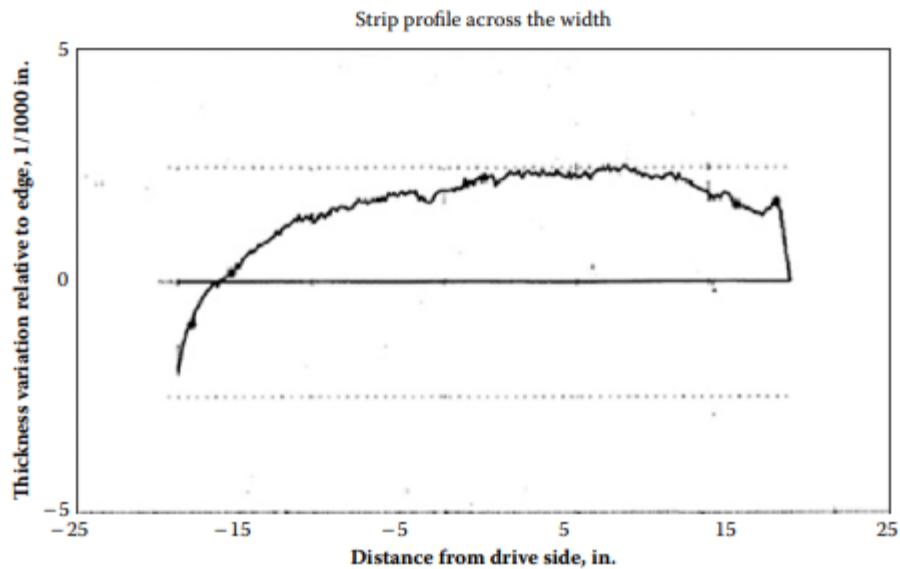
**Figura 2.16. Comparación de temperatura de rodillo con uniforme y no uniforme enfriamiento [7].**

La suposición de un coeficiente de transferencia de calor constante en refrigeración, cuando se aplica el flujo de agua de refrigeración real de manera no uniforme, tendrá un efecto adverso en la precisión de predicción del perfil de la lámina de productos anchos y conducirá a producir referencias incorrectas para el doblado y desplazamiento de los actuadores de rodillos.

El beneficio de usar el patrón de enfriamiento uniforme es obvio. El enfriamiento uniforme produce un perfil deseado de las bandas calientes sin acumulaciones en los bordes.

### 2.4.3. Impacto del Perfil de Lámina Rolada con Desplazamiento de la Línea Central del Molino

Reconstrucción de un lado con una condición de cuña, como se muestra en la figura 2.17, es otra irregularidad de la banda caliente transversal perfil, aunque no está relacionado con un patrón de enfriamiento, sino que es todavía asociado con el perfil térmico del rollo [3,7].



**Figura 2.17. Reconstrucción de un Lado de Perfil con Condición de Cuña [7].**

Para minimizar la ocurrencia de acumulación en un lado acompañada por una condición de cuña, la desviación de la lámina del molino, la línea central debe mantenerse dentro de  $\pm 1$  pulg.

#### 2.4.4. Proceso de Enrollado en el Molino Caliente

Otro de los factores que afectan la planeza del Skin Pass es la tensión de enrollado que se aplica durante el conformado del rollo en el Molino Caliente. Tensiones excesivas pueden originar deformaciones y afectar la calidad de la planeza durante el paso por el proceso de Skin Pass.

A continuación, se describe un resumen del proceso de enrollado en un el Molino Caliente. Se aplican 3 fases operativas del proceso de enrollado: 1.- Preparar el enrollador para recibir lámina. 2.- El bobinado del rollo y 3.- Retiro del rollo. Para efectos de aplicación solamente describiremos la parte 2.

1.- La punta del rollo pasa por el ultimo stand del Molino acabador.

\* En este momento se activan los cabezales de enfriamiento y los cabezales de barrio de agua.

\* Se activan también los cabezales de barrido de agua a la entrada de el rodillo pinch roll.

2.- Cuando la punta del rollo pasa por el Stand 3 del Molino.

\* Se inicia el tracking de la lámina.

\* La distancia entre la fotocelda 1 y 2 se utilizan como zonas de medición para el ajuste de las guías de entrada del enrollador.

\* La llegada de la lámina al rodillo pinch roll es calculada por el sistema de tracking de la lámina. Se abre un gap en el cual se evalúan los valores de los transductores de presión del rodillo pinch roll superior.

3.- La punta de la lámina pasa por el rodillo inferior.

- \* El sistema de ajuste de rodillo pinch roll superior se conmuta al control de fuerza.
  - \* Se activa el agua de refrigeración adicional para los rodillos pinch roll.
  - \* La guía lateral de lado motriz se mueve hacia la orilla de la lámina y entra el control de fuerza de las guías.
- 4.- El mandril enrollador ha envuelto 1 o 2 vueltas de la lámina.
- \* Todas las mordazas están expandidas.
- 5.- El mandril enrollador ha aumentado la tensión.
- \* Los rodillos formadores se retraen.
  - \* Se levanta la placa de conducto de entrada.
  - \* Los grupos de mesas de rodillos cambian a velocidad de desbaste.
  - \* Los rodillos pinch roll cambian a control de tensión proporcional.
- 6.- A continuación, la lámina se enrolla a una tensión constante.
- 7.- Antes de que la lámina pase por el último stand del molino acabador.
- \* Los grupos de mesas cambian a modo de “velocidad retardada”
  - \* Los rodillos pinch roll adoptan la tensión de la lámina.
  - \* Los rodillos formadores se aceleran y reposicionan lentamente según el diámetro de rollo calculado.
- 8.- Por último, la velocidad de rodillo pinch roll inferior sigue la velocidad del Molino y el rodillo superior pinch roll se eleva y se apagan los cabezales de enfriamiento y de barrido de agua.

## 2.5. Dispositivos para Controlar Planeza en Skin Pass

Los dispositivos de medición de planeza se conocen comúnmente como medidores de forma de contacto. Este tipo de dispositivo es el más antiguo y utilizado, por lo que podemos encontrar muchos modelos diferentes diseñados por muchas empresas diferentes. Este tipo de herramienta se coloca comúnmente entre el último soporte rodante y el enrollador, donde la tira está experimentando la tensión necesaria para un enrollado de bobinas rápido y correcto (el proceso de enrollado final en la tira). Normalmente, esta es la mejor posición porque hay espacio para colocar el aparato y el dispositivo permanece accesible. La tensión de la tira en esta posición puede ocultar la ondulación en la superficie de la tira, aumentando la precisión necesaria para medir la planeza [3,5].

Los medidores de forma de contacto, que incluyen el Stressometer y el Betriebsforschungsinstitut (BFI) son tecnologías que han estado en uso durante más de 40 años y son conocidas como el estándar mundial en la medición de la planitud de tiras [4–6].

El Estresometro se basa en transductores de medición y el rodillo de planitud BFI se basa en sensores piezoeléctricos de fuerza. Estos sensores pueden medir la presión distribución a lo largo de la longitud del rollo, y de estos valores, la se calcula la variación de la tensión de tracción a lo largo del ancho de la tira. A partir de la tensión de tracción, es posible calcular la ondulación de la tira usando la relación matemática:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta \sigma_x}{E_S}$$

donde  $\Delta L$  es la diferencia entre el más corto y el más largo fibra a través del ancho de la tira,  $L$  es la longitud de la onda,  $\Delta\sigma_x$  es la variación del esfuerzo de tracción a lo largo de la tira, y  $E_s$  es el módulo de elasticidad del material [3].

### 2.5.1. Rodillo BFI

El rodillo medidor de forma de BFI (Betriebsforschunginstitut) se desarrolló en 1976, estos son rodillos de cuerpo sólido con sensores distribuidos radialmente alrededor del cuerpo del rodillo, ya sea en bolsillos con tapas de sensor, tipo P o insertado en orificios axiales, tipo A. Los sensores son células de carga piezoeléctricas [5].

El sensor piezoeléctrico se compone de un elemento sensor de cristal sellado en una carcasa metálica, que luego se pretensa en la posición de medición. A medida que se aplica fuerza al sensor, el cristal se deforma y genera una carga que, mediante el uso de un amplificador de carga, genera un voltaje que es proporcional a la fuerza [3,5].





**Figura 2.18. Imagen Representativa de Rodillos BFI [5].**

Ventas y Consideraciones de rodillo medidor de forma BFI

*Ventajas:*

- Alta resolución con una precisión de medición de 1,0 unidades I.
- Aparte de las fuerzas radiales, los sensores también pueden medir la temperatura y la posición del borde de la tira.
- Construcción muy simple y robusta.
- Libre de mantenimiento, excepto rodillos con revestimientos de goma.
- Se puede utilizar en la posición de rollo deflector con ángulos de envoltura altos.
- Se puede utilizar para todos los materiales, grados de materiales, espesores y tensiones.
- Electrónica compacta y fácilmente configurable.
- Calibración sencilla.
- Separación de zonas muy flexible en rollos tipo A.

### *Consideraciones:*

- Si bien la tolerancia a la temperatura de la banda cubre la mayoría de los laminados en frío, hasta 180°C, algunos al laminarlos en frío calentarán el rollo lo suficiente como para que causen la deriva del amplificador de carga, aunque algunos fabricantes ofrecen refrigeración para los rodillos.
- Un conjunto de medidas por revolución [5].

### **2.5.2. Rodillos Pressductor ABB**

El rodillo Estresometro de ABB es una de las tecnologías más antiguas, con el primer rodillo entregado en 1967 (~1700 en servicio). Funciona mediante el uso de la tecnología Pressductor (magneto elástico) desarrollada por ABB [5].

El Pressductor ABB funciona según el principio de cambiar la permeabilidad a través de la deformación de las celdas de carga. La celda de carga es un núcleo ferromagnético laminado con 2 bobinas: una bobina primaria que suministra el voltaje de excitación de CA y una bobina secundaria que actúa como sensor de medición de fuerza. Los Pressductors están dispuestos en canales de montaje en el cuerpo del rollo en ángulos de 90°. Esto significa que cada revolución de rollo genera 4 medidas que pueden utilizarse individualmente (a bajas velocidades) o integradas. Los dos sensores disponibles los espacios son de 26 mm y 52 mm. El sensor está cubierto por anillos segmentados o una cubierta exterior sólida recubierta de cromo o carburo de tungsteno [3,5].



**Figura 2.19. Imagen de Ejemplo de Rodillo ABB [5].**

### Ventajas y Consideraciones del Estresometro ABB

#### *Ventajas:*

- Alta resolución con una precisión de medición de 1,0 unidades I.
- La disponibilidad de 4 medidas por revolución es útil en el caso de laminación a muy baja velocidad o alta frecuencia alteraciones de la temperatura.
- Muy alta tolerancia a la temperatura del fleje para laminación en frío: Hasta 240°C.
- Diseño muy robusto, generalmente considerado como los rodillos más resistentes.
- Puede usarse en la posición de rodillo deflector con ángulos de envoltura altos (a veces requiere un rodillo antiarrugas).
- Puede usarse para todos los materiales, grados de material, espesores y tensiones.
- Calibración sencilla.

#### *Consideraciones:*

- Equipo más complejo con un gabinete completo requerido solo para el rodillo.

- Algunas versiones requieren un humidificador para la unidad de transmisión de señal.
- Las versiones más nuevas requieren purga de aire medida y filtrada por separado para el cuerpo del rodillo y el sistema electrónico del rodillo [5].

### **2.6. Proceso de Skin Pass**

El propósito de una línea de Skin Pass es formar las propiedades mecánicas, mejorar las propiedades superficiales y dimensionales, así como alivio de tensiones en la lámina de acero. Este proceso es deseable para tener bobinas con un espesor uniforme, superficie plana, dar elongación para prevenir efectos de tableado, eliminar efectos en los extremos, así como inspeccionar defectos que se pudieran originar en el proceso del laminado en caliente.

El Skin Pass de Planta Guerrero cuenta con un Molino 2 en alto, un rodillo medidor de planeza mediante el cual se monitorea y corrige la forma del material en un lazo cerrado, y una mesa de inspección previo al enrollador de salida [15]. La función de este proceso es corregir eventuales defectos de planeza, dar una elongación para prevenir efectos de tableado en los productos, eliminar defectos de extremos, dividir rollos, inspeccionar defectos eventuales de proceso requeridos en los diseños de productos laminados en caliente. En función de estos requerimientos de planeza se ocupó para determinados productos evaluar la forma en la que estaba saliendo la lámina en líneas auxiliares. Pues no podía ser relevado con la medición convencional debido a los efectos remanentes de tensionado en el producto [15].

En el proceso de Skin Pass se refiere a un término de tiro de tensiones que se significa la aplicación de tensión controlada en la lámina durante el proceso de esta. Esta tensión se aplica de manera transversal o longitudinal a través de la lámina con diferentes propósitos.

1. Mejora de la Planeza.
2. Control de Propiedades Mecánicas.
3. Reducción de Tensiones Residuales.
4. Mejora de Superficie.

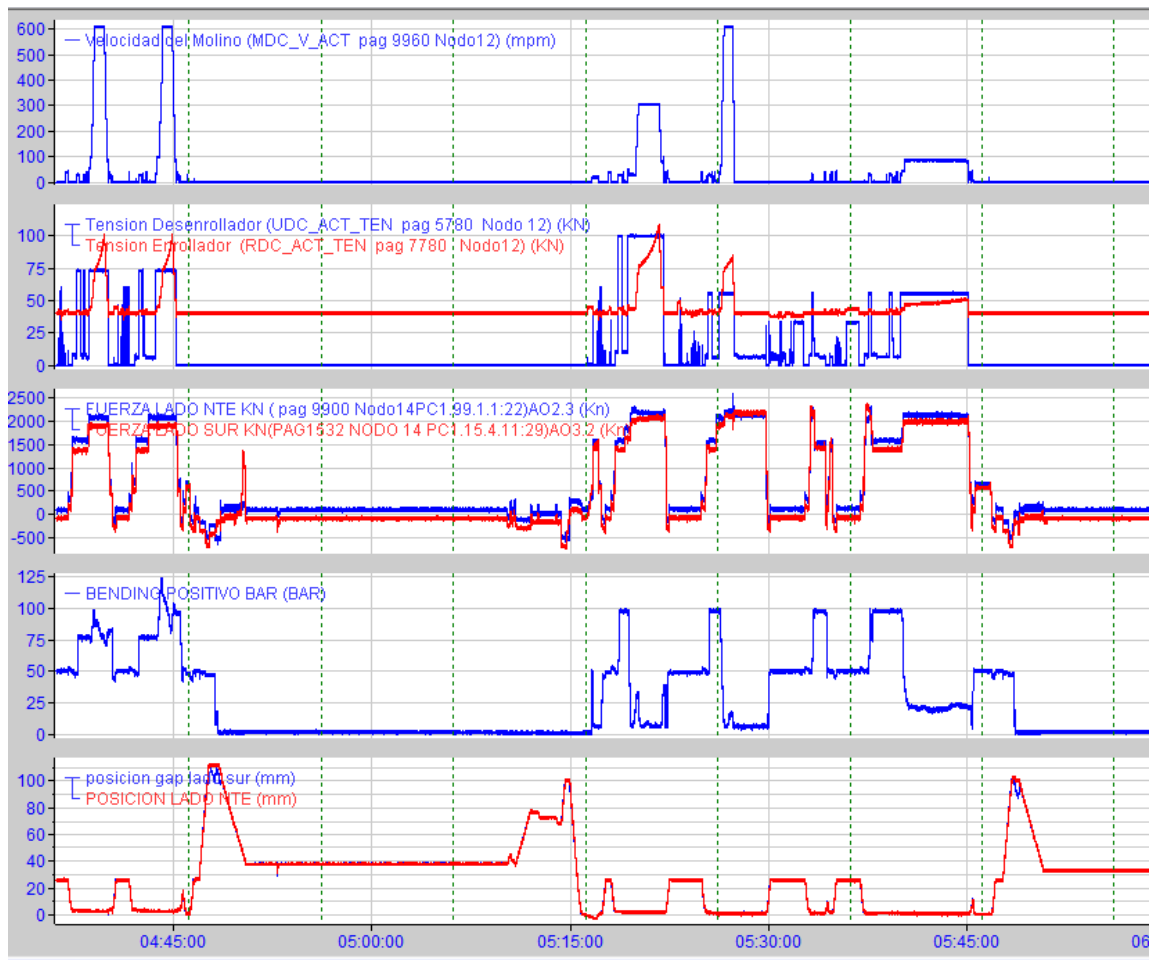



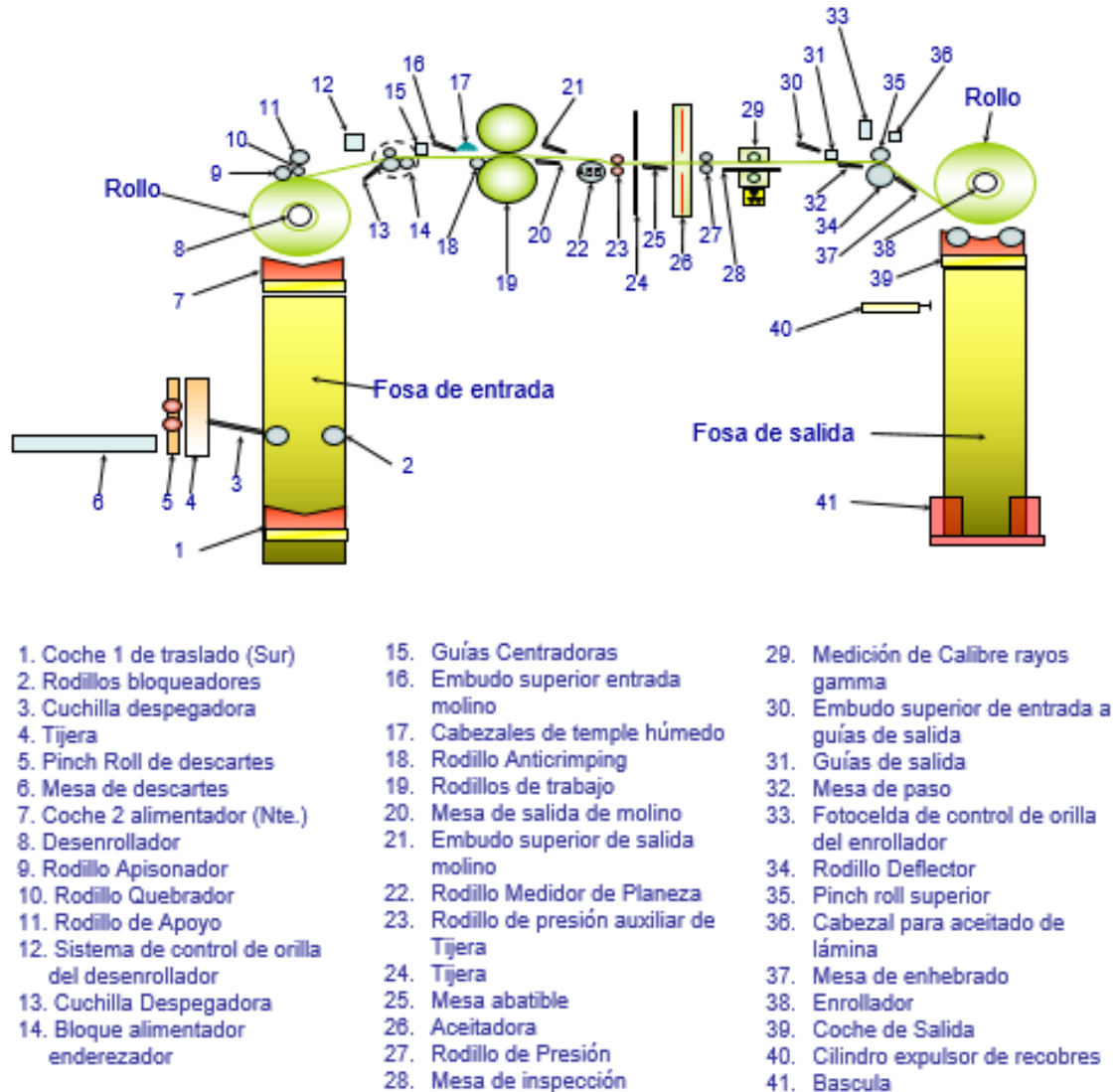
Figura 2.20. Gráfico de Variables de Proceso de Rollos de Skin Pass.

Estas tensiones son varían en comparación con otros Skin Pass de Ternium debido a la configuración del Molino.

**Tabla 2.4. Capacidades de Operación de Molino Skin Pass Guerrero**

 Skin Pass		México	
		Guerrero	SKP GUE
Capacidad PEA2021	Mt/año	1093	
Productividad Neta PEA2021	t/h	175	
General			
Proveedor/Fabricante			
Inicio de Operación	año	1994	
Último Revamping	año		
Fabricante Equipos		Cosim	
Mecanismo de alimentación	tipo manual/auto	Carro transportador	
Enhebrado	m	Automatico	
Preparación del material	si/no	Sí	
Debobinador	tipo	Mandril Debobinador	
Potencia TEMPLE	Kw	1716	
Porcentaje de elongación	%	1% - 3%	
Velocidad máxima de salida	m/min	610	
Rango Ancho Bobina entrada	mm	635 - 1346	
Presion Maxima de Bending	Bar	160	
Tensiones Minima y Maxima	Kn	45-147	
Fuerza Maxima	Kn	6	
Potencia Motor Molino	HP	2500	
Potencia Motor Desenrollador /Enrollador	HP	1000	
Rango Espesor Bobina entrada	mm	.912 - 6.25	
Peso de bobina (máx. - mín.; prom.)	t	Max:25t ; Prom:18t	
Diámetro máx. de rollo a la entrada	mm	1905	
Diámetro mandril a la entrada	mm	Entrada: 508, 609.6 y 711.2 Salida: 508 y 711.2	
Diámetro máx. de rollo a la entrada	mm		
Tipo de Stands		2 en Alto	

1



**Figura 2.21. Proceso de Skin Pass Planta Guerrero Ternium.**

Y a continuación se describen los pasos típicos del proceso de Skin Pass:

1. Material de entrada: El proceso comienza recibiendo rollos del proceso de Laminado en Caliente. Estos rollos suelen tener una superficie rugosa, espesor irregular y tensiones internas debido al proceso de laminación en caliente. Se descartan algunos metros para quitar el maltrato de las

últimas vueltas para poder quedar la punta lo más uniforme posible y comenzar su proceso.

2. **Desenrollado:** Los rollos de acero se desenrollan y se alimentan a través de un mandril desenrollador donde se genera una tensión de entrada. Posteriormente pasa por una serie de rodillos, guías centradoras y centradores de lámina que garantizan que el rollo esta tensado y alineado para entrar a los rodillos de trabajo.
3. **Enderezado:** El primer paso importante del proceso de Skin Pass es el enderezado. Se utilizan rodillos enderezadores para eliminar las deformaciones y tensiones residuales en la lámina. Esto ayuda a mejorar la planitud y la rectitud de la lámina.
4. **Refrigeración:** Después de pasar por los rodillos de Skin Pass, la lámina de acero se enfría mediante la aplicación de agua o aceite para evitar que se recaliente. Esto ayuda a evitar que se produzcan deformaciones adicionales en la lámina y también contribuye a mejorar sus propiedades mecánicas.
5. **Skin Pass:** El núcleo del proceso implica la aplicación de una alta presión a través de un conjunto de rodillos Skin Pass. Estos rodillos están diseñados para reducir el espesor de la lámina de acero y alisar su superficie. La reducción de espesor generalmente es pequeña, menos del 1% que garantiza la uniformidad del espesor. Además, dentro del Molino se cuenta con un sistema de flexión de rodillos el cual ayuda a mover los rodillos de forma axial para ayudar a corregir defectos superficiales de la lámina (ondulaciones)
6. **Bobinado:** Una vez que la lámina ha pasado por el proceso de Skin Pass el rollo se enrolla nuevamente para un proceso posterior o entrega a cliente.



## CAPÍTULO 3. EXPERIMENTACIÓN

### 3.1. Introducción

Se realizó una caracterización de variables dentro del Molino Caliente 2 para enviar lotes de rollos con los cuales pudieran realizarse pruebas que permitan al Skin Pass eliminar o corregir posibles defectos de mala planeza. Estas variables comprenden modificación de la temperatura de enrollado en el cual se incrementarán los valores, cambiar el perfil de la lámina a un valor menor es decir de un perfil en promedio de 65  $\mu\text{m}$  se bajará hasta un promedio de 35  $\mu\text{m}$ , así como establecer una práctica de add value de tensión de enrollado en la cual se mantenga en un valor prácticamente de 0.

