

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGIA



**FABRICACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE BARRAS CALIBRADAS  
CALIDAD DIN9SMn28**

## **INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
METALURGISTA**

PRESENTADO POR:

CARLOS SAMUEL TITO GARCIA

**LIMA – PERU**

**2011**

**DEDICATORIA:**

Este trabajo está dedicado a mis hijos, por ser mi fuerza y templanza, a mi esposa por brindarme su amor y apoyo constante.

## INDICE

	Pag.
Resumen	15
Summary	16
Introducción.	17
<b>CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES</b>	19
1.1 Objetivo general.	19
1.2 Proceso de Fabricación en Acería.	19
1.2.1 Cargas Metálicas.	20
1.2.2 Proceso en el Horno de Arco Eléctrico.	24
1.2.3 Proceso en Horno Cuchara.	30
1.2.4 Proceso en Colada Continua.	35
1.3 Proceso de Fabricación en Laminación.	41
1.3.1 Horno de Recalentamiento de Laminación.	42
1.3.2 Descascarillado.	43
1.3.3 Tren de Desbaste.	44
1.3.4 Tren Continuo.	45

1.3.5 Corte en Caliente.	45
1.3.6 Acabados.	46
1.4 Proceso de Fabricación en la Planta de Calibrado.	48
1.4.1 Preparación de Materia Prima.	48
1.4.2 Lavado.	49
1.4.3 Decapado Químico.	49
1.4.4 Neutralizado.	49
1.4.5 Secado.	50
1.4.6 Apuntado	50
1.4.7 Calibrado.	51
1.4.8 Pulido y enderezado.	55
1.4.9 Aceitado y empaquetado.	55
1.4.10 Características de los productos calibrados.	56
1.5 Acero de Corte Libre.	57
1.6 Maquinabilidad.	58
1.7 Grado de Reducción.	61
1.8 Campo Magnético.	62
1.9 Ferromagnetismo.	63

<b>CAPITULO II: FABRICACIÓN DE ACERO CALIDAD DIN9SMn28</b>	67
2.1 Composición Química.	67
2.1.1 El azufre y Manganeso.	68
2.1.2 El Fósforo.	69
2.1.3 El Silicio.	70
2.1.4 El carbono.	70
2.2 Tipo de Sulfuro de Manganeso.	71
2.3 Distribución de Sulfuros de Manganeso.	74
2.4 Propiedades Mecánicas.	76
2.5 Pruebas de Maquinabilidad.	78
2.6 Comparación del Tipo de Viruta en el Mecanizado.	80
<b>CAPITULO III: OPTIMIZACIÓN Y MEJORAS EN EL PROCESO DE FABRIACIÓN DEL ACERO CALIDAD DIN9SMn28</b>	84
3.1 Antecedentes.	84
3.2 Optimización y mejoras en la Planta de Acería.	86
3.2.1 Mejoras del Tipo de Sulfuro de Manganeso.	86
3.2.2 Cambio de la forma de Sagrado del Horno Eléctrico.	99
3.2.3 Mejora en la Colada Continua.	100

3.3 Optimización y mejora en la Planta de Laminación.	107
3.3.1 Implementación del Ensayo de Partículas Magnéticas.	107
3.4 Optimización y mejoras en la Planta de Calibrado.	117
3.4.1 Implementación de Ensayos al producto Calibrado.	117
3.4.2 Reducción de la deformación en frío.	119
<b>CAPITULO IV: COMENTARIOS</b>	125
<b>CAPITULO V: CONCLUSIONES</b>	127
<b>CAPITULO VI: RECOMENDACIONES</b>	129
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	130
<b>GLOSARIO DE TERMINOS</b>	132
<b>ANEXOS:</b>	
Anexo 1. Diagrama de Flujo de Plantas.	
Anexo 2. Descripción de Equipos.	
Anexo 3. Diagramas.	
Anexo. 4 Normas Técnicas.	
Anexo 5. Tolerancias Dimensionales y Propiedades Mecánicas Reales.	