Posteriormente con estos valores se realizarán pruebas en el Skin Pass donde cambiaremos las coronas de rectificado de los rodillos de trabajo de valores desde -0.024 mm hasta valores de 0.0762 mm. Las tensiones que se usaran de Desenrollador y Enrollado en los mandriles variaran de 55 KN hasta los 147 KN.

### 3.2. Composición Química de Producto

Se realiza un análisis químico de algunos Lotes de prueba procesados para certificar su química.

Este ensayo para poder realizarlo se utilizó el equipo Spectro spectrolab cortando una muestra de 20cm x 20cm para identificar el acero utilizado en las pruebas con los que buscamos trabajar durante los ensayos para medir la planeza. El equipo utilizado fue un Spectro LAB (CSP-HO-G06-02).

**Tabla 3.1. Valores Obtenidos para Determinar la Composición Química del Acero a Realizar Pruebas 7093 y 4092**

SEGÚN NORMA: ASTM E415						
IDENTIFICACION	% C	% Mn	% Si	% S	% P	
Probeta 1 (7093)	0.065	0.423	0.027	0.004	0.004	
Probeta 2 (4092)	0.053	0.329	0.031	0.002	0.003	

## 3.2. Caracterización de Variables Molino Caliente

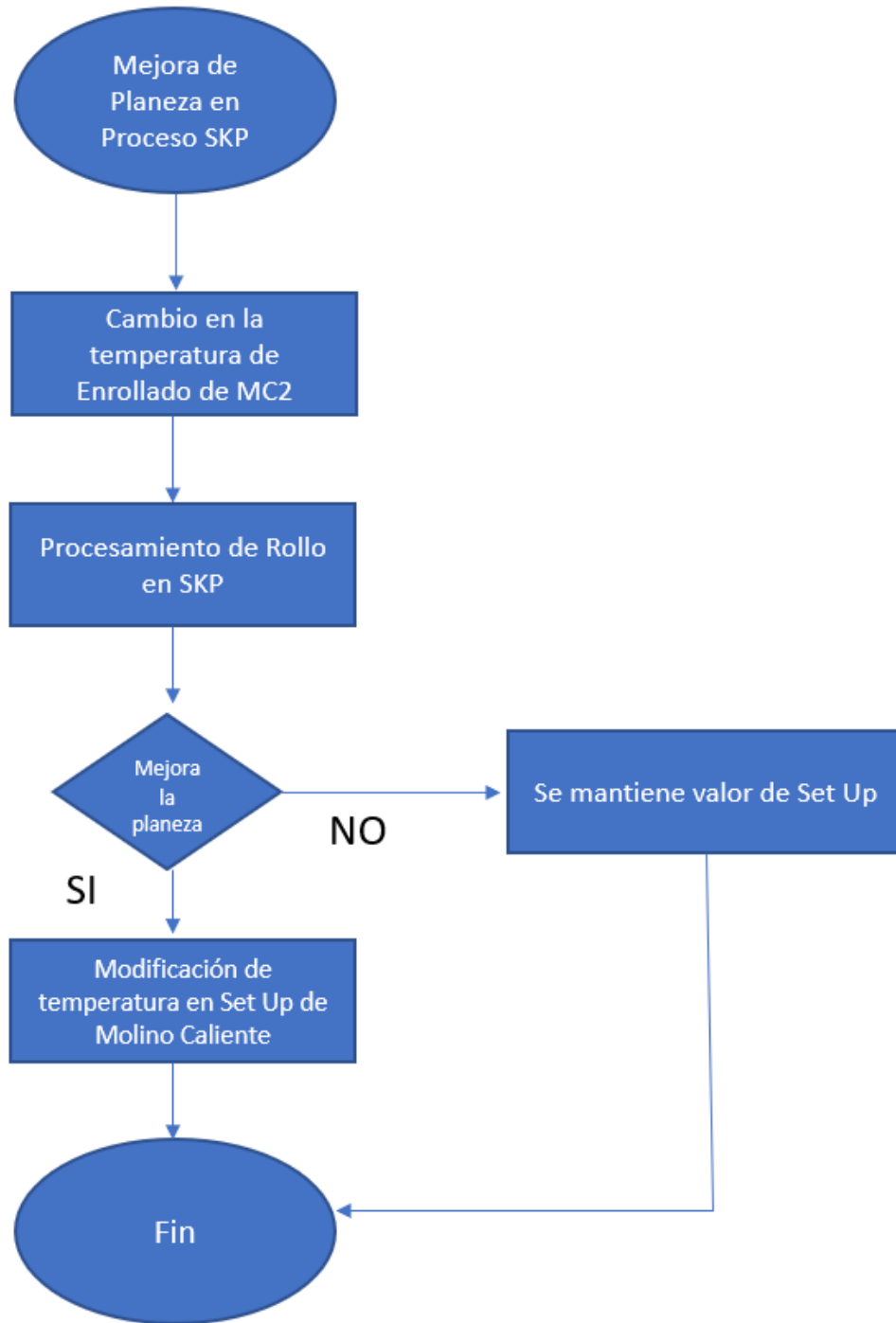
### 3.2.1. Temperatura de Enrollado

Una de las pruebas que se llevó a cabo una prueba modificando la temperatura de enrollado desde el Set up del Molino Caliente 2, donde se pretendió incrementar la temperatura de 615 °C a temperatura de Enrollado a 650 °C y en otros dos casos hasta 665°C esto con el fin de tener un enfriamiento más caliente largo y ancho de la cinta que provoque por calentamiento eliminar posible defecto de “Comba (Cross Bowl)” debido a que el centro se enfríe menos que las orillas de la cinta y esto provoque una deformación térmica que propicie a que se desarrolle el defecto.

**Tabla 3.2. Prueba de modificación de Temperatura de Enrollado**

<b>Número de Rollo</b>	<b>Temperatura de Enrollado (°C)</b>
2A987147GM200	650
2A987151GM200	650
2A987155GM200	665
2A987156GM200	665

En la tabla 3.3 se muestran los rollos que fueron modificadas las temperaturas y que además tenían un perfil de 60  $\mu\text{m}$  aproximadamente además de las variables de espesor que será de 1.9 mm y un ancho de 1220 mm de la lámina. Se utilizó el acero 7093 para estas pruebas con rollos que van en peso desde las 18 a 21 toneladas.

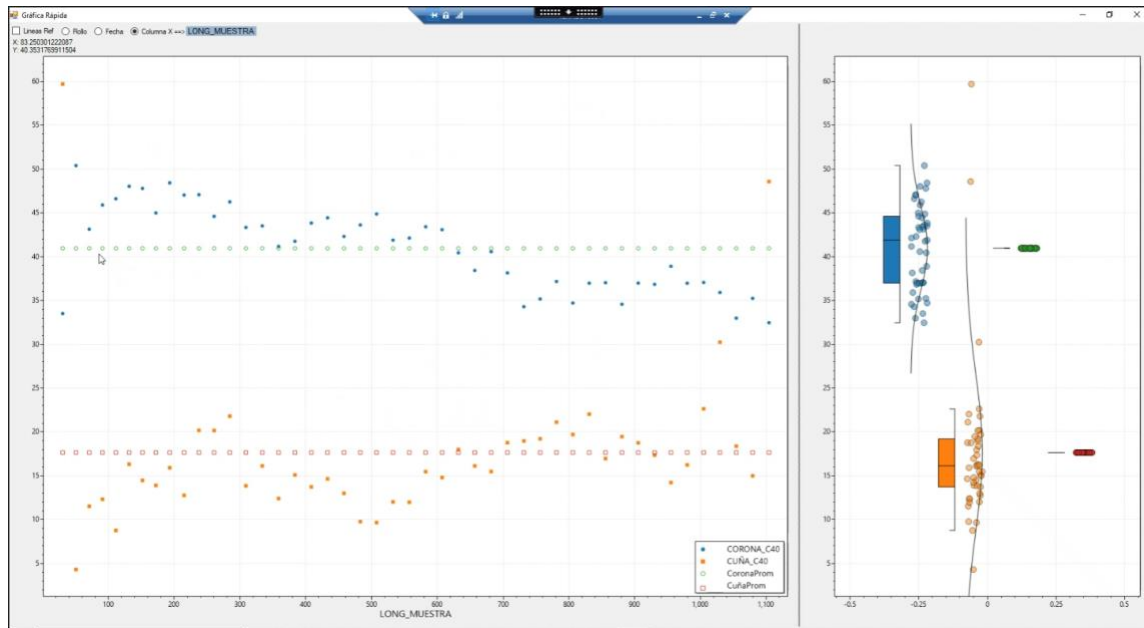


**Figura 3.1. Diagrama de Flujo de Prueba de Cambio de Temperaturas de Enrollado en MC2.**

### 3.2.2. Perfil de Corona de Lámina

Otro de los factores importantes que pueden influir en la formación de una buena planeza en el material a través de los procesos es el Perfil de Corona que se genera en la Laminación en Caliente. Como se mencionó en el marco teórico cualquier irregularidad en el perfil de la cinta provocara irregularidades en la forma que posiblemente no puedan ser corregidas en líneas posteriores. En esta prueba se busca modificar la Corona de hasta 73  $\mu\text{m}$  reportadas con las que se trabajan normalmente este tipo de productos, el objetivo de esta prueba es obtener un valor de 40  $\mu\text{m}$  favoreciendo la laminación en el Skin Pass buscando deformar menos la lámina con menos material al cambiar el perfil. Para este se tendrá que trabajar en el Skin Pass con una Corona mecánica de los rodillos de trabajo para no provocar un posible defecto de Ondulación en Centro en el material debido a una alta corona mecánica de rodillos por los esfuerzos y deformaciones aplicados al laminar en frío. El defecto que se busca reducir es la ondulación al centro y de acuerdo con la teoría de los rodillos de trabajo es por eso que se busca laminar con un Perfil de Corona de Lámina más bajo a objetivo de 40  $\mu\text{m}$  con una corona de rectificado menor tratando de minimizar lo menos posible el defecto por la capacidad también del Bending que no tenemos en este Skin Pass negativo que favorecería el corregir estas ondulaciones al centro (Capacidades mencionadas en tabla 2.4).

El medidor de perfil se encuentra a la salida del Molino 6 utiliza una serie de sensores y transductores los cuales miden el grosor de la lámina en diferentes puntos a medida que la lámina avanza por el laminador, en este caso los sensores son de rayos X que envía datos al sistema de adquisición de datos del medidor, compara los valores deseados con los medidos y genera desviaciones.



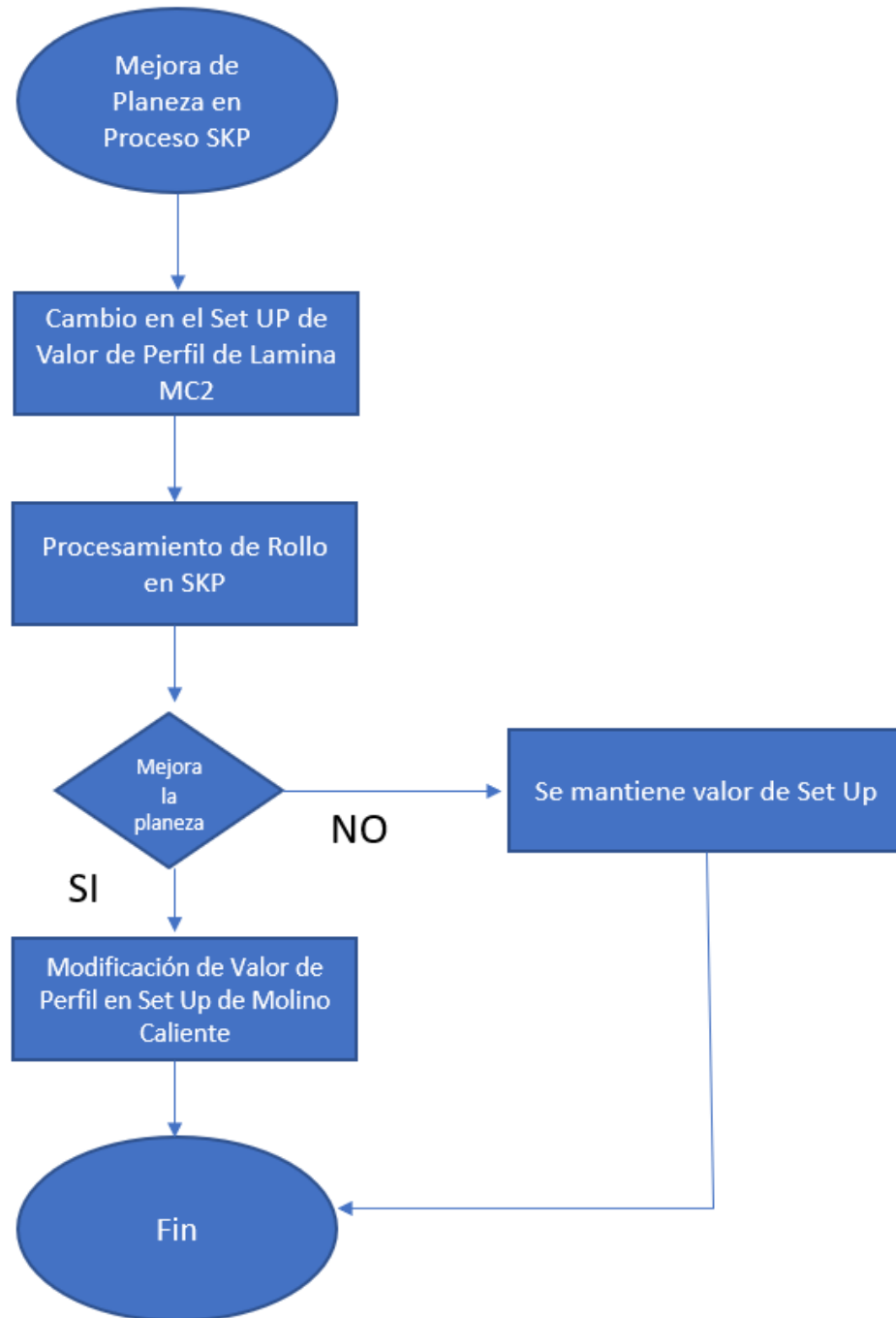
**Figura 3.2. Muestra de Perfil de Lamina Caliente.**

En la figura 3.2 se observa un ejemplo de la construcción del perfil de Lamina Caliente con un objetivo de 40  $\mu\text{m}$  (Gráfica inferior).

**Tabla 3.3. Prueba de modificación de Perfil Corona de Lámina en Caliente**

<b>Número de Rollo</b>	<b>Perfil MC (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Acero</b>
2B008018GM200	35	7093
2B008021GM200	38	7093
2B008032GM200	40	7093
2B052117GM200	30	4092
2B051071GM200	40	7093
2B052598GM200	45	4092
2B052600GM200	45	4092
2B193211GM200	44	7093
2B192779GM200	40	7093
2B193925GM200	35	7093

En la tabla 3.3 se muestran las pruebas de lotes corridos en la cual las variables obtenidas aparte del Perfil en Micras que se obtendrán serán las siguientes: el espesor de lámina será de 1.9 mm, en un ancho de 1220 mm y a una temperatura de enrollado promedio de 620°C. Los rollos en cuestión tienen una composición química de Acero 7093 y 4092 que van de un peso de 18 a 20 toneladas.



**Figura 3.3. Diagrama de Flujo de Prueba de Cambio en el Perfil de Lámina de Molino Caliente.**



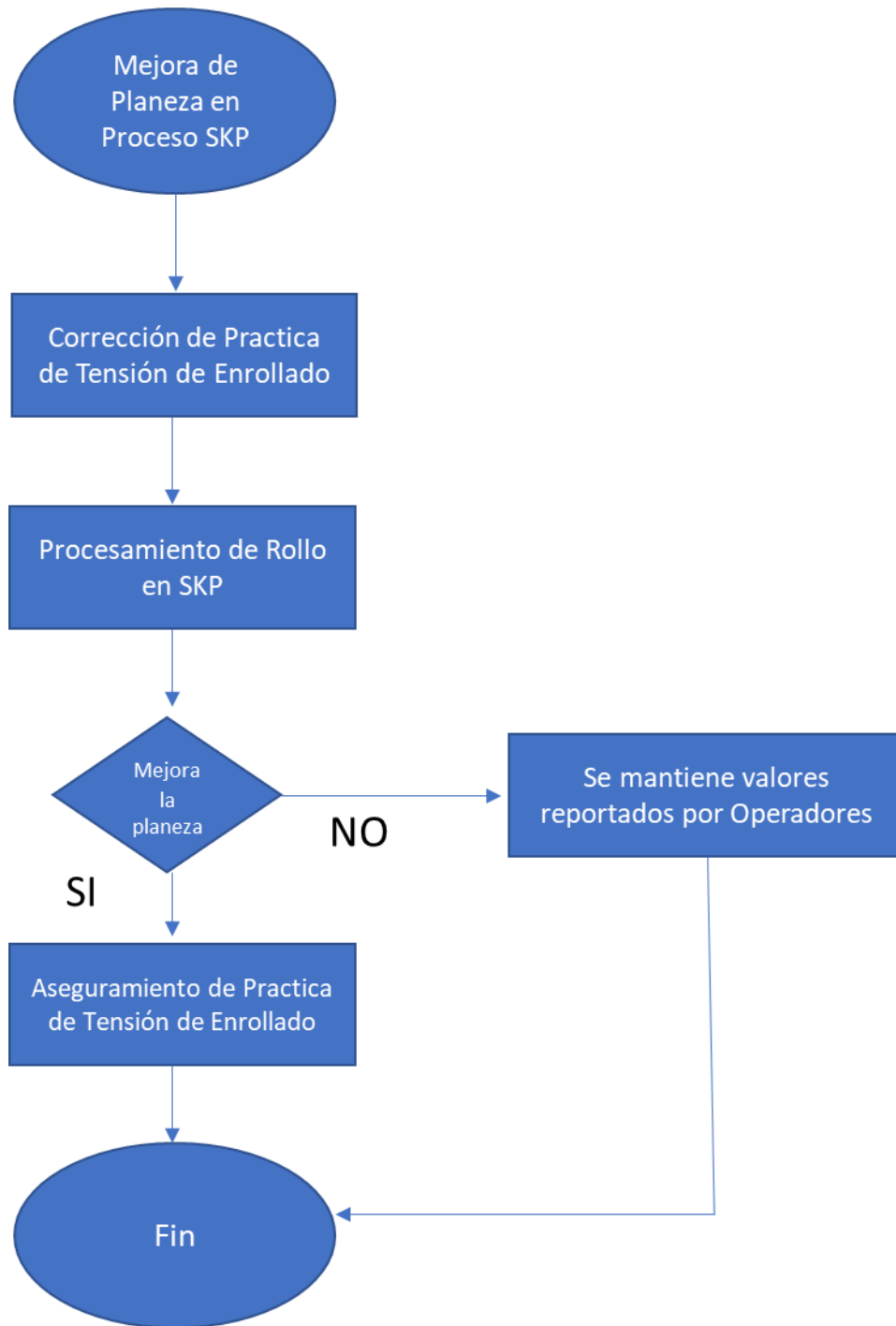
### 3.2.3. Tensiones de Enrollado

Las tensiones de enrollado son un factor determinante dentro de un laminador en caliente para controlar y dar buena planeza al material cuando sale del Molino Caliente. Los valores de tensiones de enrollado dependen de varios factores dentro del Molino como son: calibre, ancho, velocidad de laminado, temperatura de enrollado.

Por practica el operador mueve manual este add value de acuerdo con la visión que tiene del conformado de enrollado. La tensión de enrollado que se maneja está en los 60 KN para estos productos, más aparte el add value de tensión que agregan de acuerdo con su criterio, para estos casos se le pidió por practica no mover el add value poniendo un valor de 0 N/mm<sup>2</sup>.

Se controla de forma manual en la operación de las variables de los enrolladores para realizar una prueba y posteriormente observar el efecto en el Skin Pass.

En este lote de rollos corridos el perfil de lámina del MC2 estuvo en un promedio de 40 µm, el calibre fue de 1.91 mm y en ancho de 1220, siendo un acero 7093.



**Figura 3.4. Diagrama de Flujo de Prueba de Corrección de practica de Tensión de enrollado en Molino Caliente.**

### 3.3. Caracterización de Variables en Skin Pass

Dentro del proceso de Skin Pass se caracterizarán diferentes variables como son las tensiones de desenrollado y enrollado en la lámina, fuerza de deformación aplicada a la lámina con los rodillos de trabajo, el Bending usado durante el proceso que se menciona en el capítulo de literatura que básicamente ayuda a flexionar los rodillos de trabajo para buscar corregir defecto de ondulación en orillas o centro dependiendo de la forma de la lámina al desenrollarse antes de pasar por el proceso de Skin Pass.

Durante estas pruebas de proceso la forma de medir la planeza se utilizarán por medio de un rodillo de marca ABB que explicaremos la forma en la que se trabaja y que ya durante el capítulo anterior se menciona un método de forma de controlar y verificar la planeza del material durante la laminación en frío.

Además de esto se comprobará el análisis medido por medio de una práctica de medición de altura de orillas y centro de la lámina por medio de una Escala Marca Mitutoyo 950 – 300 bolsillo, Regla de acero, 6"/150 mm (1/162.6 cm/1 mm), 1/2" de ancho, colocada sobre un Nivelador Trupper NTX-9, Nivel Torpedo Magnético de cuerpo de aluminio con 10" de largo.

Se trabajará con Rodillos Rectificados con Corona 0.0762 mm, 0.0254 mm y – 0.0254 mm con Rodillos de Alto Cromo, y Rodillos Corona 0.0254 mm de tipo Forjados.

### 3.3.1. Preparación de Rodillos de Trabajo

#### 3.3.1.1. Rodillos de Trabajo Alto Cromo

Para realizar las pruebas con los diferentes tipos de rodillos de Skin Pass (Forjados y Alto Cromo) se realizó la preparación del rectificado de rodillos con diferentes coronas mecánicas. Para la prueba realizada en la sección 3.2.1 se utilizaron rodillos de corona mecánica de 0.127 mm que es con la que se trabaja normalmente, ya para las demás fueron variando estas coronas.

Se utilizaron rodillos de Alto Cromo con la siguiente composición química:

	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>
Capa	2.5-3.0	0.5-1.0	0.7-1.5	15.0-20.0	1.0-2.0	0.5-2.0	0-1.0
Núcleo	2.5-3.0	2.0-3.0	0.5-1.0	<0.1	0.3-1.0	<0.1	<0.05

La dureza de los rodillos es de 794-818 LD ShC (80- 85 ShC).

Se rectifican con las siguientes coronas mecánicas (Ver Anexo 1 para verificar las gráficas de rectificado):

- +0.0762 mm
- +0.0254 mm
- -0.0254 mm

Los diámetros de los rodillos van desde los 810 mm hasta los 750 mm.

El rectificado de las coronas mecánicas de los rodillos se realizó en una máquina Farrell.

Se realizan los siguientes pasos para asegurar el rectificado de rodillos:

1. Se verifican que los cuellos de los rodillos estén limpios.
2. Una vez montado el rodillo se mide el diámetro del rodillo con el micrómetro de exteriores restando a esta las milésimas mínimas a desbastar (una mínima es de 0.05" mm o hasta borrar posibles marcas).
3. Se asegura la lubricación de los cuellos del rodillo con aceite.
4. Se asegura que el rodillo este nivelado, centrado y alineado.
5. Se procede a rectificar.
6. Cuando se termina de rectificar se procede a marcar el centro del rodillo, así como realizar inspección visual que esté libre de defecto.
7. Se verifica con el calipper manual o electrónico que se cumpla con la corona deseada, en este caso se rectificaran a 0.0762 mm, 0.0254 mm y -0.0254 mm.

Tabla 3.4. Tabla de Secuencias trabajadas con Variables de Skin Pass

Rodillos	Número de Rollo	Tension Desenrollador (KN)	Tension Enrollador (KN)	Corona (mm) y Tipo de Rodillo
SWSP0007	2B096063GM200	74	74	0.0762
SWSP0004	2B096065GM200	74	74	Rodillos
	2B096066GM200	74	74	Alto
	2B096069GM200	74	74	Cromo
SWSP0003	2B052117GM200	74	74	
SWSP0004	2B051071GM200	74	74	
	2B052602GM200	74	74	0.0254
	2B052598GM200	74	74	Rodillos
	2B052600GM200	74	74	Alto
				Cromo
SWSP0001	2B008018GM200	74	74	
SWSP0002	2B008021GM200	74	74	-0.0254
	2B008032GM200	147	147	Rodillos
				Alto
				Cromo
8551	2B193211GM200	74	74	0.0254
8550	2B192779GM200	74	74	Rodillos
	2B193925GM200		74	Forjados
				74

En la tabla 3.4 se muestran los datos de los rodillos rectificados de Alto Cromo con las diferentes coronas y los números de rollos trabajados con cada rodillo, así como sus diámetros del par de rodillos superior/ inferior (Ver Anexo 1 para Diagramas de rectificado).

Para medir el perfil de los rodillos se usaron los caliper.



**Figura 3.5. Se muestran los diferentes Caliper usados para verificar la Corona de los Rodillos Rectificados. En la parte posterior se muestra uno de uso digital y en la parte inferior uno de uso manual.**

### 3.3.1.2. Rodillos de Trabajo Forjados

Otro tipo de Rodillos que se utilizan en el Skin Pass para laminar productos son los rodillos de material tipo forjado. Estos rodillos generalmente se usan en el Skin Pass para procesar material de reproceso que proviene de líneas de Decapados para corregir algún defecto.

Su composición química es la siguiente:

	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>
Min.	0.80	0.10	0.50	4.0	0.10	0.04
Max.	0.95	0.70	0.80	5.0	0.40	0.15

#### Propiedades Mecánicas:

Límite de Cedencia (Mpa): 800- 900

Esfuerzo Ultimo de Cedencia

(Mpa): 900- 1000

#### Características de Dureza:

Rango de Dureza (LD): 800- 900 (81.4-100 ShC)

Profundidad Máxima de Capa (mm): 40

De acuerdo con los rodillos usados se trabajarán con un rectificado de Corona 1. El procedimiento para el rectificado será igual que los anteriores y se medirán de la misma forma que los anteriores para comprobar su corona.



En la tabla 3.5 se muestran los rodillos utilizados con sus diámetros, así como las secuencias trabajadas con los Rodillos de material Forjado en este caso rectificado de corona de 0.0254 mm (Ver Anexo 2.1 para Diagramas de Rectificado).

### **3.3.2. Variación de Tensiones durante Proceso de SKP**

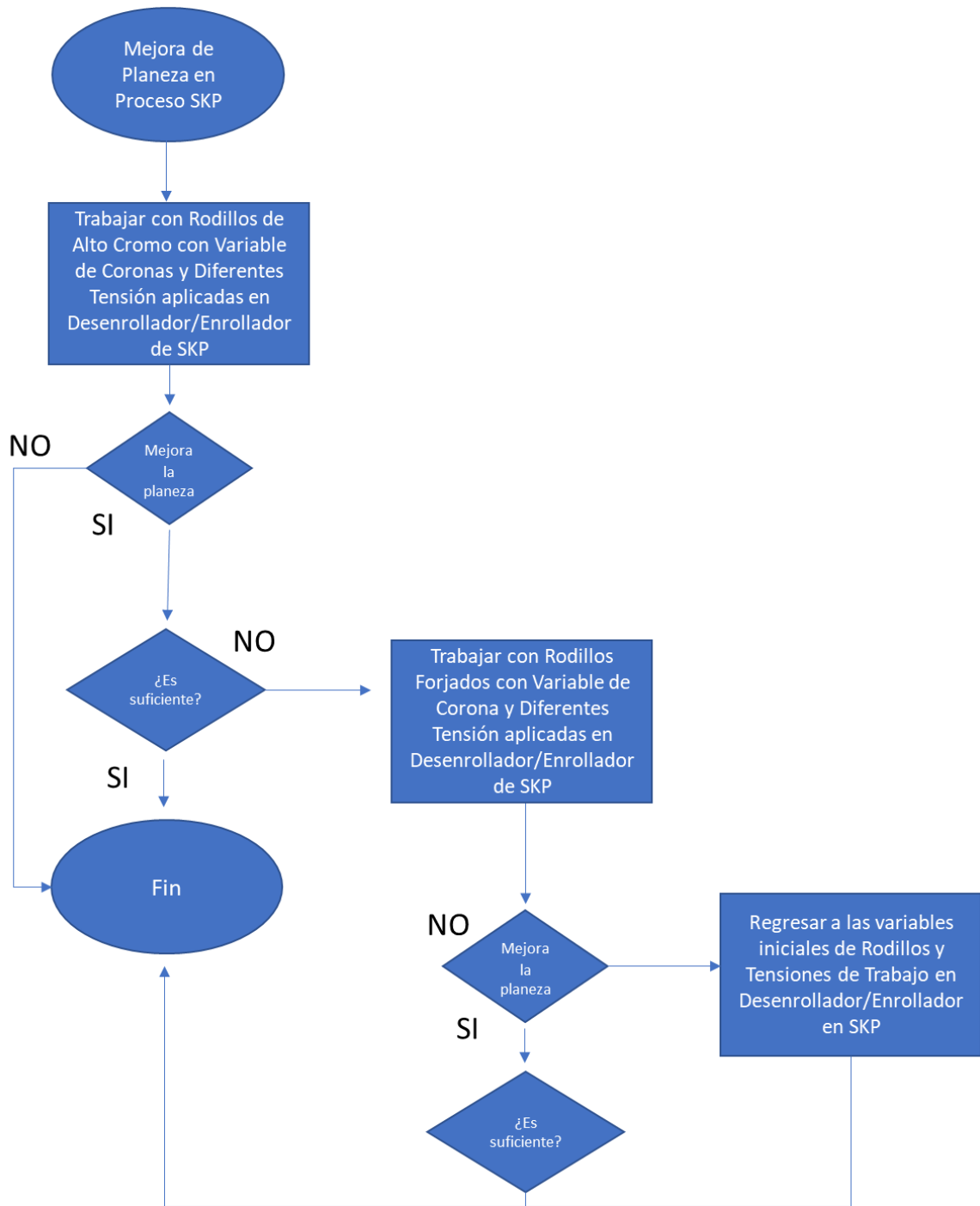
En el Skin Pass se trabajan diferentes tensiones que van desde los 45 KN hasta los 147 KN, tanto en el desenrollador como enrollador. Depende del tipo de Acero, Ancho y Espesor para aplicar estas tensiones y dependiendo del tipo de tensiones que se apliquen es la velocidad a la cual correrá la línea de proceso.

La caja reductora es una caja de doble relación de transmisión se cuenta con una marcha lenta con una RT de 13.32 y una marcha rápida con una RT de 6.16. La selección de marcha se realiza a través de un mecanismo de engranaje deslizante accionado por un cilindro.

Con la selección de marcha lenta se puede obtener una velocidad máxima de 301 MPM con la velocidad máxima del motor de 1660 RPM. Con la relación de marcha rápida la máxima velocidad de línea es de 602 MPM con una velocidad máxima de motor de 1660 RPM (Ver Anexo 2.2 para revisión de Planos Referencia de Planos de Caja Reductora y Datos de Diseño de Caja).

En la tabla 3.5 se enlistan los rollos trabajados con las diferentes tensiones en las pruebas realizadas por el Skin Pass. En los números de rollos

2A987147GM200 y 2A987156GM200 se observan tanto en las tensiones de desenrollado como enrollado dos valores diferentes ya que la prueba en esas dos secuencias en particular se cambiaron las tensiones a mitad de rollo para analizar su comportamiento. En el resto de los números de rollos siempre se mantuvo un valor constante de tensiones a lo largo del proceso de las secuencias.



**Figura 3.6. Diagrama de Flujo que muestra las variables a utilizar dentro del proceso de SKP.**

### 3.3.3. Dispositivo para Medición de Planeza en SKP

Todos los lotes de rollos fabricados para las distintas pruebas se pasaron por la línea de Skin Pass de Guerrero.

Para medir la planeza se utiliza un rodillo de marca ABB montado sobre la línea con tecnología Pressductor en el cual se producen señales como resultados de campos electromagnéticos cuando el transductor se somete a una fuerza mecánica. El principio de funcionamiento es crear el campo electromagnético alimentando continuamente una corriente alterna a uno de los devanados.

Los Pressductores están dispuestos en canales de montaje en el cuerpo del rollo en ángulos de  $90^{\circ}$ . Esto significa que cada revolución de rollo genera 4 medidas que permite el control rápido de la planitud. Tiene sensores de 26 a 52 mm de ancho para medir la planeza. Los sensores están protegidos por anillos de contracción.

El rodillo tiene una dureza de 54 HRC, con un diámetro de 313 mm.

Durante la laminación en Skin Pass se verifica por medio de este rodillo las unidades marcadas en las pantallas del software el cual obtenemos unidades  $N/mm^2$ . El rango de medición del rodillo va desde los  $60 N/mm^2$  hasta los  $-40 N/mm^2$  obteniendo una gráfica de colores en la cual llega hasta color rojo cuando genera más tensión y siendo el valor azul cuando se genera menos tensión.

Así mismo durante la misma laminación se para la misma a mediación de recorrido de la lámina para verificar en una mesa de inspección la validación del material. Con un nivel Nivelador Trupper NTX-9 y una Regla de acero, 6"/150 mm (1/162.6 cm/1 mm), 1/2" de ancho se colocan sobre la lámina sin tensiones para validar la planeza.

Posteriormente al enrollado, se seleccionan algunos lotes para validar en líneas posteriores para validar el desenrollado no se observen defectos y volver a comprobar por medio de las mediciones con Nivelador Trupper NTX-9 y una Regla de acero, 6"/150 mm (1/162.6 cm/1 mm), 1/2" de ancho que se mantengan la buena planeza del material.

### 3.3.3.1. Conversión de Unidades N/mm<sup>2</sup> a Unidades I

Para unificar los valores tomados tanto en el medidor de planeza del rodillo ABB, así como en las mediciones tomadas en el Skin Pass y en las líneas de Slitter todo se convertirá en unidades I.

En esta sección y en la 3.3.3.2 se realizarán las conversiones de todas las medidas y se presentarán en la tabla 4.2.

La planeza calculada a partir de la distribución de fuerzas [10]:

$$\text{Esfuerzo: } \Delta\sigma_x = \frac{F_i - \bar{F}}{\bar{F}} \times \frac{T}{w * t} \quad [\text{N/mm}^2]$$

Donde:

$\Delta\sigma_x$  = Tensión específica de la lámina en la zona de medición (N/mm<sup>2</sup>)

$F_i$ = Fuerza radial en la zona de medición (i) (BFU)

$\bar{F}$ = Fuerza de medición promedio de todas las zonas (BFU)

T= Tensión total de la lámina (N)

W= Ancho de la lámina (mm)

T= Espesor de la lámina. (mm)

BFU= Unidad de fuerza base, valor de fuerza interna en el sistema

El módulo de Young para el material usado es:

- Acero= ( $E= 210 \text{ KN/mm}^2$ )

Se muestra un ejemplo del cálculo para convertir en Unidades I para el número de rollo 2A987147GM200, en este caso se tomarán los valores del centro donde se realizaron las mediciones físicas. Se levantan las 26 mediciones donde se restará la medición obtenida de la gráfica menos la medición mayor del rollo para multiplicar  $\times 10^5$  para obtener las unidades I. Posteriormente se realizará un Promedio de la resultante y se seleccionará el valor más alto obtenido para comparar los resultados. (Se anexan en la tabla 4.2).

Tabla 3.5. Calculo de conversión de Unidades I

Número de Rollo	Medición Mayor (N/mm <sup>2</sup> )	Número	Medición (N/mm <sup>2</sup> )	Resultante (N/mm <sup>2</sup> )	Unidades I
2A987147GM200	33	1	-32	-65	31
		2	-32	-65	31
		3	-32	-65.0	31
		4	0	-33.0	16
		5	9	-24	11
		6	9	-24	11
		7	4	-29.0	14
		8	6	-27	13
		9	4	-29	14
		10	5	-28	13
		11	7	-26	12
		12	-30	-63.0	30
		13	-9	-42	20
		14	-3	-36	17
		15	-3	-36	17
		16	-3	-36	17
		17	-3	-36	17
		18	0	-33	16
		19	0	-33	16
		20	0	-33	16
		21	6	-27	13
		22	19	-14	7
		23	22	-11	5
		24	0	-33	16
		25	0	-33	16
		26	0	-33	16
		27	-32	-65	31

De la cual obtenemos los siguientes valores.

Unidades I Mayor: = **31 Unidades I**

Unidades I Promedio (Columna Resultante) = **17 Unidades I**

El resto de los cálculos para los demás números de rollos se muestran en el Anexo 5.1.

### 3.3.3.2. Conversión de Unidades mm a Unidades I

En el capítulo 2 se menciona como calcular las unidades I de la planeza según la norma ASTM a partir de la siguiente relación:

$$\frac{\Delta l}{l} \times 10^5 = \left( \frac{\pi}{2} \times \frac{H}{L} \right)^2 \times 10^5$$

Donde:

H= Altura de Onda

L= Longitud de Onda

Para el número de rollo 2A987147GM200 se realiza el procedimiento para calcular las unidades I. En la tabla 4.1 se muestran los datos para H. Los datos de L se anexan en una tabla (Ver Anexo 6).

### Inspección en Skin Pass

$$\text{Altura Orilla} = \left( \frac{\pi}{2} \times \frac{2}{350} \right)^2 \times 10^5 = \mathbf{8 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left( \frac{\pi}{2} \times \frac{4}{600} \right)^2 \times 10^5 = \mathbf{10 \text{ Unidades I}}$$



**Inspección en Slitter**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{16}{900}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{77 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{14}{900}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{59 \text{ Unidades I}}$$

El resto de los cálculos para los demás números de rollos se muestran en el Anexo 5.2.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS

Después de realizar las distintas pruebas y modificaciones de variables para mejorar la planeza se analizan y describen cada uno de los resultados obtenidos al realizar las mediciones en la línea de Skin Pass, línea de Slitter sin tensiones además de las gráficas obtenidas por el Rodillo medidor de planeza detallados en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Resultados de modificación de variables de Proceso Molino Caliente y Skin Pass

Rollo	Número de Rollo	Acero	Temperatura de Enrollado (°C)	Corona MC2 (µm)	Add Value (N/mm)	Tensión Desenrollado (KN)	Tensión Enrollado (KN)	Corona de Rodillos (mm)	Tipo de Rodillos	Medición N/mm <sup>2</sup> Orilla	Medición N/mm <sup>2</sup> Centro	Altura Orilla (mm)	Altura Centro (mm)	Medición Slitter/SKP Orilla (mm)	Medición Slitter/SKP Centro (mm)
1	2A987147GM200	7093	650	61	6	74/90	74/147	0.127	AC	30	-30	2/2	6/4	16	14
2	2A987151GM200	7093	650	73	6	55	70	0.127	AC	25	-35	3	2	15	14
3	2A987155GM200	7093	665	72	6	55	70	0.127	AC	20	-40	1	3	18	17
4	2A987156GM200	7093	665	59	5	55/90	70/109	0.127	AC	34	-20	3	3/2	17	14
5	2B096063GM200	4092	615	52	5	74	74	0.0762	AC	0	15	-	-	9	5
6	2B096065GM200	4092	615	52	5	74	74	0.0762	AC	0	10	3	0	-	-
7	2B096066GM200	4092	615	63	4	74	74	0.0762	AC	0	15	3	0	-	-
8	2B096069GM200	4092	615	62	3	74	74	0.0762	AC	0	15	2	0	16	10
9	2B052117GM200	4092	615	30	2	74	74	0.0254	AC	-10	-10	3	4	2	7
10	2B051071GM200	7093	615	40	2	74	74	0.0254	AC	-20	-20	2	3	1	1
11	2B052602GM200	4092	615	50	6	74	74	0.0254	AC	-10	-20	1	7	1	9
12	2B052598GM200	4092	615	45	6	74	74	0.0254	AC	15	0	2	5	1	4
13	2B052600GM200	4092	615	45	6	74	74	0.0254	AC	-15	-10	-	-	1	9
14	2B008018GM200	7093	615	35	6	74	74	-0.0254	AC	-25	0	-	-	10	8
15	2B008021GM200	7093	615	35	6	74	74	-0.0254	AC	-35	0	-	-	12	7
16	2B008032GM200	7093	615	40	6	147	147	-0.0254	AC	-30	0	-	-	8	7
17	2B193211GM200	7093	615	44	0	74	74	0.0254	Forjados	-15	0	1	2	1	5
18	2B192779GM200	7093	615	40	0	74	74	0.0254	Forjados	-15	0	3	0	3	4
19	2B193925GM200	7093	615	35	0	74	74	0.0254	Forjados	-15	0	2	0	2	4

\*A C- Alto Cromo

Tabla 4.2. Resultados de modificación de variables de Proceso Molino Caliente y Skin Pass (Mediciones en Unidades I)

Rollo	Número de Rollo	Acero	Temperatura de Enrollado (°C)	Corona MC2 (µm)	Add Value (N/mm)	Tensión Desenrollado (KN)	Tensión Enrollado (KN)	Corona de Rodillos (mm)	Tipo de Rodillos	Medición Maxima Unidad I	Medición Promedio Centro Unidad I	Altura Orilla SKP Unidad I	Altura Centro SKP Unidad I	Medición Slitter Orilla Unidad I	Medición Slitter Centro Unidad I
1	2A987147GM200	7093	650	61	6	74/90	74/147	0.127	AC	31	17	8	10	77	59
2	2A987151GM200	7093	650	73	6	55	70	0.127	AC	29	21	9	8	68	59
3	2A987155GM200	7093	665	72	6	55	70	0.127	AC	32	23	6	8	98	88
4	2A987156GM200	7093	665	59	5	55/90	70/109	0.127	AC	24	16	9	9	88	59
5	2B096063GM200	4092	615	52	5	74	74	0.0762	AC	20	11	-	-	32	12
6	2B096065GM200	4092	615	52	5	74	74	0.0762	AC	30	14	9	0	-	-
7	2B096066GM200	4092	615	63	4	74	74	0.0762	AC	32	21	9	0	-	-
8	2B096069GM200	4092	615	62	3	74	74	0.0762	AC	18	11	2	0	77	38
9	2B052117GM200	4092	615	30	2	74	74	0.0254	AC	17	11	9	10	8	18
10	2B051071GM200	7093	615	40	2	74	74	0.0254	AC	24	14	8	9	6	6
11	2B052602GM200	4092	615	50	6	74	74	0.0254	AC	25	17	6	18	6	31
12	2B052598GM200	4092	615	45	6	74	74	0.0254	AC	26	18	8	24	6	15
13	2B052600GM200	4092	615	45	6	74	74	0.0254	AC	25	18	-	-	6	24
14	2B008018GM200	7093	615	35	6	74	74	-0.0254	AC	37	27	-	-	30	24
15	2B008021GM200	7093	615	35	6	74	74	-0.0254	AC	36	25	-	-	43	18
16	2B008032GM200	7093	615	40	6	147	147	-0.0254	AC	40	25	-	-	24	18
17	2B193211GM200	7093	615	44	0	74	74	0.0254	Forjados	13	6	6	8	6	12
18	2B192779GM200	7093	615	40	0	74	74	0.0254	Forjados	15	9	9	0	9	10
19	2B193925GM200	7093	615	35	0	74	74	0.0254	Forjados	14	7	8	0	9	10

\*A C- Alto Cromo

En la tabla 4.2 se muestran las diferentes variables utilizadas en las pruebas, las columnas de los valores de las mediciones arrojadas por el rodillo medidor de planeza, así como de las alturas de las ondas se convierten todas a Unidades I para realizar el análisis de cada una de las pruebas realizadas.

Como se menciona en la sección 3.2.1 en las primeras 4 secuencias solamente se cambiaron las temperaturas de enrollado. En esta prueba se trabajó el número de rollo 2A987147GM200 en dos etapas del proceso de Skin Pass, una con tensión de 74 KN en ambos enrolladores en su primera mitad y ya en la segunda parte del rollo se trabajaron con tensiones de 90 KN y 147 KN respectivamente. Así como el número de rollo 2A987156GM200 con unos valores iniciales de 55 KN y 70 KN para posteriormente la segunda mitad del rollo trabajar con tensiones de 90 KN y 109 KN. Las dos restantes se trabajaron con tensiones continuas durante todo su proceso. En las 4 secuencias las mediciones estuvieron por un promedio de 3 mm en centro y 3 mm en orilla en la línea de Skin Pass, pero al desenrollarse en las líneas de Slitter se obtuvieron mediciones por encima de los 15 mm y con mala forma (Ver detalle en Anexo 4.1).

Además, obtenemos los resultados medidos por el rodillo ABB de planeza valores por encima de los  $-20 \text{ N/mm}^2$  y en extremos valores por encima de los  $20 \text{ N/mm}^2$  (Ver detalle en Anexo 3.1 a 3.4). Para las siguientes pruebas se descarta la temperatura de Enrollado volviendo al valor inicial de  $615^\circ\text{C}$ .

Posteriormente de los rollos 5 a 8 con el primero cambio de corona de Rodillos Skin Pass a 0.762 mm observamos con las mediciones obtenidas en el centro de la lámina en el proceso del Skin Pass es de 0 mm y 3 mm en orillas. En la secuencia 5 y 8 se observaron en Slitter solamente y se observan valores más

---

bajos al desenrollar presentados valores de hasta 16 mm en orilla y 10 mm en centro (Ver Anexo 4.2). Solamente se manejaron tensiones de 74 KN en ambos enrolladores. En estos rollos el medidor de planeza reporta mediciones de 0 N/mm<sup>2</sup> en centro y hasta 15 N/mm<sup>2</sup> en orillas (Ver detalle en Anexo 3.5 a 3.8).

Continuando con las pruebas para rollos del 9 al 13 se realizaron dos modificaciones importantes en el proceso bajando el rectificado de la corona de rodillos teniendo un valor de 0.0254 mm con rodillos de Alto Cromo y además buscando un objetivo de corona de 40 µm descrito en la sección 3.2.2. Las tensiones manejadas en Skin Pass se mantuvieron en 74 KN para ambos enrolladores. En estos rollos los valores de mediciones en el Skin Pass estuvieron bajos obteniendo solamente un valor de hasta 7 mm en centro mientras que en orilla estuvieron por el rango de los 2 mm. Posteriormente al desenvolverse los valores de medición reportados son de 9 mm en centro y 1 mm en orilla.

Los valores reportados para las gráficas obtenidas en el medidor de planeza los rangos estuvieron por los -20 N/mm<sup>2</sup> en orillas de la lámina y en algunos rollos alcanzo hasta -20 N/mm<sup>2</sup> (Ver detalle en Anexo 3.9 a 3.13).

De los rollos 14 a 16 se utilizaron un tipo de rodillo con corona negativa de -0.0254 mm y los perfiles estuvieron buscando un objetivo de 40 µm. Los valores obtenidos en orillas fue un valor de 8 mm aquí se trabajó en un solo rollo con valores de 147 KN en ambos enrolladores de Skin Pass obteniéndose valores en la línea de slitter de hasta 8 mm en centro y en orillas estuvieron por encima de los 10 mm.

Las gráficas de rodillo medidor de planeza arrojaron valores de  $-30 \text{ N/mm}^2$  en orilla y valores de  $0 \text{ N/mm}^2$  en centro (Ver detalle en Anexo 3.13 a 3.15).