**INDICE DE FIGURAS**

	Pag.
Figura N°1.1 Acero reciclado pesado.	20
Figura N°1.2 Tarros de leche compactados.	21
Figura N°1.3 Material metálico embutido reciclado.	21
Figura N°1.4 Material metálico con alto contenido residual.	22
Figura N°1.5 Acero reciclado fragmentado.	22
Figura N°1.6 Esquema de obtención del Hierro esponja.	23
Figura N°1.7 Briquetas pre reducidas.	24
Figura N°1.8 Ingreso de carga metálica al Horno.	25
Figura N°1.9 Fusión de carga metálica en el Horno de Arco Eléctrico.	25
Figura N°1.10 Posicionamiento de los quemadores dentro del horno.	26
Figura N°1.11 Formación de escoria espumosa.	27
Figura N°1.12 Sangrado del Horno de Arco Eléctrico.	30
Figura N°1.13 Stirring empleando gas Argón.	31
Figura N°1.14 Esquema del Horno Cuchara.	34
Figura N°1.15 Foto de Horno de Cuchara.	34
Figura N°1.16 Esquema de la Colada Continua.	35

Figura N°1.17 Transferencia de acero líquido entre Cuchara – Tundish – Molde.	36
Figura N°1.18 Transferencia del acero líquido entre la cuchara – repartidor.	37
Figura N°1.19 Transferencia del acero líquido entre el repartidor – molde.	37
Figura N°1.20 Esquema de la solidificación del acero en la colada continua.	39
Figura N°1.21 Palanquillas solidificadas a la salida de la enderezadora.	39
Figura N°1.22 Corte de palanquillas con equipo Rokop.	40
Figura N°1.23 Mesa de evacuación de palanquillas	40
Figura N°1.24 Deformación en caliente por acción de cilindros de laminación	41
Figura N°1.25 Pases de laminación para la fabricación de barras redondas.	41
Figura N°1.26 Horno de Recalentamiento Danieli de 80tn.	43
Figura N°1.27 Vista lateral del Horno de Recalentamiento.	43
Figura N°1.28 Palanquilla pasando por el descascarillador.	44
Figura N°1.29 Ten continuo de laminación.	45
Figura N°1.30 Cizalla volante.	46
Figura N°1.31 Placa de enfriamiento de 60m.	46
Figura N°1.32 Cizalla de corte en frío.	47
Figura N°1.33 Atadora automática.	47
Figura N°1.34 Paquetes formados y pesados.	47

Figura N°1.35 Barras calibradas y piezas fabricadas a partir de barras calibradas.	48
Figura N°1.36 Proceso de conformado en frío por Calibrado.	51
Figura N°1.37 Fotos de la hilera y Barra calibrada.	53
Figura N°1.38 Esquema hilera para calibrado.	53
Figura N°1.39 Deformación en frío versus variación de propiedades mecánicas.	54
Figura N°1.40 Maquina Pulidora y Enderezadora de Barras Redondas Calibradas.	55
Figura N°1.41 Control Dimensional de las barras calibradas SAE 1018.	56
Figura N°1.42 Mecanizado en Torno Universal – Bajo ritmo de producción.	58
Figura N°1.43 Mecanizado en Torno Automático – Alto ritmo de producción.	59
Figura N°1.44 Autopartes fabricadas a partir de Aceros de Corte Libre.	60
Figura N°1.45 Esquema para el cálculo del grado de reducción.	61
Figura N°1.46 Efectos del campo magnético sobre una carga “ $q_0$ ” en el espacio.	63
Figura N°1.47 Alineación de los dominio magnéticos.	64
Figura N°1.48 Campo magnético de la Tierra.	65
Figura N°1.49 Campo generado por paso de corriente a través de un conductor.	65
Figura N°1.50 Se observa la generación de campos de fuga.	66
Figura N°2.1 Inclusiones de Sulfuro de Manganeso en Palanquilla, a 500x.	68
Figura N°2.2 Inclusiones de sulfuro de manganeso en barra laminada, a 500x.	68