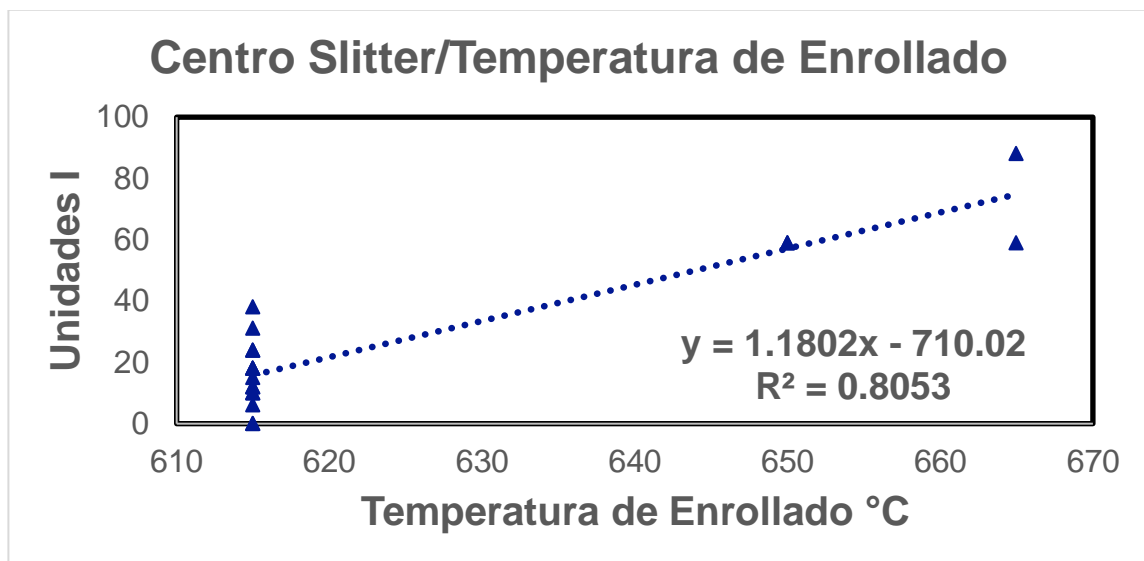
Por último, para la última prueba realizada se cambiaron el tipo de rodillo utilizado a la variante de forjado. La corona dada las últimas pruebas realizadas se mantuvo en  $0.0254 \text{ mm}$ . Para esta última prueba el perfil se siguió buscando en  $30 \mu\text{m}$ , además de que se corrigió una práctica de tensión de enrollado manteniendo un add value de  $0 \text{ N/mm}^2$ . Los resultados obtenidos en la medición del proceso de la línea de Skin Pass fueron en el rango de  $0$  a  $2 \text{ mm}$  en centro y de máximo  $3 \text{ mm}$  en orilla. Cuando se inspeccionaron sin tensión se observa que el valor del centro llega hasta los  $5 \text{ mm}$  y el valor de orillas se mantiene en  $3 \text{ mm}$  como máximo punto tomado (Ver Anexo 4.3).

En estos casos los valores arrojados por el rodillo medidor de planeza superan los  $-15 \text{ N/mm}^2$  en orillas y en centro se mantiene en  $0 \text{ N/mm}^2$  (Ver detalle de Anexo 3.16 a 3.18).

## CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se realizó una correlación entre las variables obtenidas de las diferentes pruebas realizadas en las líneas de Ternium para verificar la planeza. En la línea de Slitter es donde podemos observar el producto a como le llega al cliente.

En las siguientes gráficas se muestran las variables más significativas de las pruebas realizadas donde observamos tendencias que muestran los distintos resultados de la evaluación de la planeza.

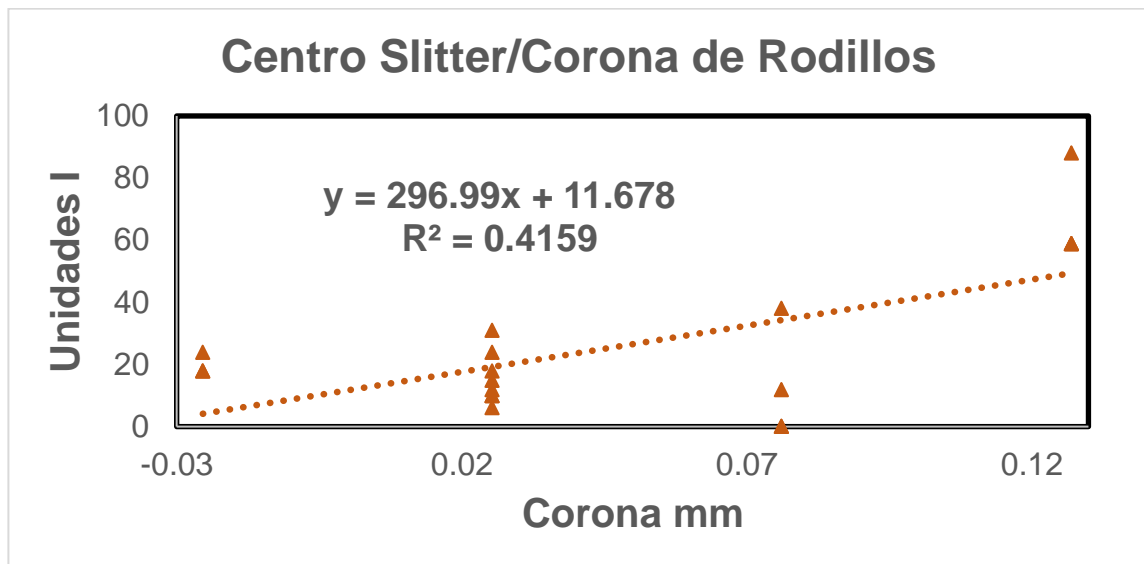


**Figura 5.1. Gráfico de Temperatura de Enrollado vs Medición de Centro en Slitter.**

La prueba de aumento de temperatura de enrollado al aumentar hasta 665°C no fue satisfactoria sino por el contrario se puede observar que en las siguientes



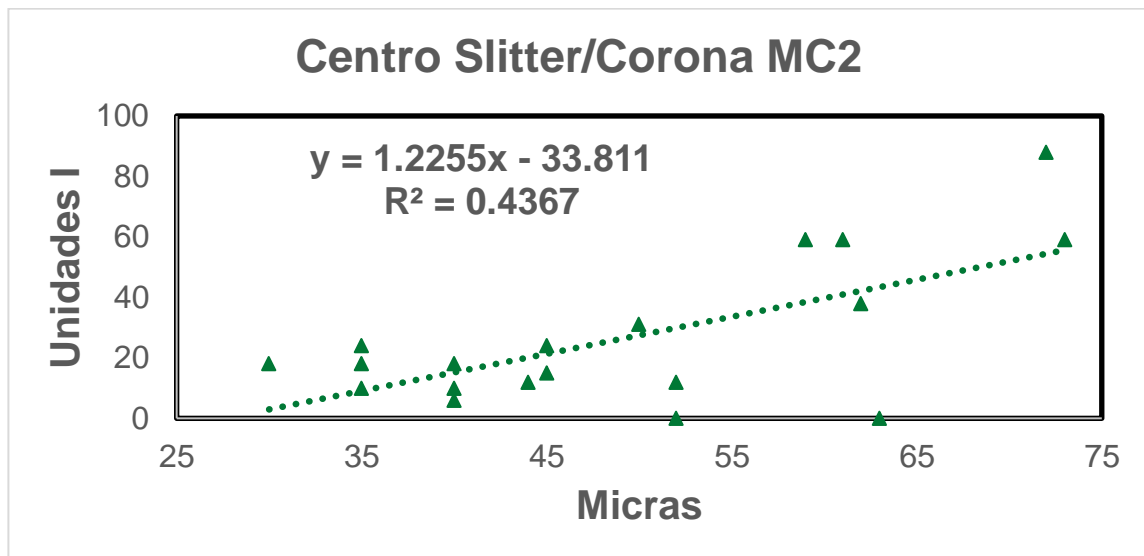
pruebas cuando se regresó la temperatura de enrollado a un valor de 615°C lo cual esto nos quiere decir que la lámina más fría la transmisión de calor de los rodillos es menos significativa lo cual puede contribuir a menos distorsiones térmicas. También cuando la lámina es más caliente puede tender a experimentar deformaciones elásticas debido a la mayor plasticidad del material a altas temperaturas, evidentemente la lámina fría es más dura y menos propensa a deformarse por el tamaño de grano que es menor.



**Figura 5.2. Gráfico Corona de MC2 vs Medición de Centro en Slitter.**

Posteriormente con el cambio de rectificado de una corona menor en los rodillos hasta probar con la corona de 0.0254 mm se aprecia que el defecto fue disminuyendo en las pruebas con ambos aceros esta tendencia se puede apreciar en la gráfica 5.2 en donde se observa que a medida que disminuye la corona las Unidades I van bajando en la línea de Slitter mejorando el defecto de ondulación al centro. Esto ya que la distribución de la presión ejercida es más uniforme sobre la lámina, esto quiere decir que la fuerza de compresión se aplica de manera más equilibrada. También otro factor con la corona menor es que se

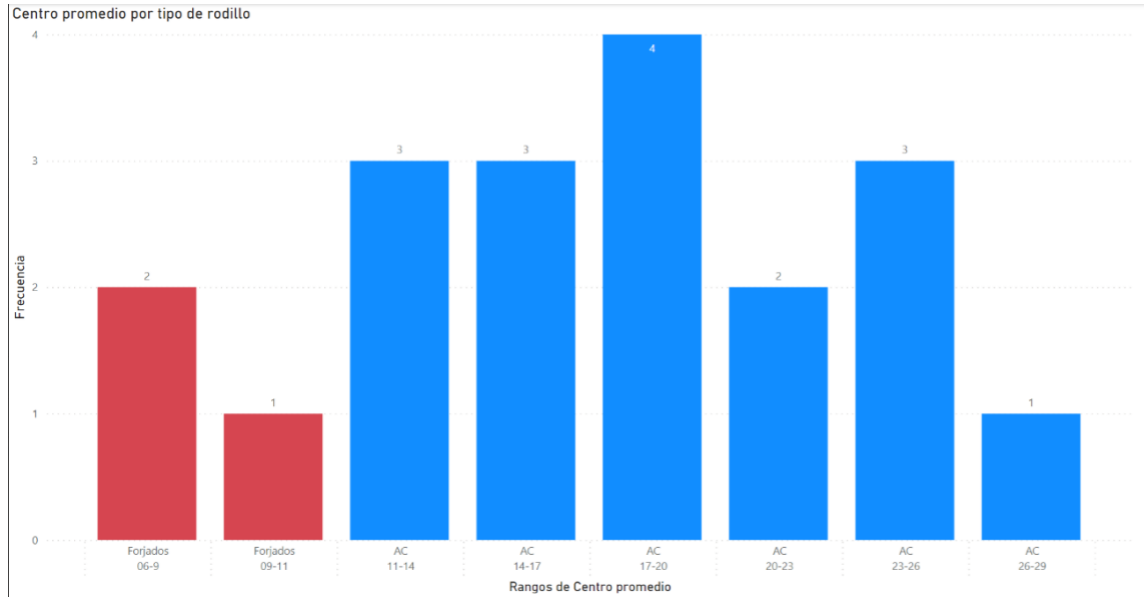
aplica menos fuerza sobre la lámina y esto significa menos estrés para la lámina. En la prueba que se realizó con rodillos de corona negativa de -0.0254 mm el rodillo tiene una forma cóncava en el centro lo cual es una superficie curva hacia adentro y ayuda a mejorar el centro y menos presione en los extremos y esto se vio reflejado en los valores de medición obtenidos en la línea donde se incrementaron los valores de las orillas, así como también se vio reflejado en las gráficas de planeza con valores negativos en las orillas.



**Figura 5.3. Gráfico Corona de MC2 vs Medición de Centro en Slitter.**

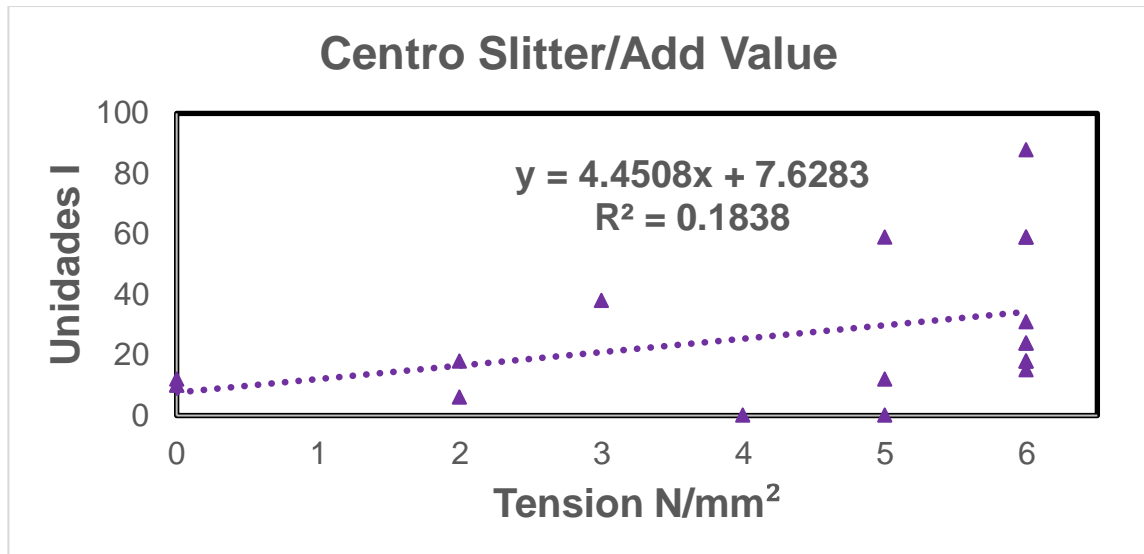
En la gráfica 5.3 podemos observar que al reducir la corona del perfil de lámina caliente mejoró los valores reportados de medición de planeza tanto en el proceso de Skin Pass como al desenvolver el material ya en una línea de Slitter en el centro de la lámina, esto debido a que la distribución es más uniforme ya que una corona menor significa que la lámina tiene una curvatura menos pronunciada y esto minimiza que se produzcan deformaciones locales o desigualdades en el espesor de la lámina. También hay menos tensiones residuales, además de menos deformación elástica debido a que el material tiene

a tener estas deformaciones bajo cargas de compresión y reduciendo la corona favorece. Para estos casos bajamos a un objetivo de 40  $\mu\text{m}$  y fueron los rollos que mejor se vieron dentro de las inspecciones.



**Figura 5.4. Gráfico Tipo de Rodillos vs Medición de Centro en Slitter.**

En la figura 5.4 se observa la tendencia de los tipos de rodillos de Skin Pass en los cuales se realizó una prueba con rodillos forjados de corona 0.0254 mm, mismo valor de rectificado que en rodillos de alto cromo que habían dado buen resultado. Con los rodillos forjados también se vio una buena forma del material, incluso mejor ya que los rodillos forjados suelen estar hechos de aceros al carbono que tienen una resistencia mecánica mayor y mayor rigidez y esto significa que tienen mayor módulo elástico lo que son menos propensos a deformarse bajo carga, a diferencia de los rodillos de Alto Cromo. Las mediciones de las Unidades I estuvieron muy por debajo al tomarse las medidas en las líneas de Slitter.



**Figura 5.5. Gráfico Add value de Tensión vs Medición de Centro en Slitter.**

Por último, otra práctica que se aseguró fue con los operadores de enrolladores de Molino Caliente mantener un valor de 0 N/mm<sup>2</sup> en el add value de tensión de enrollado esto para sobre estirar la lámina y producir un efecto de Crossbow (Comba) en la lámina. En la gráfica 5.5 podemos observar como la tendencia se observa al ir bajando el add value los valores de las Unidades I disminuyen observándose la mejoría de la planeza en la línea de Slitter.

Los Aceros de baja resistencia son más maleables lo cual son más susceptibles a deformarse bajo cargas aplicadas o tensiones durante su procesamiento lo cual puede provocar defectos no deseados como ondulaciones. Así mismo también la rigidez es menor con respecto a un acero de alta resistencia lo cual bajo cargas aplicadas son menos capaces de mantener su forma original. También son menos capaces de mantener tensiones residuales que al enfriarse y estabilizarse la lámina son más propensos a ondularse.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para asegurar la planeza del material después de pasar por el proceso de Skin Pass depende de varios factores. Hay que controlar distintas variables desde el Laminador en Caliente que permita después en el proceso de Skin Pass terminar de dar buena planeza al material.

Durante las pruebas una de las variables más importantes para mejorar la planeza es el cambio en el perfil de la lámina del Molino Caliente. Entre más bajo sea el perfil se reduce las deformaciones no deseadas de la lámina durante el proceso de laminación en caliente.

Una de las variables que influyeron fue mantener la temperatura de enrollado desde el Molino Caliente, ya que cuando se subió la temperatura se obtuvieron valores altos de las Unidades I reflejándose en la planeza del material esto debido a que entre más caliente pueden generarse deformaciones elásticas del material afectando la planeza. Aunque ya no se decidió modificar para las siguientes pruebas, con la temperatura de set up inicial de 615°C se obtuvieron valores aceptables de planeza.

Así como también el rectificado de rodillo para este tipo de Aceros y espesores entre más baja sea la corona para el caso de este estudio ya que el principal problema era la ondulación en el centro sin afectar las orillas.

Las tensiones aplicadas en el proceso de Skin Pass son fundamentales ya que una sobretensión puede ocasionar una deformación en la lámina que afecte a alguno de los atributos garantizados, así como también una baja tensión no sea suficiente para corregir un defecto de ondulación previo a entrar a este proceso.

Estas variables aparecen como las más críticas para poder generar una buena planeza después de procesarse por Skin Pass

## REFERENCIAS

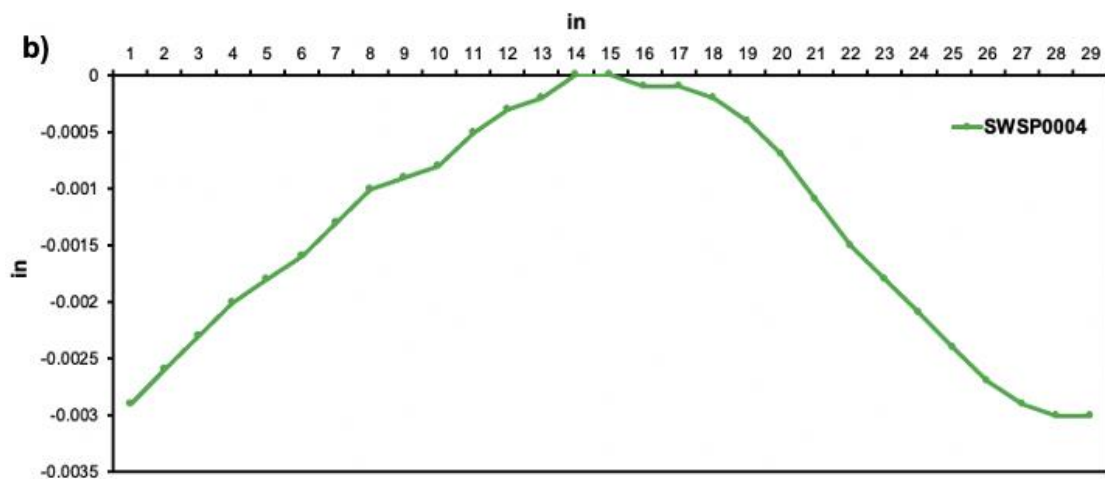
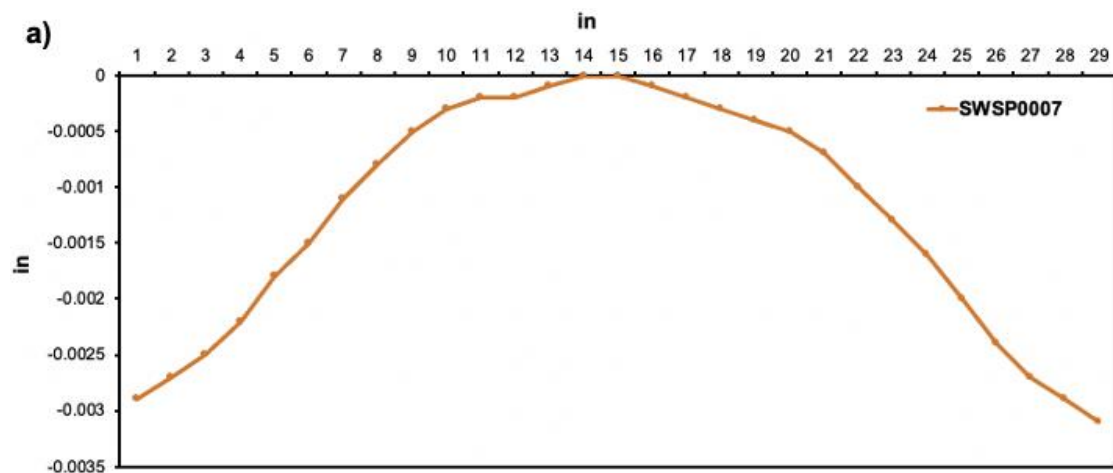
- [1] M. Weiss, W. Ryan, B. Rolfe B, C. Yang, “The effect of skin passing on the material behavior of metal strip in pure bending and tension“, *AIP Conference Proceedings*, vol. 1252, pp. 896-902, 2010.
- [2] C. N. Silva, F.G.S. Araújo, J. Fagundes JR, A.B. Cota, “Efeito da flexão dos cilindros na laminação de encruamento sobre a planicidade de tiras de aço“, *Matéria*, vol. 13, pp. 412-417, 2008.
- [3] T. Ogasahara, T. Kitamura, S.I. Aoe, J.I. Tateno, K. Asano, “Dynamic Control of Flatness and Elongation of the Strip in a Skin Pass Mill“, *ISIJ International*, vol. 60, pp. 2886-2895, 2020.
- [4] M. Muñoz, “Evaluación del impacto técnico económico que genera la adquisición de los cilindros de trabajo de alto cromo para el uso en el Hot Skin Pass Mill de laminación en caliente de Sidor (Tesis de Licenciatura)“, Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, 2009.
- [5] L. Robinson, “Flatness Measurement and Control Basics“, *Cold Rolling Fundamentals*, Novelis, 2023.
- [6] W. L. Roberts, *Cold Rolling of Steel* (1st ed.), Marcel Dekker Inc., 1978.
- [7] Vladimir B. Ginzburg, *Flat- Rolled Steel Processes: Advanced technologies*, Taylor and Francis Group, 2009.
- [8] Hiroyuki Uematsu, Ryutaro Ota, Hot Skin Pass Mill & Tension Leveler Line for Ultra High- Strength Steel, JP Steel Plantech Co. 2-6-23, Shinyokohama, Kohoku-Ku, Yokohama, JAPAN, 222-0033.
- [9] Roman Schneeweis, Karl Berger, Dietrich Mathweis, Advancement of Skin Pass Rolling, *Tecnol. Metal. Mater. Min;* vol. 17, n2, p.131-136, 2020.

- [10] Angelhag Angelica, Sydänlammi Marko, Force Measurement and Stressometer Flatness Systems, October 2023.
- [11] Celaya. C Eli M. Mejora de Indicadores en caídas cualitativas de forma y dobleces en el proceso de laminación del Molino Caliente 3, Instituto Tecnológico de Morelia, Septiembre 2018.
- [12] Servín. Romulado. Work Rolls for Hot Strip Mills Villares Rolls, Gerdau Summit, 2023.
- [13] Elizondo Leonel. Proceso de Fabricación Rodillos Alto Cromo, EISENWERK SULZAU-WERFEN R. & E. WEINBERGER AG, 2023.
- [14] J. Sánchez, E. Ubici, D. Mendoza, F. Torres, G. Murillo, J. Morales. Performance de los Enrolladores en el MC2 de la CSP TERNIUM, TERNIUM Guerrero, 2023.
- [15] E. Guerrero, E. Ubici, D. Reyna, G. Obregón. Optimización del Proceso Convencional de Skin Pass, TERNIUM Guerrero, 2023.

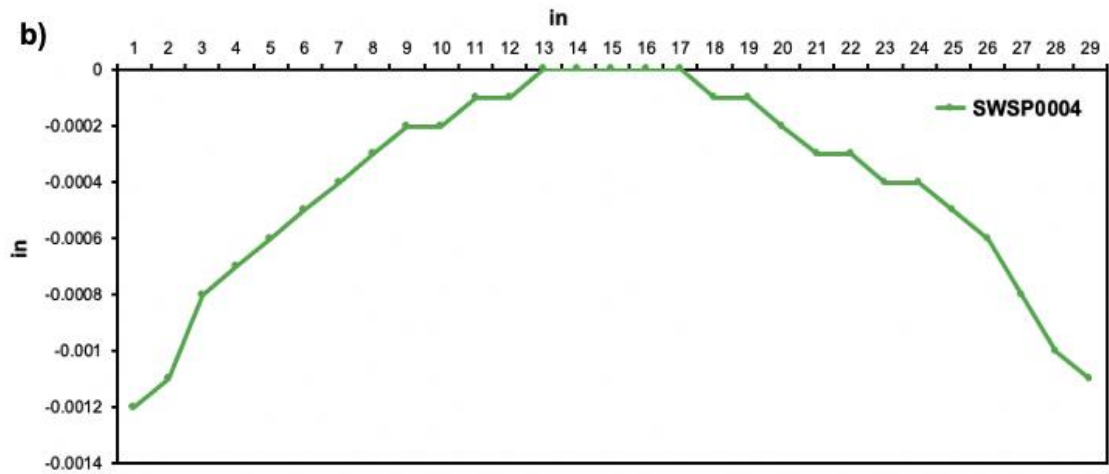
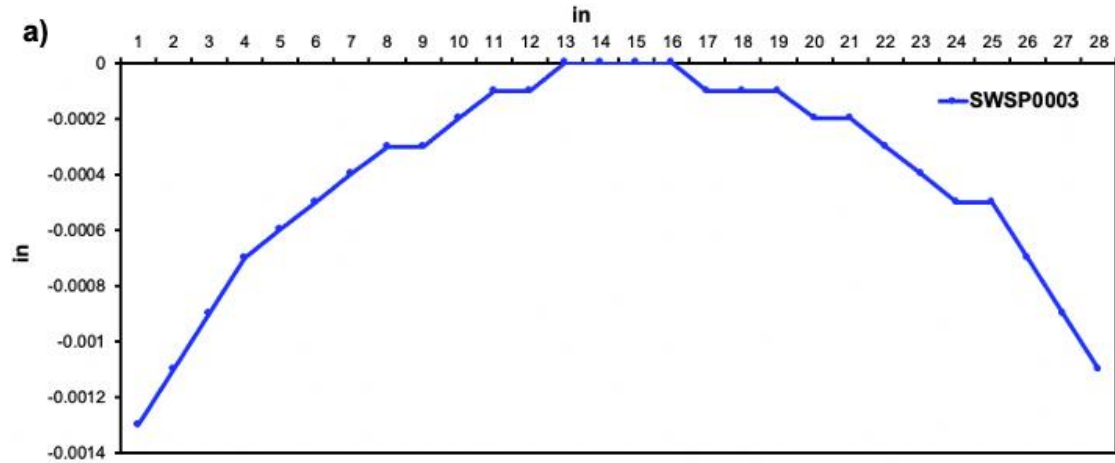


# ANEXOS

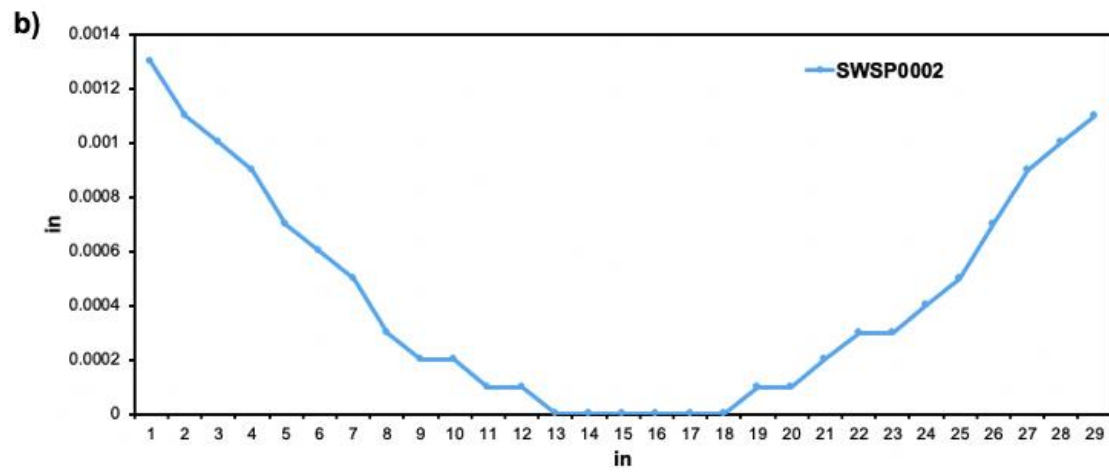
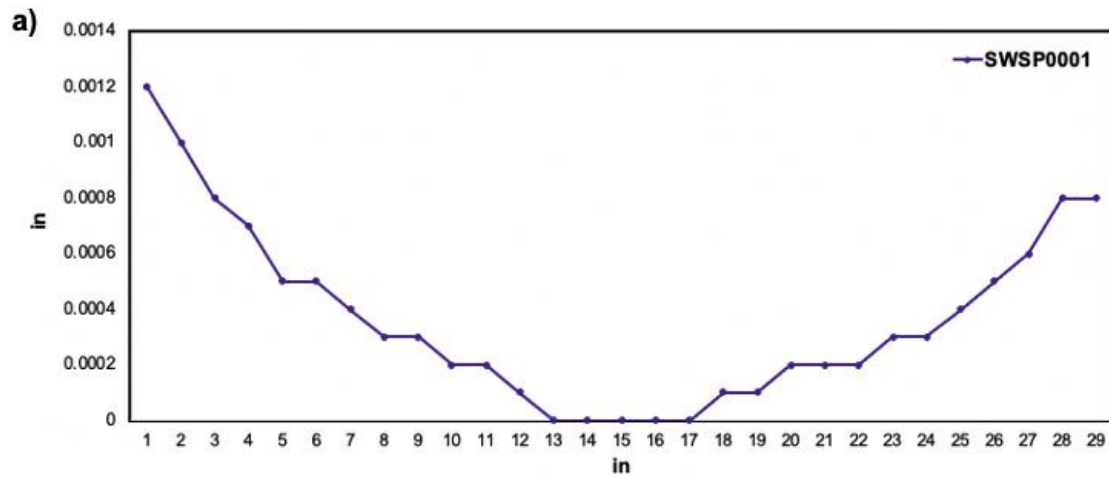
## Anexo 1. Gráficos de rectificaco de rodillos



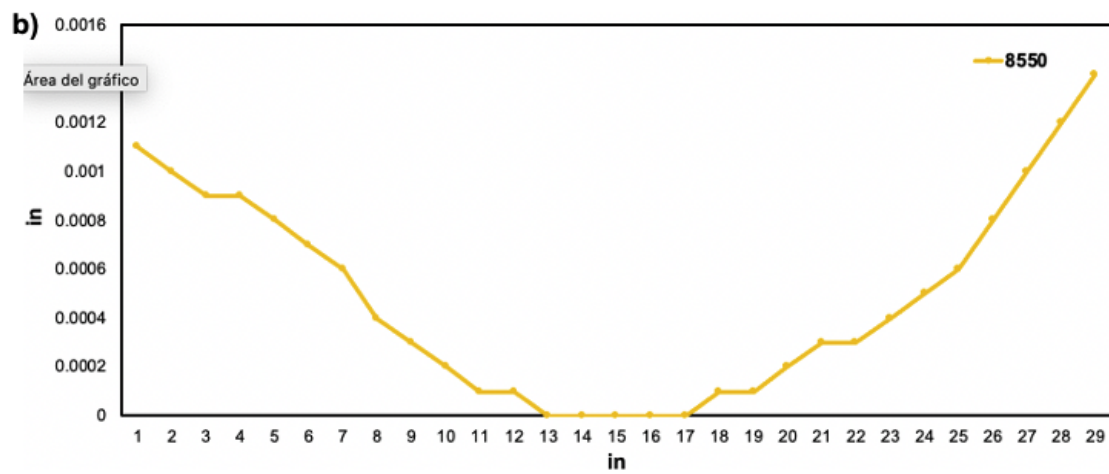
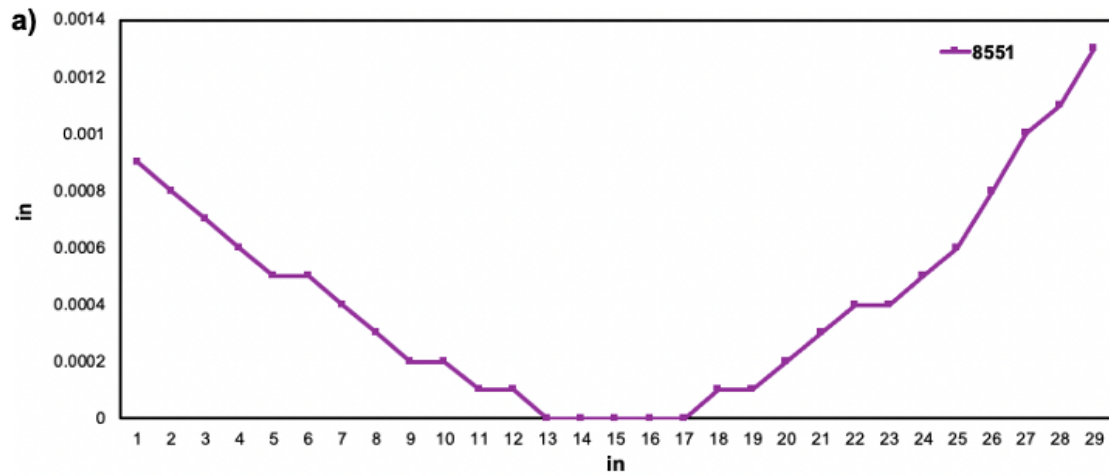
Anexo 1.1. Gráfico de Rectificaco de Rodillos: a) SWSP0007 y b) SWSP0004 Corona 0.0762 mm.



Anexo 1.2. Gráfico de Rectificado de Rodillos: a) SWSP0003 y b) SWSP0004 Corona 0.0254 mm.



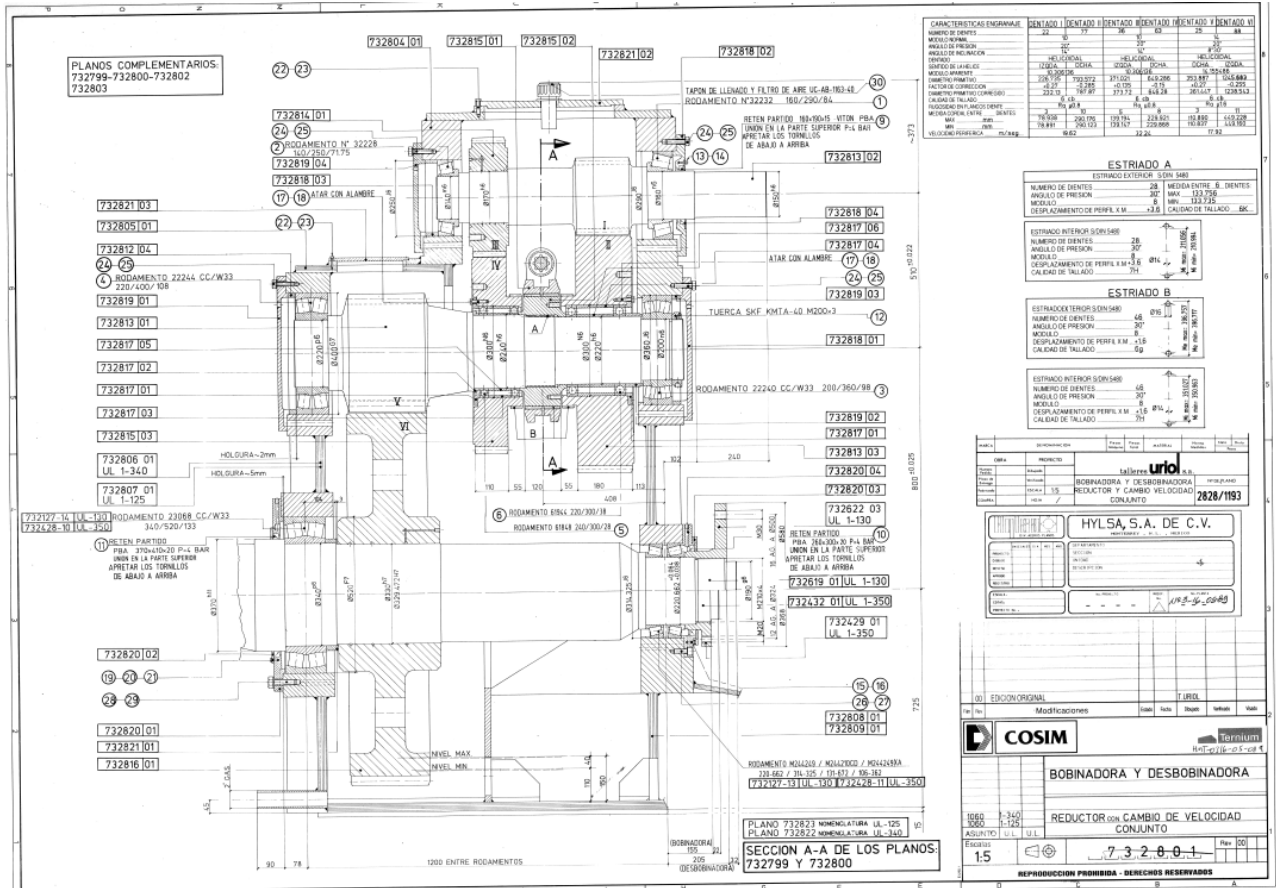
Anexo 1.3. Gráfico de Rectificado de Rodillos: a) SWSP0001 y b) SWSP0002 Corona -0.0254 mm.



**Anexo 1.4. Gráfico de Rectificado de Rodillos: a) 8551 y b) 8550**

**Corona 0.0254 mm.**

# Anexo 2. Planos de Referencia Transmisión de Velocidad Enrolladores

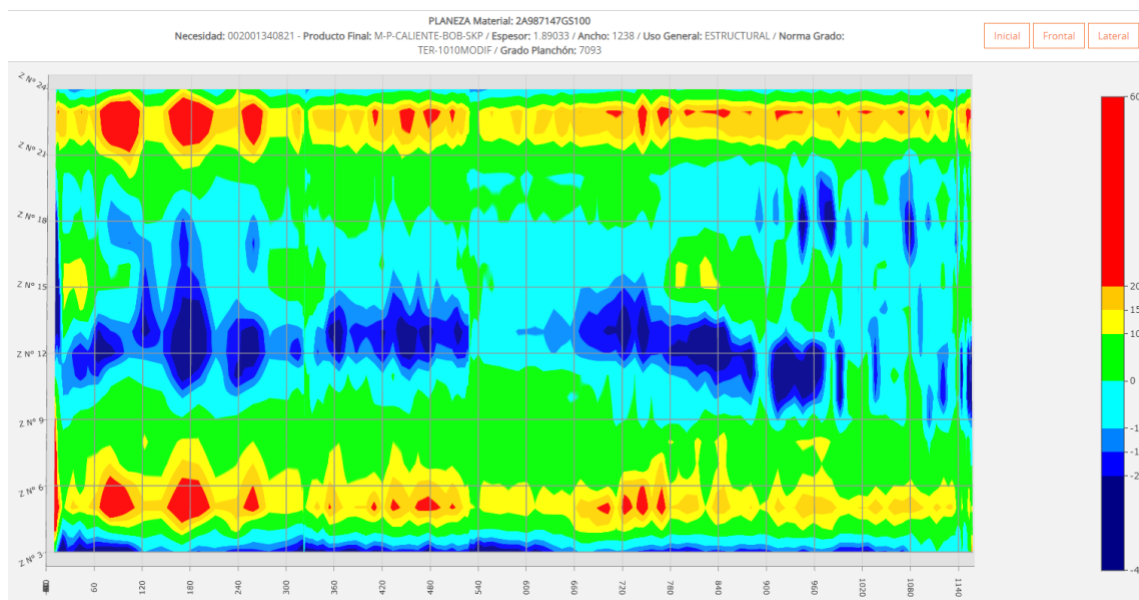


Anexo 2.1. Plano de Referencia de Caja Reductora de Transmisión Enrolladores.

CARACTERISTICAS	
POTENCIA MOTOR INSTALADO	748 Kw.
VELOCIDAD	0 ÷ 630/1660 RPM.
PAR CONSTANTE	0 ÷ 630 RPM
POTENCIA CONSTANTE	630 ÷ 1660 RPM
INDICE DE REDUCCION VELOCIDAD RAPIDA	$i = 6,16$
INDICE DE REDUCCION VELOCIDAD LENTA	$i = 12,32$
VELOCIDAD DE SALIDA MARCHA RAPIDA	0 ÷ 102,27/269,48 RPM.
VELOCIDAD DE SALIDA MARCHA LENTA	0 ÷ 51,136/134,74 RPM.
PAR NOMINAL MOTOR A 630 RPM	11307 N/m.
SOBRECARGAS ADMISIBLES	
125% DEL PAR NOMINAL DURANTE	2 HORAS
150% DEL PAR NOMINAL DURANTE	15 MINUTOS
200% DEL PAR NOMINAL DURANTE	60 SEGUNDOS
DIAMETRO MAXIMO BOBINA	1900mm
PESO MAXIMO BOBINA	20000Kg
TRACCION MAX. DE ENROLLADO MARCHA RAPIDA	7500Kg
TRACCION MAX. DE ENROLLADO MARCHA LENTA	15000kg
VIDA DE ENGRANAJES	25000 HORAS EN CADA MARCHA
FACTORES DE SERVICIO EN CALCULO	$F_s = 1,5$ ; $K_a = 1,5$
VIDA DE RODAMIENTO	50000 HORAS
MOMENTO DE INERCIA EN EL EJE DE ENTRADA:	
MARCHA RAPIDA	$J = 24,428 \text{ Kg/m}^2$
MARCHA LENTA	$J = 14,083 \text{ Kg/m}^2$
TIPO DE ACEITE	ISO VG-220
CANTIDAD DE ACEITE	MIN. 460 litros MAX. 660 litros
CALOR A DISIPAR	16Kw ~ 14220 Kcal/hora

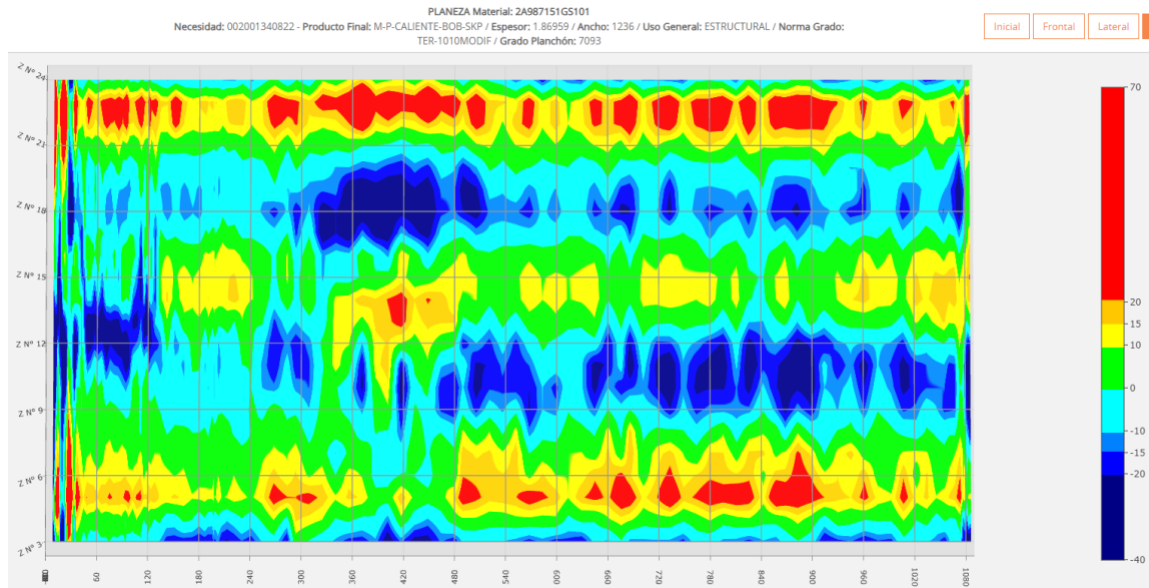
**Anexo 2.2. Características de Caja Reductora de Velocidad Enrolladores.**

### Anexo 3. Gráficas de Rodillo ABB Medidor de Planeza



#### Anexo 3.1. Gráfico de planeza de Número de Rollo 2A987147GM200.

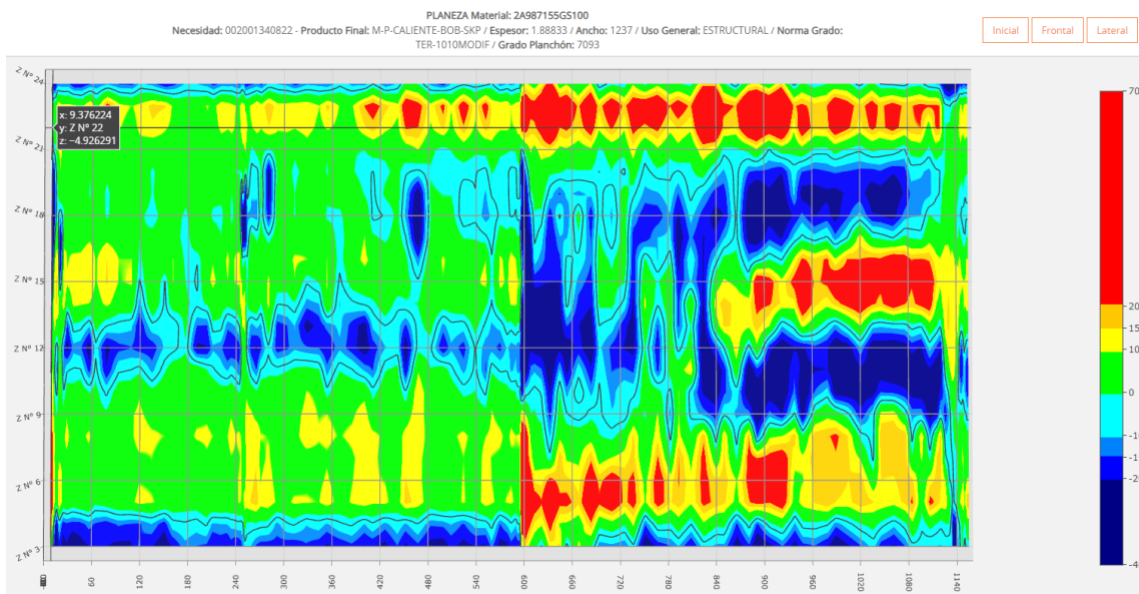
En el número de rollo 2A987147GM200 la gráfica del medidor de planeza arroja valores a lo largo del rollo de hasta 20 N/mm<sup>2</sup> localizados de los extremos hacia dentro a 25.4 mm de la lámina al inicio del proceso mientras que al final en esa misma localización se reportan valores sobre los 20 N/mm<sup>2</sup>. Mientras que en el centro de la lámina al inicio se aprecia valores de 0 N/mm<sup>2</sup>, pero a medida que avanza la laminación se aprecia valores por encima de los -20 N/mm<sup>2</sup> provocando que no exista presión en esa parte de la lámina.



### Anexo 3.2. Gráfico de planeza de Número de Rollo 2A987151GM200.

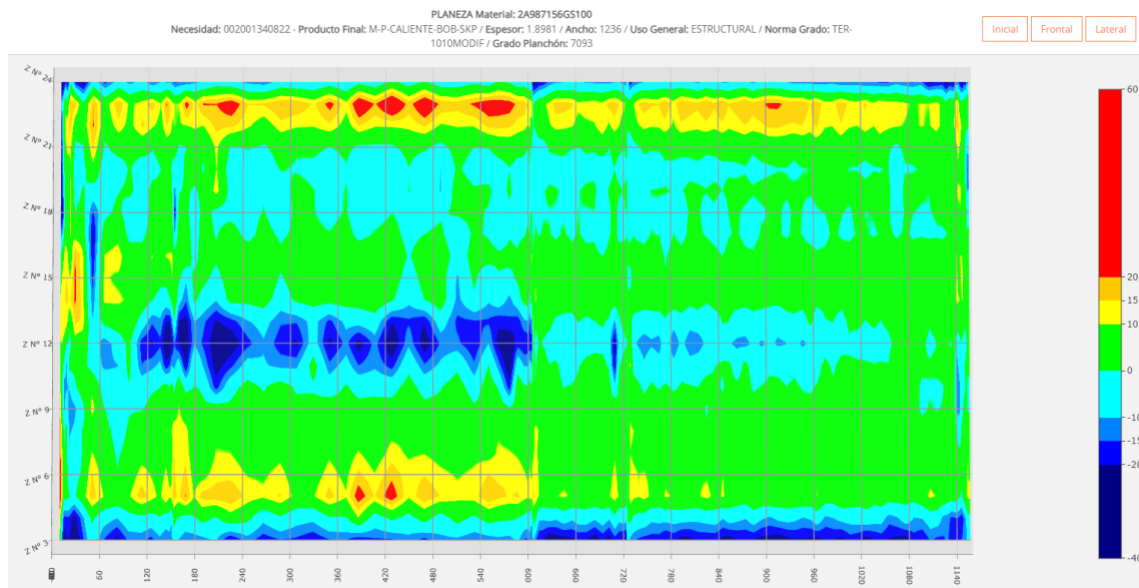
En el número de rollo 2A987151GM200 se observa una gráfica arrojada por el medidor de planeza en la cual se presenta un comportamiento similar a la secuencia 2A987147GM200 en la cual se reportan valores de las orillas hacia 25.4 mm dentro de la lámina con valores alto por encima de los 20 N/mm<sup>2</sup> en el cual se produce una sobrepresión de la lámina y más hacia el centro se reportan valores por encima de los -20 N/mm<sup>2</sup> en la gráfica.





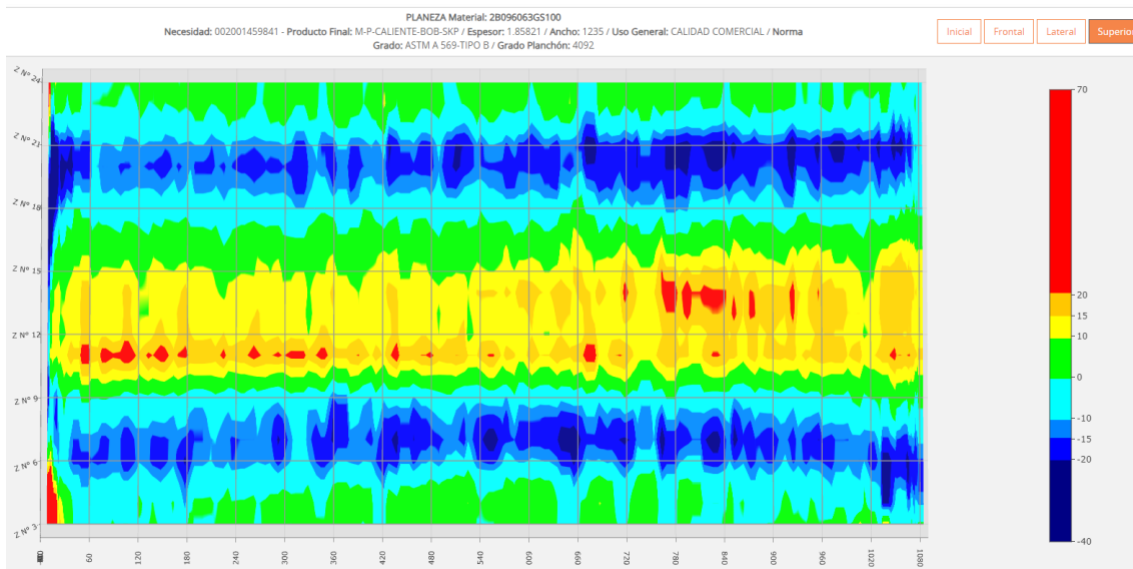
### Anexo 3.3. Gráfico de planeza de Número de Rollo 2A987155GM200.

En el número de rollo 2A987155GM200 presenta un comportamiento muy anormal en las presiones aplicadas por el rodillo de planeza mientras que en el extremo de lado operador de la lámina se presenta valores de  $-35 \text{ N/mm}^2$  a lo largo del rollo en el proceso en el lado contrario de la lámina se reporta una sobrepresión de la lámina por encima de los  $20 \text{ N/mm}^2$ , esto se debe a un material acuñado. En el centro de la lámina y hasta la mitad de la laminación se presentan valores negativos alcanzado valores de hasta  $-40 \text{ N/mm}^2$  ya para la segunda parte disminuye el valor negativo siendo de hasta  $-20 \text{ N/mm}^2$  siendo en menos parte de la lámina. Para la segunda parte del rollo solamente en un extremo (lado operador) de la laminación se observa ondulación de la lámina al presentarse valores por encima de los  $-20 \text{ N/mm}^2$  mientras que en el otro extremo se aprecian valores de  $0$  a  $-10 \text{ N/mm}^2$ .



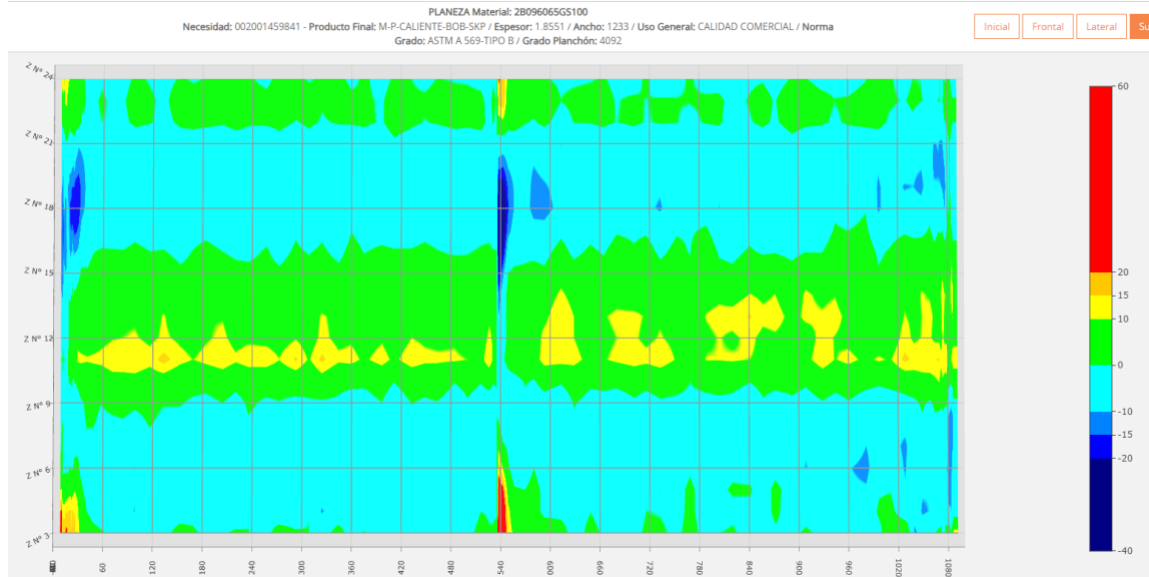
### Anexo 3.4. Gráfico de planeza de Número de Rollo 2A987156GM200.

Para el último número de rollo 2A987156GM200 al inicio del proceso y hasta la mitad se observa que el centro de la lámina se reporta con valores de 0 a 10 N/mm hasta la mitad del rollo, mientras que en la segunda parte del rollo se reporta valores en el centro de hasta -20N/mm. Mientras que al inicio en los extremos se reporta del lado operador de la lámina valores de -20 N/mm a lo largo del rollo mientras que en el otro extremo del rollo se aprecia valores prácticamente de 0 N/mm solamente hacia 25.4 mm de este mismo extremo hacia dentro de la lámina se aprecian valores de hasta 10 N/mm en la primera mitad del rollo mientras que iniciando la segunda parte del rollo llegaba a reportarse valores por encima de los 20 N/mm en algunas partes del rollo ya desapareciendo al final del proceso.



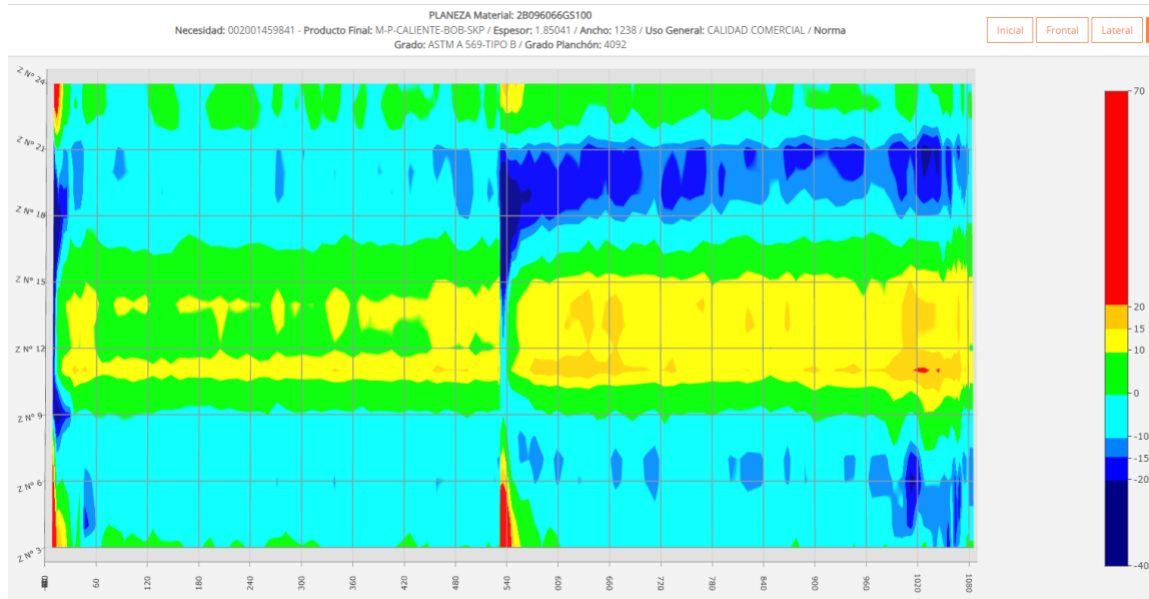
### Anexo 3.5. Gráfico de Planeza de Número de Rollo 2B096063GM200.

Para el número de rollo 2B096063GM200 se observan reportes del extremo de la lámina hacia  $\frac{1}{4}$  adentro del ancho valores por encima de  $-20$  N/mm en ambos extremos. Mientras que en el centro de la lámina se observan valores de  $15$  N/mm aproximadamente a lo largo de todo el rollo. En los extremos de la lámina se observan valores de  $0$  N/mm<sup>2</sup>.



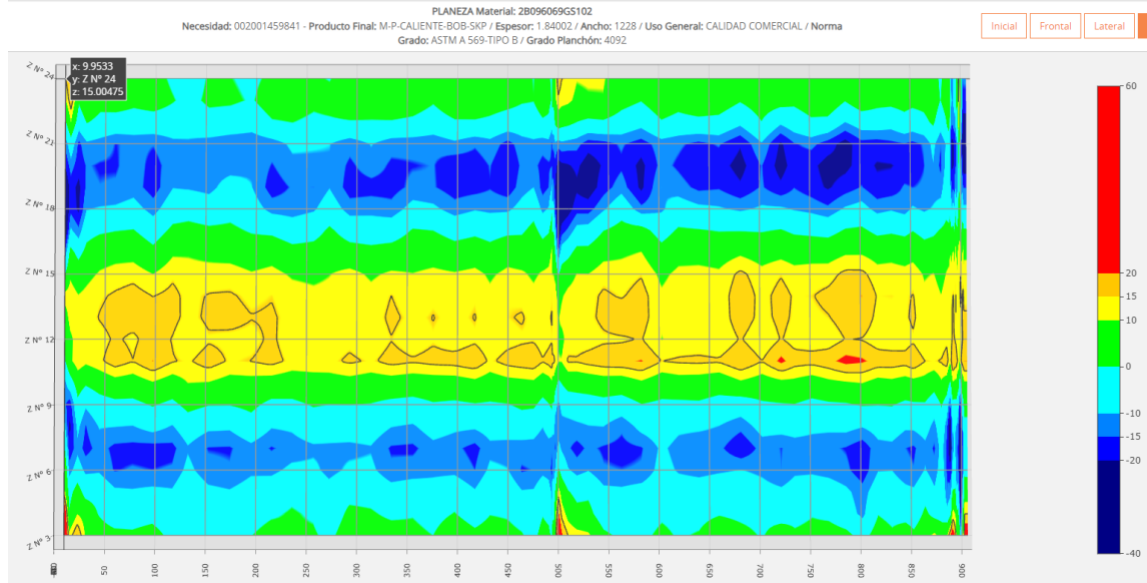
### Anexo 3.6. Gráfico de Planeza de Número de Rollo 2B096065GM200.

Para el número de rollo 2B096065GM200 se observa que prácticamente todo el rollo en ambos extremos se reportan valores de 0 N/mm<sup>2</sup> mientras que en el centro ligeramente en algunos extremos se aprecian valores de 10 N/mm<sup>2</sup> pero predominando valores de 0 N/mm<sup>2</sup>.



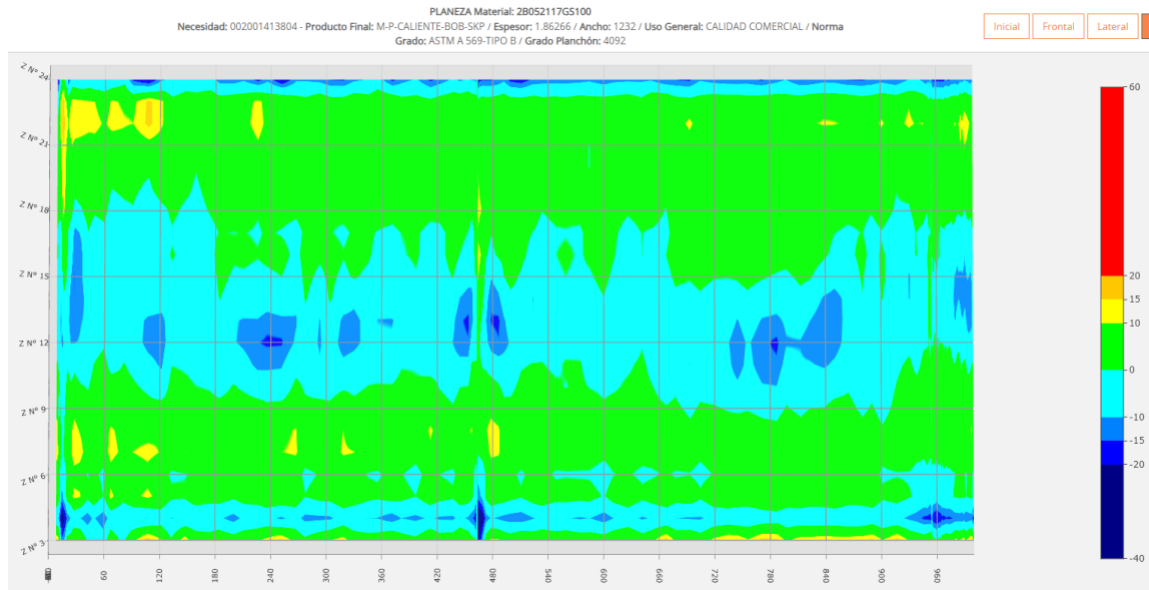
### Anexo 3.7. Gráfico de Planeza de Número de rollo 2B096066GM200.

Para el número de rollo 2B096066GM200 al inicio del rollo en ambos extremos se reportan valores de 0 N/mm<sup>2</sup> a lo largo de toda la laminación. Mientras en el centro de la lámina la primera mitad del rollo se reportan valores de 10 a 15 N/mm<sup>2</sup> mientras que la segunda mitad bajan estos valores predominando de 0 a 10 N/mm<sup>2</sup>.



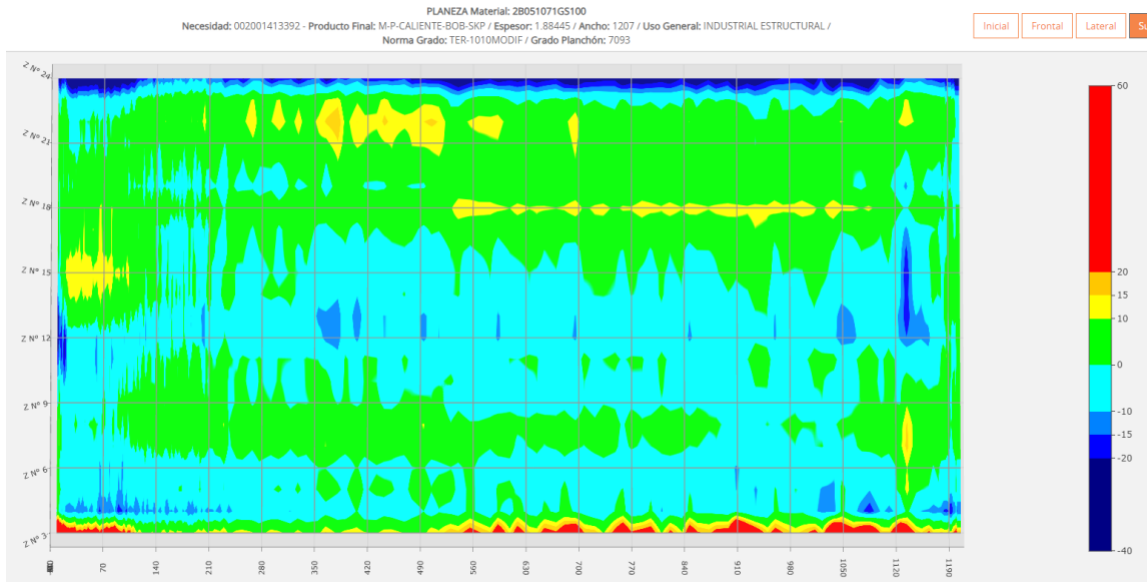
### Anexo 3.8. Gráfico de Planeza de Número de rollo 2B096069GM200.

Por último, el número de rollo 2B096069GM200 en ambos extremos presenta un comportamiento de 0 N/mm<sup>2</sup> en los extremos mientras que a ¼ de los extremos hacia adentro de la lámina en ambos lados se presentan valores por encima de -20 N/mm<sup>2</sup> a lo largo de todo el rollo mientras que el centro se presentan valores de 10 a 15 N/mm<sup>2</sup>.



### Anexo 3.9. Gráfico de Planeza de Número de Rollo 2B052117GM200.

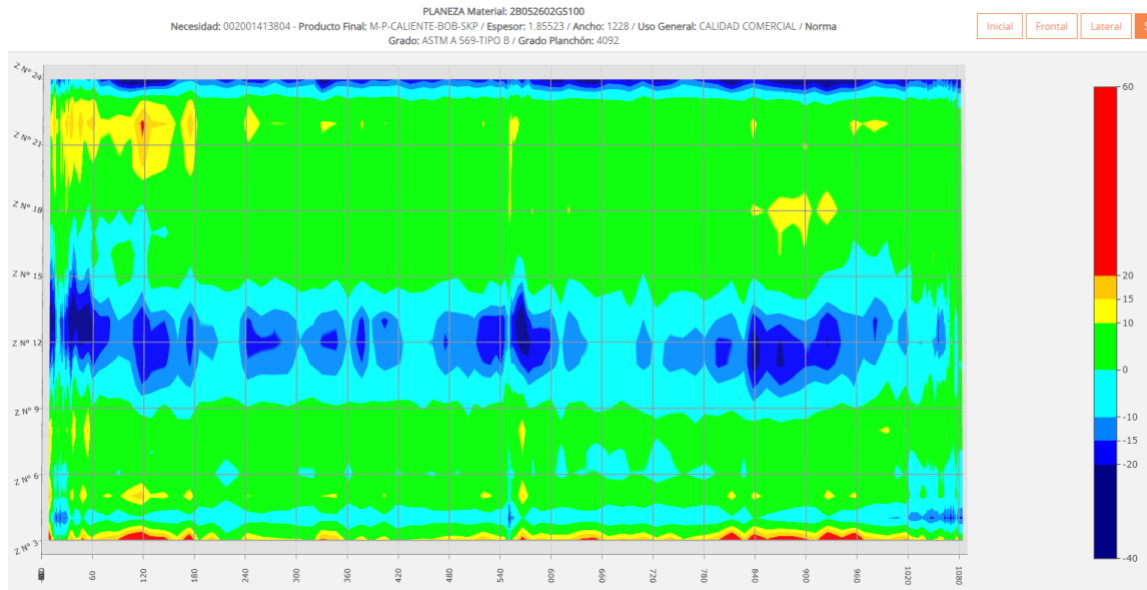
Para el número de rollo 2B052117GM200 se reportan valores de hasta  $-10 \text{ N/mm}^2$  en ambos extremos a lo largo del rollo, mientras que para el centro y el resto del ancho se reportan valores de 0 a  $-10 \text{ N/mm}^2$ .



**Anexo 3.10. Gráfico de Planeza de Número de Rollo 2B051071GM200.**

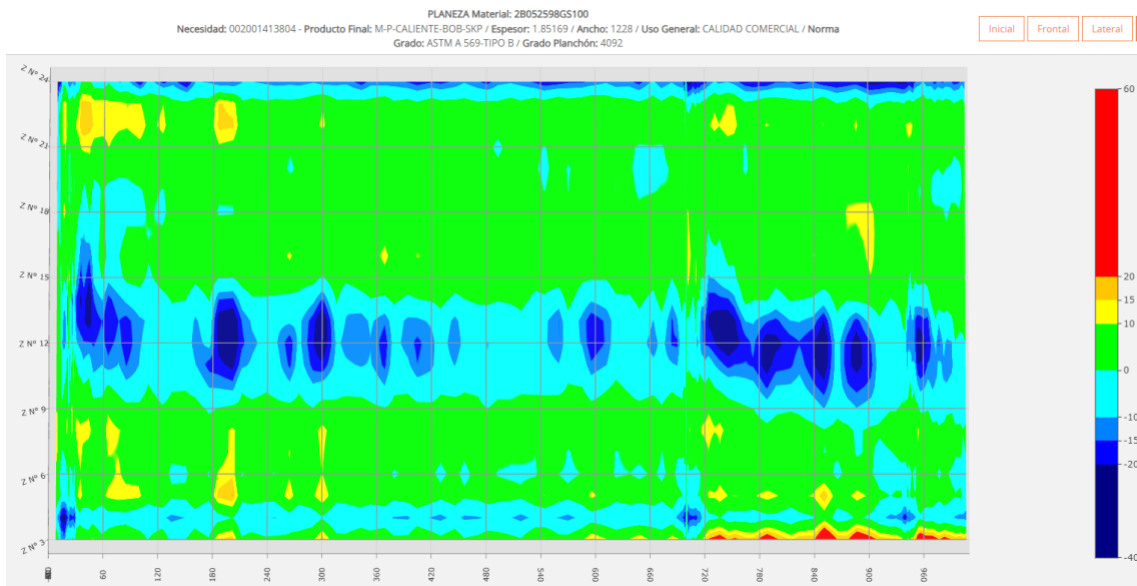
Para el número de rollo 2B051071GM200 en los extremos del rollo hay una diferencia de valores mientras que de lado operador a lo largo del rollo se reporta una sobrecompresión por encima de los 20 N/mm<sup>2</sup> en el otro extremo se reportan valores por encima de los -20 N/mm<sup>2</sup>. En el resto del rollo se reportan valores de 0 a -10 N/mm<sup>2</sup>. En este rollo cuando se midió su defecto se observaron valores mínimos.





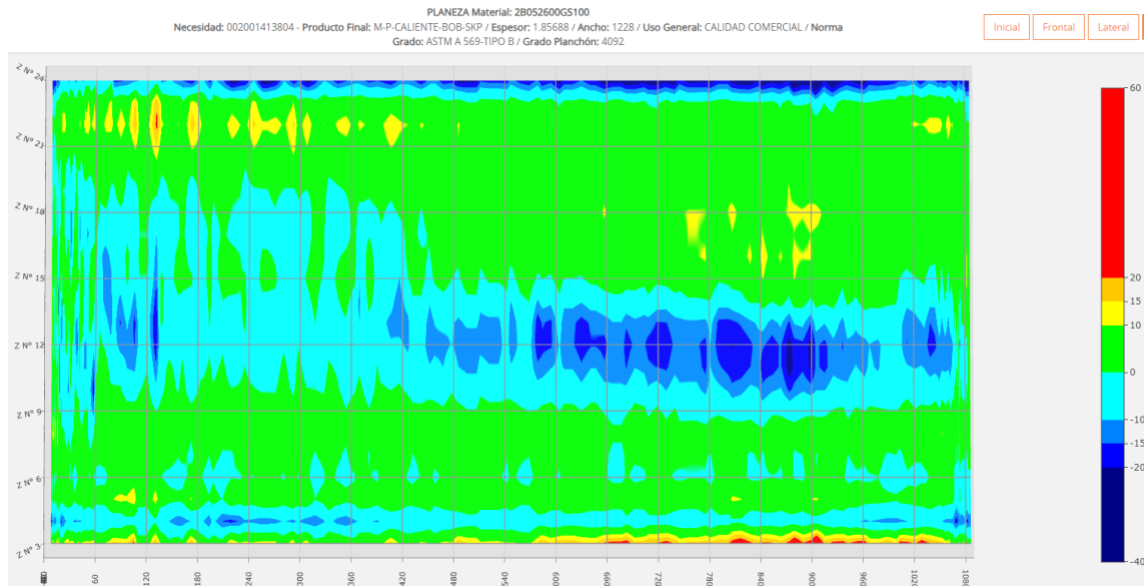
### Anexo 3.11. Gráfico de Planeza de Número de rollo 2B052602GM200.

En el número de rollo 2B052602GM200 presenta el mismo comportamiento en los extremos que el número de rollo 2B051071GM200, pero la diferencia reside en el centro ya que al centro del rollo presenta valores por encima de  $-20 \text{ N/mm}^2$  en algunos tramos a lo largo del rollo siendo principalmente al inicio y hasta el final de la laminación.



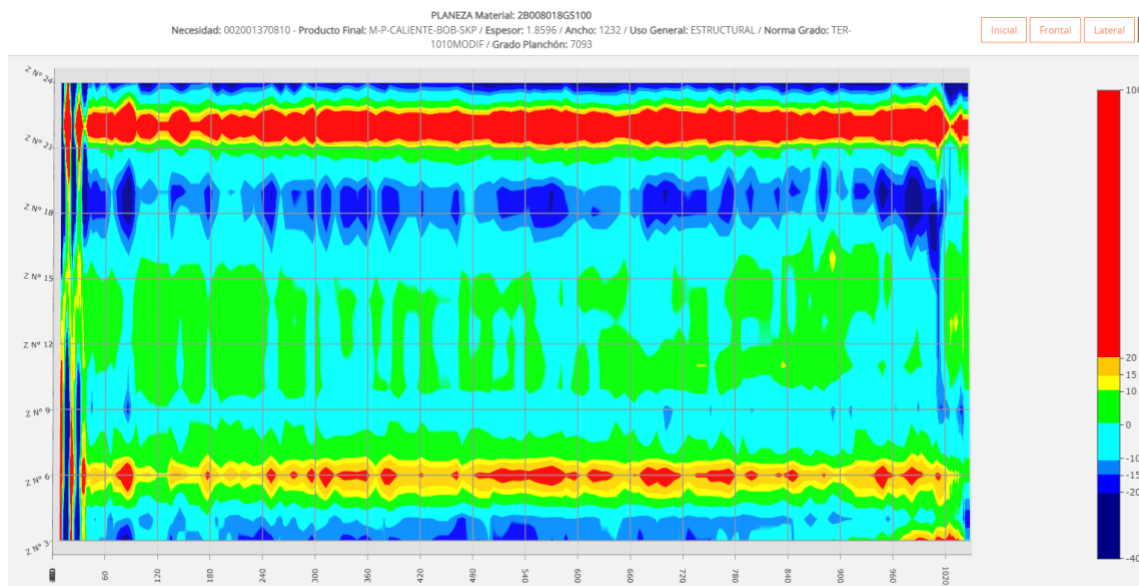
**Anexo 3.12. Gráfico de Planeza de Número de rollo 2B052598GM200.**

El gráfico de planeza de número de rollo 2B052598GM200 en el extremo de lado operador solamente al inicio de la laminación del rollo se reportan valores por encima de los 20 N/mm<sup>2</sup> después se presenta valores de 0 N/mm<sup>2</sup> mientras que en el otro extremo de la lámina se presentan valores a lo largo del rollo de hasta 15 N/mm<sup>2</sup>. Mientras que en el centro de la lámina se reportan al inicio y al final del rollo valores por encima de -20 N/mm<sup>2</sup> y al resto del rollo presenta valores de 0 N/mm<sup>2</sup>.



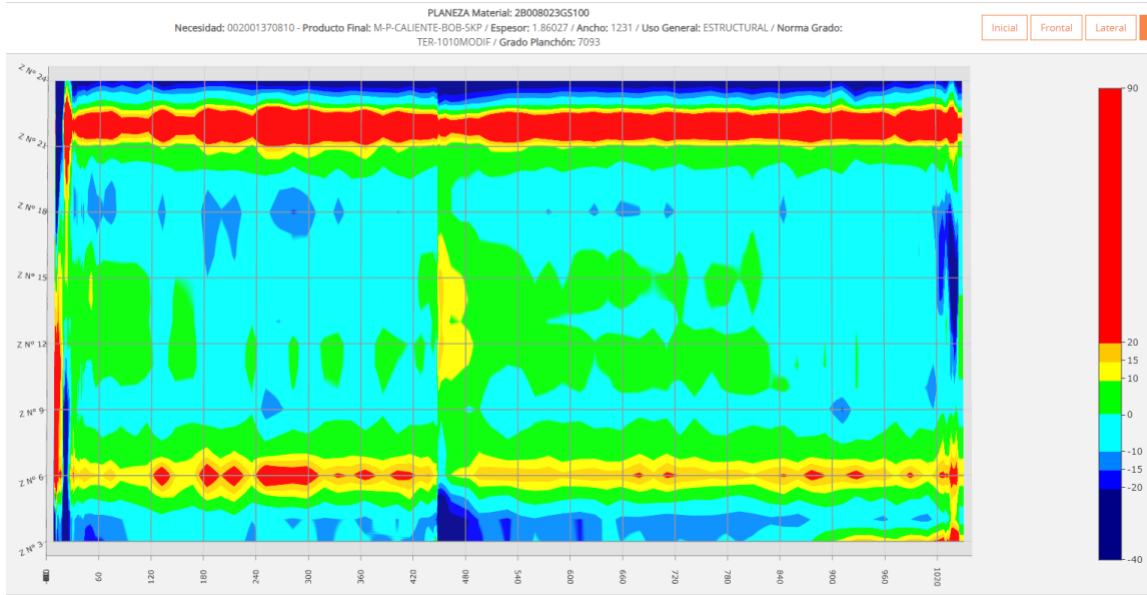
**Anexo 3.13. Gráfico de Planeza de Número de Rollo 2B052600GM200.**

El número de rollo 2B052600GM200 en la orilla lado motriz del rollo se aprecia a lo largo de el mismo valor de hasta  $-15 \text{ N/mm}^2$  mientras que por el otro extremo al inicio se aprecian valores de  $20 \text{ N/mm}^2$  hasta la mitad del rollo, bajando la segunda parte de la laminación hasta valores de  $0 \text{ N/mm}^2$ . El centro del rollo en la primera parte se reportan valores de hasta  $-20 \text{ N/mm}^2$  disminuyendo el valor en la segunda parte del rollo siendo valores máximos de hasta  $-10 \text{ N/mm}^2$ .

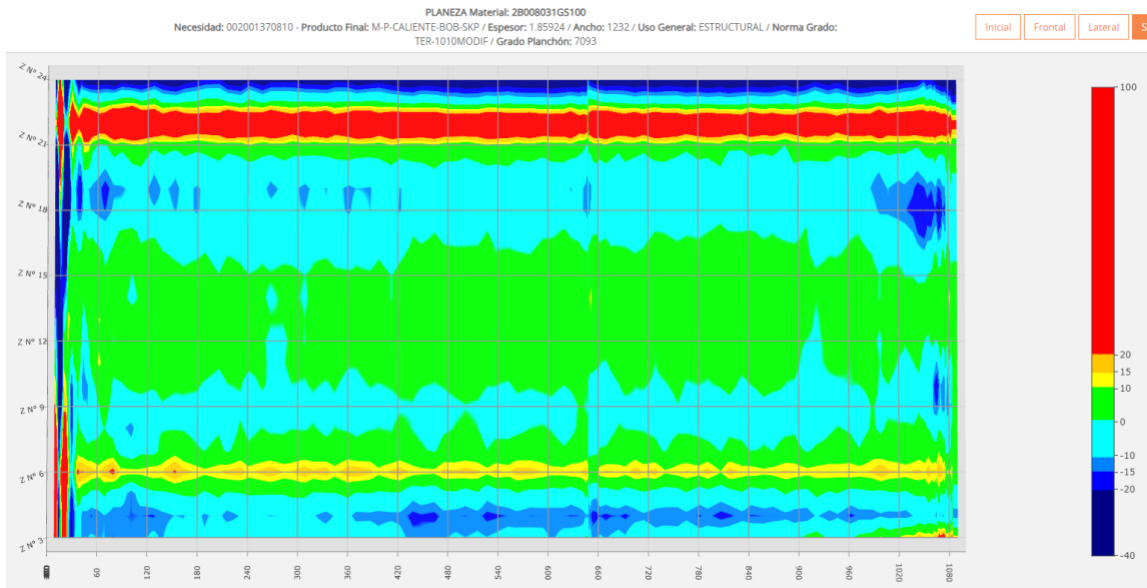


**Anexo 3.14. Gráfico de Planeza de Número de rollo 2B008018GM200.**

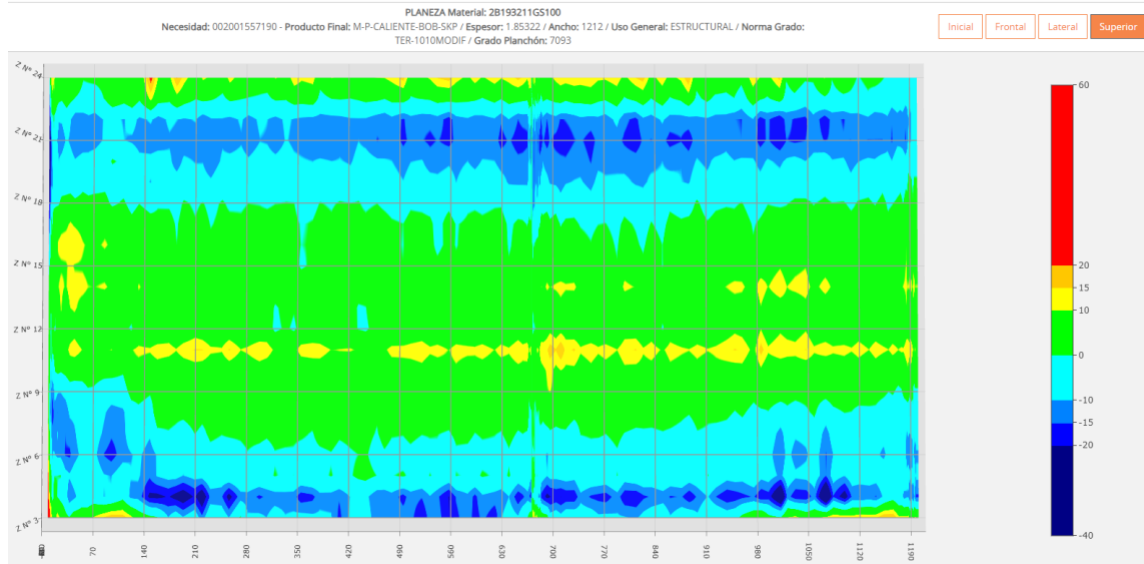
Para el número de rollo 2B008018GM200 se observan en ambos extremos valores por encima de los  $-20$  N/m a lo largo de todo el rollo mientras que de lado operador del extremo hacia  $\frac{1}{4}$  adentro del rollo se aprecia una franja por encima de los  $20$  N/mm a lo largo de todo el rollo mientras que, en la misma posición, pero del otro extremo se reporta un valor similar a lo largo del rollo siendo menos visible. En el centro de la lámina se reportan valores de  $0$  N/mm a lo largo del rollo. Para los números de rollos 2B008023GM200 Y 2B0080031GM200 se observa el mismo comportamiento.



Anexo 3.15. Gráfico de Planeza de Número de rollo 2B008023GM200.

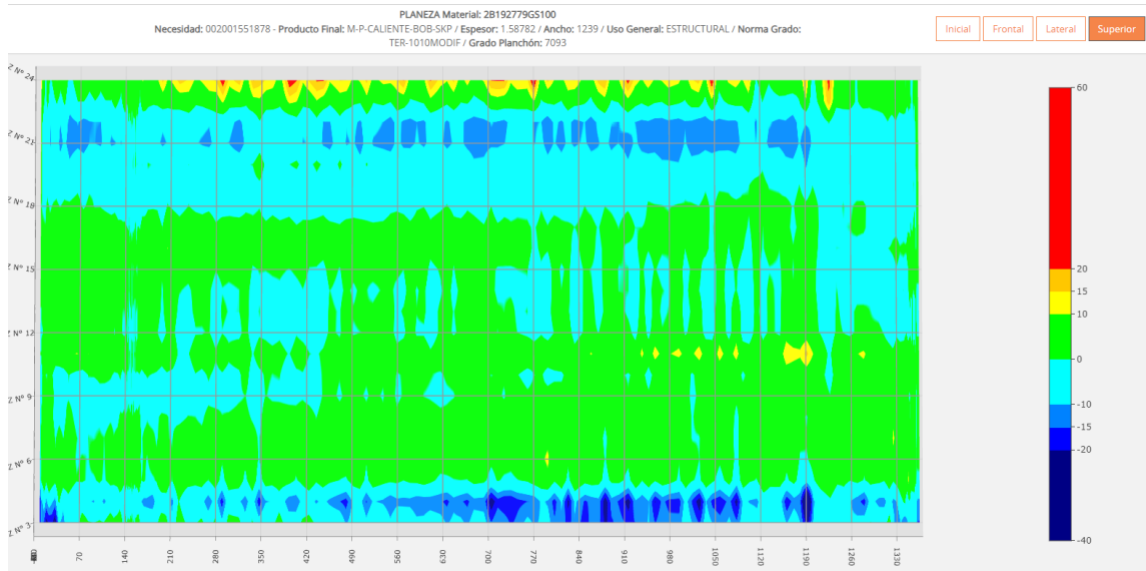


Anexo 3.16. Gráfico de Planeza de Número de Rollo 2B008031GM200.

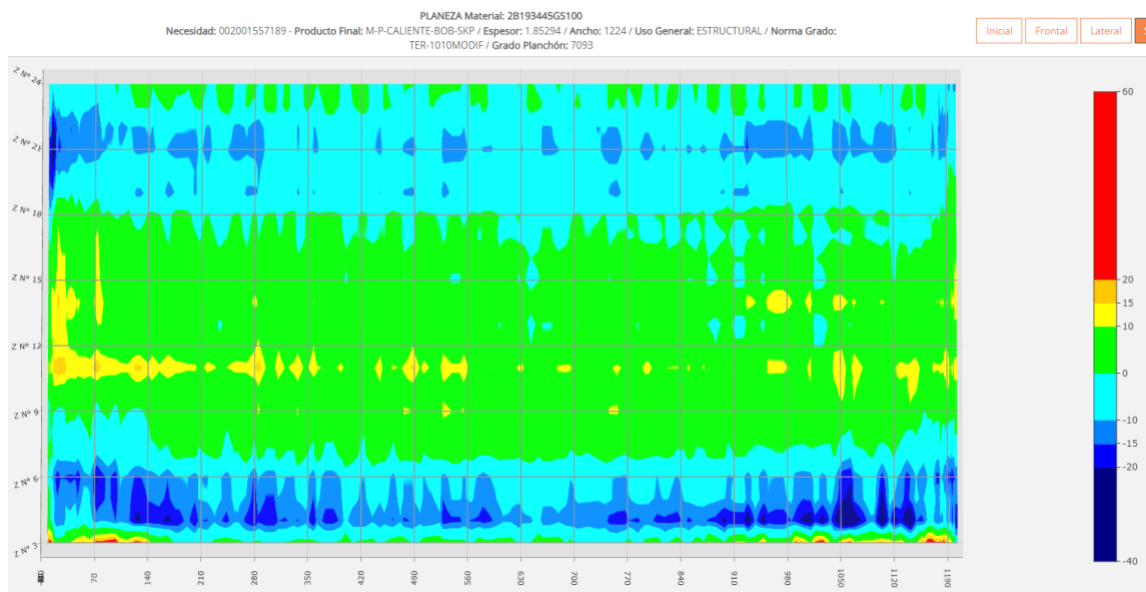


### Anexo 3.17. Gráfico de Planeza de Número de Rollo 2B193211GM200.

En esta última prueba los 3 rollos muestran un comportamiento similar. Se describen presentados valores de 0 N/mm<sup>2</sup> al centro a lo largo del rollo, así como en ambos extremos de cada uno. Solamente del extremo hacia  $\frac{1}{4}$  adentro de la lámina presentan valores de -15 N/mm<sup>2</sup> en ambos lados del rollo.



**Anexo 3.18. Gráfico de Planeza de Número de Rollo 2B192779GM200.**



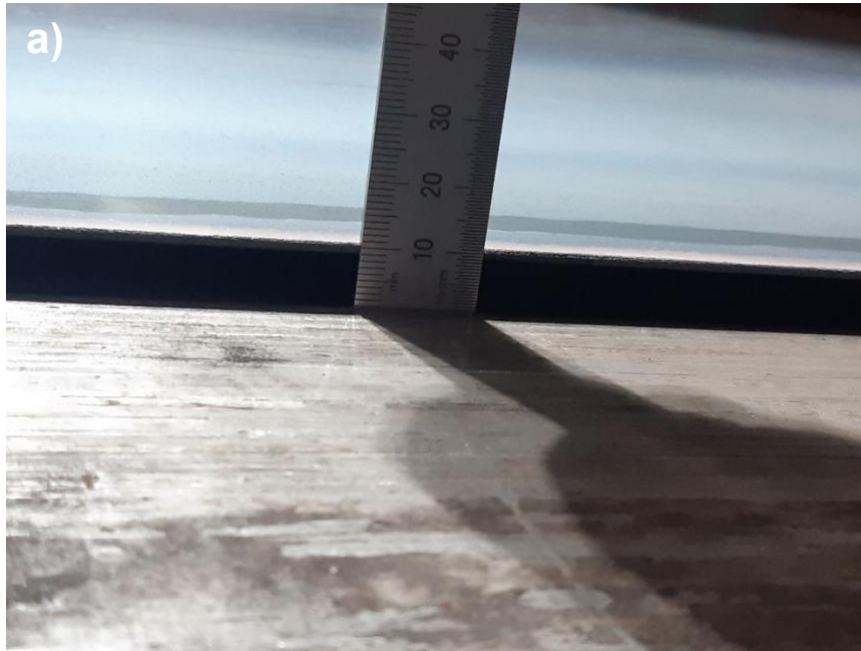
**Anexo 3.19. Gráfico de Planeza de Número de Rollo 2B193925GM200.**

## Anexo 4. Mediciones e imágenes Reportadas en línea de Slitter



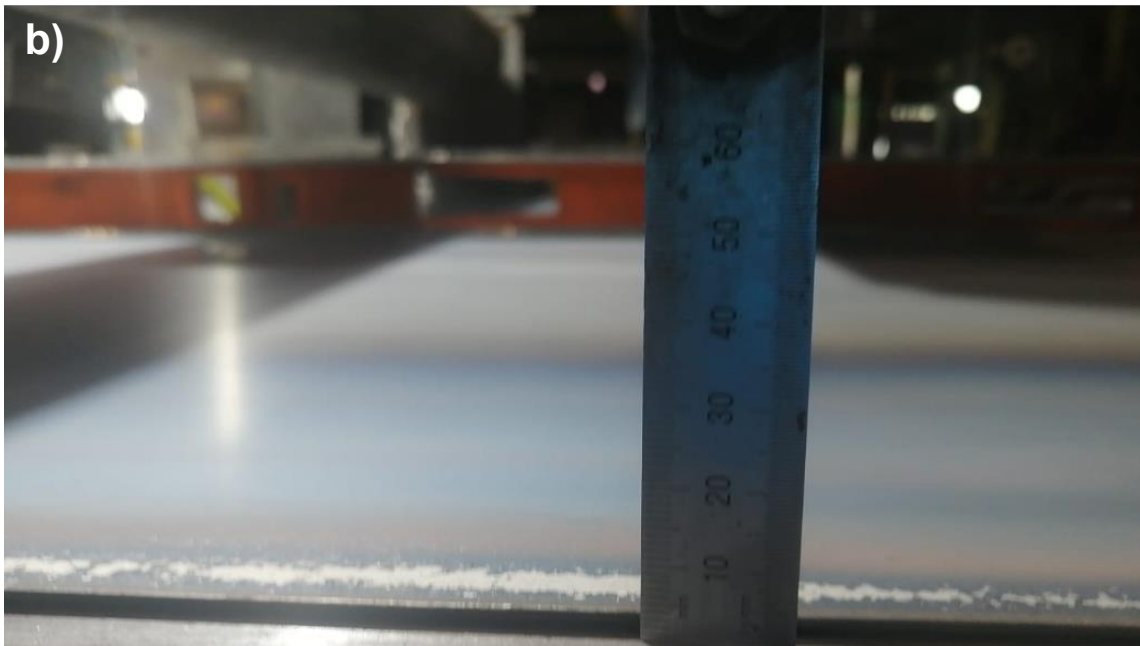
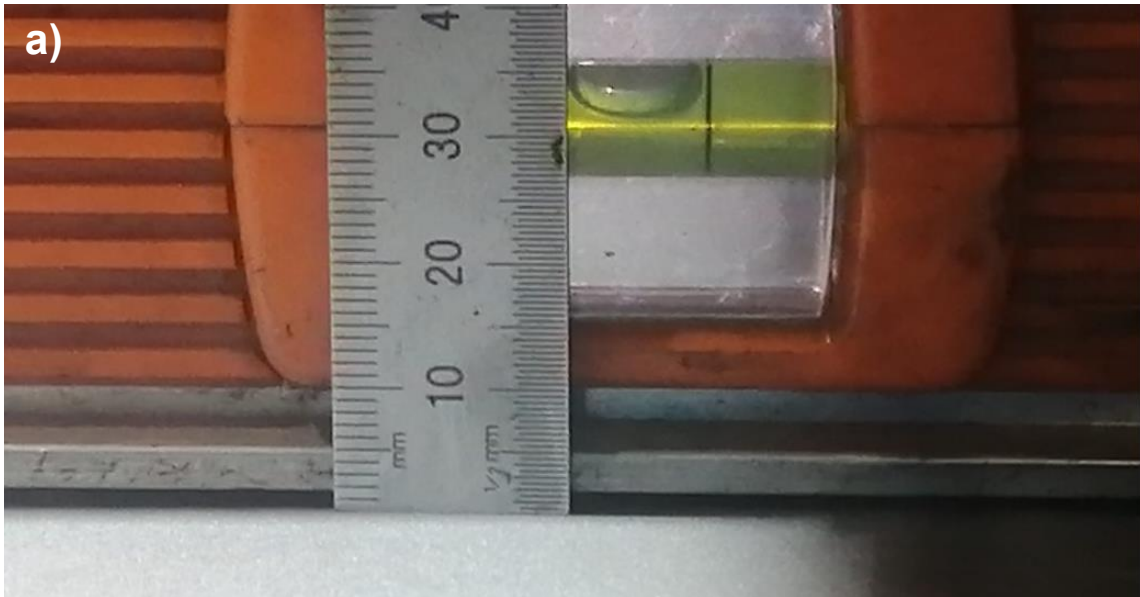
**Anexo 4.1. Resultados de Inspección en línea Slitter.**







**Anexo 4.2. Reporte de mediciones en línea de Skin Pass en orden de Número de rollo: a) 2B096063GM200, b) Número de Rollo 2B096065GM200 y c) Número de rollo 2B096069GM200.**



**Anexo 4.3. Reporte de mediciones: a) al centro y b) orilla de lámina de  
Número de rollo 2B193211GM200.**

## Anexo 5. CALCULOS

### Anexo 5.1. Cálculos de Conversión de Unidades N/mm<sup>2</sup> a Unidades I

Número de rollo: 2A987151GM200

Número de Rollo	Medición Mayor (N/mm <sup>2</sup> )	Número	Medición (N/mm <sup>2</sup> )	Resultante (N/mm <sup>2</sup> )	Unidades I
2A987151GM200	42	1	-19	-61	29
		2	-19	-61	29
		3	-19	-61.0	29
		4	4	-38.0	18
		5	18	-24	11
		6	15	-27	13
		7	10	-32.0	15
		8	-2	-44	21
		9	-11	-53	25
		10	-15	-57	27
		11	-13	-55	26
		12	-7	-49.0	23
		13	2	-40	19
		14	7	-35	17
		15	8	-34	16
		16	3	-39	19
		17	-6	-48	23
		18	-13	-55	26
		19	-9	-51	24
		20	-2	-44	21
		21	3	-39	19
		22	8	-34	16
		23	15	-27	13
		24	-4	-46	22
		25	-4	-46	22
		26	-4	-46	22
		27	-4	-46	22

Unidades I Mayor: = **29 Unidades I**

Unidades I Promedio = **21 Unidades I**

## Número de rollo: 2A987155GM200

Número de Rollo	Medición Mayor (N/mm <sup>2</sup> )	Número	Medición (N/mm <sup>2</sup> )	Resultante (N/mm <sup>2</sup> )	Unidades I
2A987155GM200	47	1	-21	-68	32
		2	-21	-68	32
		3	-21	-68.0	32
		4	-8	-55.0	26
		5	4	-43	20
		6	5	-42	20
		7	6	-41.0	20
		8	7	-40	19
		9	3	-44	21
		10	0	-47	22
		11	-3	-50	24
		12	-4	-51.0	24
		13	7	-40	19
		14	7	-40	19
		15	7	-40	19
		16	5	-42	20
		17	-1	-48	23
		18	-6	-53	25
		19	-5	-52	25
		20	-4	-51	24
		21	0	-47	22
		22	11	-36	17
		23	13	-34	16
		24	-9	-56	27
		25	-9	-56	27
		26	-9	-56	27
		27	-9	-56	27

Unidades I Mayor: = **32 Unidades I**

Unidades I Promedio = **23 Unidades I**

## Número de Rollo: 2A987156GM200

Número de Rollo	Medición Mayor (N/mm <sup>2</sup> )	Número	Medición (N/mm <sup>2</sup> )	Resultante (N/mm <sup>2</sup> )	Unidades I
2A987156GM200	30	1	-20	-50	24
		2	-20	-50	24
		3	-20	-50.0	24
		4	-20	-50.0	24
		5	-6	-36	17
		6	12	-18	9
		7	10	-20.0	10
		8	7	-23	11
		9	3	-27	13
		10	5	-25	12
		11	-4	-34	16
		12	-17	-47.0	22
		13	-18	-48	23
		14	-4	-34	16
		15	-1	-31	15
		16	1	-29	14
		17	-2	-32	15
		18	-8	-38	18
		19	-6	-36	17
		20	-4	-34	16
		21	3	-27	13
		22	12	-18	9
		23	18	-12	6
		24	-5	-35	17
		25	-5	-35	17
		26	-5	-35	17
		27	-5	-35	17

Unidades I Mayor: = **24 Unidades I**

Unidades I Promedio = **16 Unidades I**

## Número de rollo: 2B096063GM200

Número de Rollo	Medición Mayor (N/mm <sup>2</sup> )	Número	Medición (N/mm <sup>2</sup> )	Resultante (N/mm <sup>2</sup> )	Unidades I
2B096063GM200	23	1	0	-23	11
		2	0	-23	11
		3	0	-23.0	11
		4	0	-23.0	11
		5	0	-23	11
		6	-3	-26	12
		7	-19	-42.0	20
		8	-15	-38	18
		9	-8	-31	15
		10	4	-19	9
		11	17	-6	3
		12	13	-10.0	5
		13	12	-11	5
		14	15	-8	4
		15	10	-13	6
		16	7	-16	8
		17	3	-20	10
		18	-1	-24	11
		19	-10	-33	16
		20	-15	-38	18
		21	-16	-39	19
		22	-5	-28	13
		23	3	-20	10
		24	3	-20	10
		25	3	-20	10
		26	3	-20	10
		27	3	-20	10

Unidades I Mayor: = **20 Unidades I**

Unidades I Promedio = **11 Unidades I**

## Número de rollo: 2B096065GM200

Número de Rollo	Medición Mayor (N/mm <sup>2</sup> )	Número	Medición (N/mm <sup>2</sup> )	Resultante (N/mm <sup>2</sup> )	Unidades I
2B096065GM200	23	1	29	-4	2
		2	29	-4	2
		3	29	-4.0	2
		4	29	-4.0	2
		5	25	-8	4
		6	16	-17	8
		7	16	-17.0	8
		8	8	-25	12
		9	1	-32	15
		10	-7	-40	19
		11	-5	-38	18
		12	-3	-36.0	17
		13	-9	-42	20
		14	-13	-46	22
		15	-21	-54	26
		16	-27	-60	29
		17	-29	-62	30
		18	-30	-63	30
		19	-24	-57	27
		20	-12	-45	21
		21	-5	-38	18
		22	6	-27	13
		23	17	-16	8
		24	20	-13	6
		25	20	-13	6
		26	20	-13	6
		27	20	-13	6

Unidades I Mayor: = **30 Unidades I**

Unidades I Promedio = **14 Unidades I**



## Número de rollo: 2B096066GM200

Número de Rollo	Medición Mayor (N/mm <sup>2</sup> )	Número	Medición (N/mm <sup>2</sup> )	Resultante (N/mm <sup>2</sup> )	Unidades I
2B096066GM200	43	1	7	-36	17
		2	7	-36	17
		3	7	-36.0	17
		4	5	-38.0	18
		5	0	-43	20
		6	-1	-44	21
		7	-11	-54.0	26
		8	-7	-50	24
		9	-9	-52	25
		10	0	-43	20
		11	11	-32	15
		12	7	-36.0	17
		13	9	-34	16
		14	8	-35	17
		15	2	-41	20
		16	-9	-52	25
		17	-18	-61	29
		18	-25	-68	32
		19	-24	-67	32
		20	-18	-61	29
		21	-11	-54	26
		22	6	-37	18
		23	4	-39	19
		24	12	-31	15
		25	15	-28	13
		26	6	-37	18
		27	8	-35	17

Unidades I Mayor: = **32 Unidades I**

Unidades I Promedio) = **21 Unidades I**

## Número de rollo: 2B096069GM200

Número de Rollo	Medición Mayor (N/mm <sup>2</sup> )	Número	Medición (N/mm <sup>2</sup> )	Resultante (N/mm <sup>2</sup> )	Unidades I
2B096069GM200	43	1	8	-15	7
		2	8	-15	7
		3	8	-15.0	7
		4	-1	-24.0	11
		5	-8	-31	15
		6	-15	-38	18
		7	-7	-30.0	14
		8	-8	-31	15
		9	0	-23	11
		10	6	-17	8
		11	15	-8	4
		12	12	-11.0	5
		13	14	-9	4
		14	13	-10	5
		15	12	-11	5
		16	8	-15	7
		17	1	-22	10
		18	-7	-30	14
		19	-11	-34	16
		20	-14	-37	18
		21	-13	-36	17
		22	-3	-26	12
		23	0	-23	11
		24	0	-23	11
		25	0	-23	11
		26	0	-23	11
		27	0	-23	11

Unidades I Mayor: = **18 Unidades I**

Unidades I Promedio = **11 Unidades I**

## Número de rollo: 2B052117GM200

Número de Rollo	Medición Mayor (N/mm <sup>2</sup> )	Número	Medición (N/mm <sup>2</sup> )	Resultante (N/mm <sup>2</sup> )	Unidades I
2B052117GM200	23	1	10	-13	6
		2	10	-13	6
		3	10	-13.0	6
		4	-12	-35.0	17
		5	4	-19	9
		6	2	-21	10
		7	6	-17.0	8
		8	6	-17	8
		9	1	-22	10
		10	-2	-25	12
		11	-7	-30	14
		12	-12	-35.0	17
		13	-10	-33	16
		14	-6	-29	14
		15	0	-23	11
		16	0	-23	11
		17	2	-21	10
		18	5	-18	9
		19	5	-18	9
		20	4	-19	9
		21	4	-19	9
		22	6	-17	8
		23	5	-18	9
		24	-14	-37	18
		25	-10	-33	16
		26	-10	-33	16
		27	-10	-33	16

Unidades I Mayor: = **17 Unidades I**

Unidades I Promedio) = **11 Unidades I**

## Número de rollo: 2B051071GM200

Número de Rollo	Medición Mayor (N/mm <sup>2</sup> )	Número	Medición (N/mm <sup>2</sup> )	Resultante (N/mm <sup>2</sup> )	Unidades I
2B051071GM200	30	1	27	-3	1
		2	27	-3	1
		3	27	-3.0	1
		4	3	-27.0	13
		5	-1	-31	15
		6	-6	-36	17
		7	2	-28.0	13
		8	-1	-31	15
		9	-3	-33	16
		10	-2	-32	15
		11	0	-30	14
		12	-6	-36.0	17
		13	-5	-35	17
		14	-2	-32	15
		15	-1	-31	15
		16	0	-30	14
		17	5	-25	12
		18	12	-18	9
		19	1	-29	14
		20	6	-24	11
		21	4	-26	12
		22	5	-25	12
		23	-1	-31	15
		24	-20	-50	24
		25	-20	-50	24
		26	-20	-50	24
		27	-20	-50	24

Unidades I Mayor: = **24 Unidades I**

Unidades I Promedio = **14 Unidades I**

## Número de rollo: 2B052602GM200

Número de Rollo	Medición Mayor (N/mm <sup>2</sup> )	Número	Medición (N/mm <sup>2</sup> )	Resultante (N/mm <sup>2</sup> )	Unidades I
2B052602GM200	33	1	0	-33	16
		2	0	-33	16
		3	0	-33.0	16
		4	-2	-35.0	17
		5	13	-20	10
		6	-2	-35	17
		7	5	-28.0	13
		8	9	-24	11
		9	-1	-34	16
		10	-10	-43	20
		11	-20	-53	25
		12	-20	-53.0	25
		13	-19	-52	25
		14	-7	-40	19
		15	1	-32	15
		16	5	-28	13
		17	7	-26	12
		18	12	-21	10
		19	9	-24	11
		20	7	-26	12
		21	8	-25	12
		22	13	-20	10
		23	8	-25	12
		24	-21	-54	26
		25	-20	-53	25
		26	-20	-53	25
		27	-20	-53	25

Unidades I Mayor: = **25 Unidades I**

Unidades I Promedio = **17 Unidades I**

## Número de rollo: 2B052598GM200

Número de Rollo	Medición Mayor (N/mm <sup>2</sup> )	Número	Medición (N/mm <sup>2</sup> )	Resultante (N/mm <sup>2</sup> )	Unidades I
2B052598GM200	36	1	10	-26	12
		2	10	-26	12
		3	10	-26.0	12
		4	-8	-44.0	21
		5	6	-30	14
		6	4	-32	15
		7	4	-32.0	15
		8	7	-29	14
		9	3	-33	16
		10	-2	-38	18
		11	-6	-42	20
		12	-8	-44.0	21
		13	-8	-44	21
		14	-1	-37	18
		15	4	-32	15
		16	3	-33	16
		17	2	-34	16
		18	3	-33	16
		19	0	-36	17
		20	-1	-37	18
		21	0	-36	17
		22	4	-32	15
		23	3	-33	16
		24	-19	-55	26
		25	-19	-55	26
		26	-19	-55	26
		27	-19	-55	26

Unidades I Mayor: = **26 Unidades I**

Unidades I Promedio = **18 Unidades I**

## Número de rollo: 2B052600GM200

Número de Rollo	Medición Mayor (N/mm <sup>2</sup> )	Número	Medición (N/mm <sup>2</sup> )	Resultante (N/mm <sup>2</sup> )	Unidades I
2B052600GM200	36	1	8	-28	13
		2	8	-28	13
		3	8	-28.0	13
		4	-8	-44.0	21
		5	6	-30	14
		6	4	-32	15
		7	4	-32.0	15
		8	7	-29	14
		9	3	-33	16
		10	-2	-38	18
		11	-6	-42	20
		12	-8	-44.0	21
		13	-8	-44	21
		14	-1	-37	18
		15	4	-32	15
		16	3	-33	16
		17	2	-34	16
		18	3	-33	16
		19	0	-36	17
		20	-1	-37	18
		21	0	-36	17
		22	4	-32	15
		23	3	-33	16
		24	-16	-52	25
		25	-16	-52	25
		26	-16	-52	25
		27	-16	-52	25

Unidades I Mayor: = **25 Unidades I**

Unidades I Promedio = **18 Unidades I**

## Número de rollo: 2B008018GM200

Número de Rollo	Medición Mayor (N/mm <sup>2</sup> )	Número	Medición (N/mm <sup>2</sup> )	Resultante (N/mm <sup>2</sup> )	Unidades I
2B008018GM200	54	1	-18	-72	34
		2	-18	-72	34
		3	-18	-72.0	34
		4	-13	-67.0	32
		5	6	-48	23
		6	25	-29	14
		7	5	-49.0	23
		8	-3	-57	27
		9	-8	-62	30
		10	-1	-55	26
		11	1	-53	25
		12	1	-53.0	25
		13	0	-54	26
		14	2	-52	25
		15	0	-54	26
		16	-3	-57	27
		17	-9	-63	30
		18	-15	-69	33
		19	-15	-69	33
		20	-5	-59	28
		21	7	-47	22
		22	51	-3	1
		23	4	-50	24
		24	23	-31	15
		25	-23	-77	37
		26	-23	-77	37
		27	-23	-77	37

Unidades I Mayor: = **37 Unidades I**

Unidades I Promedio = **27 Unidades I**



## Número de rollo: 2B008021GM200

Número de Rollo	Medición Mayor (N/mm <sup>2</sup> )	Número	Medición (N/mm <sup>2</sup> )	Resultante (N/mm <sup>2</sup> )	Unidades I
2B008021GM200	50	1	-9	-59	28
		2	-9	-59	28
		3	-9	-59.0	28
		4	-9	-59.0	28
		5	6	-44	21
		6	25	-25	12
		7	5	-45.0	21
		8	-3	-53	25
		9	-8	-58	28
		10	-1	-51	24
		11	1	-49	23
		12	1	-49.0	23
		13	0	-50	24
		14	2	-48	23
		15	0	-50	24
		16	-3	-53	25
		17	-9	-59	28
		18	-15	-65	31
		19	-15	-65	31
		20	-5	-55	26
		21	7	-43	20
		22	51	1	0
		23	4	-46	22
		24	23	-27	13
		25	-25	-75	36
		26	-25	-75	36
		27	-25	-75	36

Unidades I Mayor: = **36 Unidades I**

Unidades I Promedio = **25 Unidades I**

## Número de rollo: 2B008032GM200

Número de Rollo	Medición Mayor (N/mm <sup>2</sup> )	Número	Medición (N/mm <sup>2</sup> )	Resultante (N/mm <sup>2</sup> )	Unidades I
2B008032GM200	54	1	-7	-61	29
		2	-7	-61	29
		3	-7	-61.0	29
		4	-7	-61.0	29
		5	6	-48	23
		6	25	-29	14
		7	5	-49.0	23
		8	-3	-57	27
		9	-8	-62	30
		10	-1	-55	26
		11	1	-53	25
		12	1	-53.0	25
		13	0	-54	26
		14	2	-52	25
		15	8	-46	22
		16	8	-46	22
		17	6	-48	23
		18	5	-49	23
		19	9	-45	21
		20	10	-44	21
		21	7	-47	22
		22	51	-3	1
		23	4	-50	24
		24	23	-31	15
		25	-30	-84	40
		26	-30	-84	40
		27	-30	-84	40

Unidades I Mayor: = **40 Unidades I**

Unidades I Promedio = **25 Unidades I**

## Número de rollo: 2B193211GM200

Número de Rollo	Medición Mayor (N/mm <sup>2</sup> )	Número	Medición (N/mm <sup>2</sup> )	Resultante (N/mm <sup>2</sup> )	Unidades I
2B193211GM200	14	1	-5	-19	9
		2	-5	-19	9
		3	-5	-19.0	9
		4	-5	-19.0	9
		5	10	-4	2
		6	-2	-16	8
		7	0	-14.0	7
		8	3	-11	5
		9	5	-9	4
		10	6	-8	4
		11	12	-2	1
		12	3	-11.0	5
		13	4	-10	5
		14	7	-7	3
		15	3	-11	5
		16	4	-10	5
		17	2	-12	6
		18	0	-14	7
		19	-8	-22	10
		20	-8	-22	10
		21	10	-4	2
		22	-13	-27	13
		23	1	-13	6
		24	10	-4	2
		25	10	-4	2
		26	10	-4	2
		27	10	-4	2

Unidades I Mayor: = **13 Unidades I**

Unidades I Promedio = **6 Unidades I**

## Número de rollo: 2B192779GM200

Número de Rollo	Medición Mayor (N/mm <sup>2</sup> )	Número	Medición (N/mm <sup>2</sup> )	Resultante (N/mm <sup>2</sup> )	Unidades I
2B197779GM200	20	1	-8	-28	13
		2	-8	-28	13
		3	-8	-28.0	13
		4	-12	-32.0	15
		5	1	-19	9
		6	4	-16	8
		7	3	-17.0	8
		8	6	-14	7
		9	1	-19	9
		10	2	-18	9
		11	6	-14	7
		12	0	-20.0	10
		13	1	-19	9
		14	1	-19	9
		15	2	-18	9
		16	4	-16	8
		17	4	-16	8
		18	-1	-21	10
		19	-5	-25	12
		20	-5	-25	12
		21	-11	-31	15
		22	-11	-31	15
		23	1	-19	9
		24	12	-8	4
		25	12	-8	4
		26	12	-8	4
		27	12	-8	4

Unidades I Mayor: = **15 Unidades I**

Unidades I Promedio = **9 Unidades I**

## Número de rollo: 2B193925GM200

Número de Rollo	Medición Mayor (N/mm <sup>2</sup> )	Número	Medición (N/mm <sup>2</sup> )	Resultante (N/mm <sup>2</sup> )	Unidades I
2B193925GM200	15	1	-13	-28	13
		2	-13	-28	13
		3	-13	-28.0	13
		4	-15	-30.0	14
		5	-3	-18	9
		6	5	-10	5
		7	6	-9.0	4
		8	2	-13	6
		9	7	-8	4
		10	4	-11	5
		11	8	-7	3
		12	0	-15.0	7
		13	2	-13	6
		14	0	-15	7
		15	0	-15	7
		16	0	-15	7
		17	-1	-16	8
		18	-2	-17	8
		19	-5	-20	10
		20	-8	-23	11
		21	-10	-25	12
		22	-5	-20	10
		23	4	-11	5
		24	8	-7	3
		25	8	-7	3
		26	8	-7	3
		27	8	-7	3

Unidades I Mayor: = **14 Unidades I**

Unidades I Promedio = **7 Unidades I**

**Anexo 5.2. Cálculos. Conversión de MM a Unidades I****Número de rollo: 2A987151GM200****Inspección en Skin Pass**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{3}{500}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{9 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{2}{350}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{8 \text{ Unidades I}}$$

**Inspección en Slitter**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{15}{900}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{68 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{14}{900}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{59 \text{ Unidades I}}$$

**Número de rollo: 2A987155GM200****Inspección en Skin Pass**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{1}{200}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{6 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{3}{500}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{9 \text{ Unidades I}}$$

**Inspección en Slitter**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{18}{900}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{98 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{17}{900}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{88 \text{ Unidades I}}$$

**Número de rollo: 2A987156GM200****Inspección en Skin Pass**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{3}{500}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{9 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{3}{500}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{9 \text{ Unidades I}}$$

**Inspección en Slitter**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{17}{900}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{88 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{14}{900}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{59 \text{ Unidades I}}$$

**Número de rollo: 2B096063GM200****Inspección en Skin Pass**

No se tomaron mediciones.

**Inspección en Slitter**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{9}{790}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{32 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{5}{540}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{12 \text{ Unidades I}}$$

**Número de rollo: 2B096065GM200****Inspección en Skin Pass**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{3}{500}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{9 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{0}{0}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{0 \text{ Unidades I}}$$

### **Inspección en Slitter**

No se tomaron validaciones en Slitter.

**Número de rollo: 2B096066GM200**

### **Inspección en Skin Pass**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{3}{500}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{9 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{0}{0}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{0 \text{ Unidades I}}$$

### **Inspección en Slitter**

No se tomaron validaciones en Slitter.

**Número de rollo: 2B096069GM200**

### **Inspección en Skin Pass**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{2}{350}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{8 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{0}{0}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{0 \text{ Unidades I}}$$

### **Inspección en Slitter**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{16}{900}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{77 \text{ Unidades I}}$$



$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{10}{800}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{38 \text{ Unidades I}}$$

**Número de rollo: 2B052117GM200**

**Inspección en Skin Pass**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{3}{500}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{9 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{4}{600}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{10 \text{ Unidades I}}$$

**Inspección en Slitter**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{2}{350}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{8 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{7}{800}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{18 \text{ Unidades I}}$$

**Número de rollo: 2B051071GM200**

**Inspección en Skin Pass**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{2}{350}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{8 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{3}{500}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{9 \text{ Unidades I}}$$

**Inspección en Slitter**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{1}{200}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{6 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{1}{200}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{6 \text{ Unidades I}}$$

**Número de rollo: 2B052602GM200****Inspección en Skin Pass**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{1}{200}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{6 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{7}{800}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{18 \text{ Unidades I}}$$

**Inspección en Slitter**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{1}{200}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{6 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{9}{800}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{31 \text{ Unidades I}}$$

**Número de rollo: 2B052598GM200****Inspección en Skin Pass**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{2}{350}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{8 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{5}{500}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{24 \text{ Unidades I}}$$

**Inspección en Slitter**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{1}{200}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{6 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{4}{500}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{15 \text{ Unidades I}}$$

**Número de rollo: 2B052600GM200**

**Inspección en Skin Pass**

No se toman mediciones en Skin Pass.

**Inspección en Slitter**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{1}{200}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{6 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{9}{900}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{24 \text{ Unidades I}}$$

**Número de rollo: 2B008018GM200**

**Inspección en Skin Pass**

No se toman mediciones en Skin Pass.

**Inspección en Slitter**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{10}{900}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{30 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{8}{800}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{24 \text{ Unidades I}}$$

**Número de rollo: 2B008021GM200**

**Inspección en Skin Pass**

No se toman mediciones en Skin Pass.

**Inspección en Slitter**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{12}{900}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{43 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{7}{800}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{18 \text{ Unidades I}}$$

**Número de rollo: 2B008032GM200****Inspección en Skin Pass**

No se toman mediciones en Skin Pass.

**Inspección en Slitter**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{8}{800}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{24 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{7}{800}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{18 \text{ Unidades I}}$$

**Número de rollo: 2B193211GM200****Inspección en Skin Pass**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{1}{200}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{6 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{2}{350}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{8 \text{ Unidades I}}$$

**Inspección en Slitter**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{1}{200}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{6 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{5}{540}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{12 \text{ Unidades I}}$$

**Número de rollo: 2B192779GM200****Inspección en Skin Pass**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{3}{500}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{9 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{0}{0}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{0 \text{ Unidades I}}$$

**Inspección en Slitter**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{3}{500}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{9 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{4}{600}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{10 \text{ Unidades I}}$$

**Número de rollo: 2B193925GM200****Inspección en Skin Pass**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{2}{350}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{8 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{0}{0}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{0 \text{ Unidades I}}$$

**Inspección en Slitter**

$$\text{Altura Orilla} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{2}{350}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{8 \text{ Unidades I}}$$

$$\text{Altura Centro} = \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{4}{600}\right)^2 \times 10^5 = \mathbf{10 \text{ Unidades I}}$$

### Anexo 6. Valores reportados de medición de L (Longitud de onda)

Número de rollo	L (mm) Orilla SKP	L (mm) Centro SKP	L (mm) Orilla Slitter	L (mm) Centro Slitter
2A987147GM200	350	600	900	900
2A987151GM200.	500	350	900	900
2A987155GM200	200	500	900	900
2A987156GM200	500	500	900	900
2B096063GM200	-	-	790	540
2B096065GM200	500	0	-	-
2B096066GM200	500	0	-	-
2B096069GM200	350	0	900	800
2B052117GM200	500	600	350	800
2B051071GM200	350	500	200	200
2B052602GM200	200	800	200	800
2B052598GM200	350	500	200	500
2B052600GM200	-	-	200	900
2B008018GM200	-	-	900	800
2B008021GM200	-	-	900	800
2B008032GM200	-	-	800	800
2B193211GM200	200	350	200	540
2B192779GM200	500	0	500	600
2B193925GM200	350	0	350	600