Figura N°2.3 Inclusiones de sulfuro de manganeso en barra Calibrada, a 500x.	69
Figura N°2.4 Solución sólida intersticial del fosforo la red cristalina de la Ferrita.	69
Figura N° 2.5 Inclusiones de Sulfuro de Manganeso.	71
Figura N°2.6 Inclusiones de Sulfuro de Manganeso alargadas y de óxidos	71
Figura N° 2.7 Microestructura: Matriz Ferrítica con presencia de perlita.	71
Figura N°2.8 Microestructura: Matriz Ferrítica con presencia de perlita en bandas.	71
Figura N°2.9 Tipos de Sulfuros en palanquilla.	72
Figura N°2.10 Tipos de Sulfuros en barras laminadas.	72
Figura N°2.11 Sulfuros Tipo I en palanquilla – Colada 193207 a 100x	73
Figura N°2.12 Sulfuros Tipo II en palanquilla – Colada 178874 a 100x	73
Figura N°2.13 Estructura de solidificación y MnS formados	75
Figura N°2.14 Comparación de propiedades mecánicas.	77
Figura N°2.15 Comparación de piezas mecanizadas por hora.	78
Figura N°2.16 Comparación de tiempo de mecanizado/pieza.	79
Figura N°2.17 Tensionador de faja obtenido por mecanizado en torno automático.	80
Figura N°2.18 Comparación de virutas del acero DIN9SMn28 y SAE 1018.	81
Figura N°2.19 Virutas de acero calidad DIN 9SMn28 (A y B).	81
Figura N°2.20 La foto corresponde a viruta de acero calidad SAE 1018.	82

Figura N°3.1 Micrografía Acero calidad 1213. Colada 178495. Línea 3.	88
Figura N°3.2, Micrografía Acero calidad 1213. Colada 178495. Línea 1.	89
Figura N° 3.3 Micrografía Acero calidad 1213. Colada 178495. Línea 4.	90
Figura N° 3.4 Micrografía Acero calidad DIN 1213. Colada 178496. Línea 1.	91
Figura N° 3.5 Micrografía Acero calidad DIN 1213. Colada 178497. Línea 4.	92
Figura N° 3.6 Micrografía Acero calidad DIN 1213. Colada 178497. Línea 4.	93
Figura N° 3.7 Micrografía Acero calidad DIN 1213. Colada 178497. Línea 2.	94
Figura N°3.8 Distribución y forma de las inclusiones de MnS - colada 186036.	97
Figura N°3.9 Distribución y forma de las inclusiones de MnS - colada 186036.	97
Figura N°3.10 Poros superficiales en palanquillas calidad DIN9SMn28.	99
Figura N°3.11 Cambio de tipo de colada (sangrado) en horno de arco eléctrico.	100
Figura N°3.12 Sistema de Inyección de Alambre de aluminio Ø 2mm al molde.	101
Figura N°3.13. Colada a chorro abierto y con buza sumergida.	102
Figura N°3.14 Tapón móvil, para regular el caudal de colado sobre el molde.	103
Figura N°3.15 Palanquilla colada a chorro abierto.	104
Figura N°3.16 Palanquillas coladas con buza sumergida y polvo colador.	104
Figura N°3.17 Macroinclusiones en palanquilla colada a chorro abierto.	105

Figura N°3.18 Macroinclusiones en palanquilla colada con buza sumergida y polvo colador.	105
Figura N°3.19 Comparación de Macroinclusiones en palanquillas coladas con buza sumergida y a Chorro Abierto.	106
Figura N°3.20 Magnetización circular por contacto directo.	108
Figura N°3.21 Aplicación de partículas magnéticas fluorescentes húmedas, método continuo y con luz ultravioleta.	109
Figura N°3.22 En el ensayo de partículas magnéticas a patrón visual.	109
Figura N°3.23 Pliegue continuo detectado por ensayo de partículas magnéticas.	111
Figura N°3.24 Ensayo de Recalque en caliente.	111
Figura N°3.25 Pliegue continuo detectado por ensayo de partículas magnéticas.	112
Figura N°3.26 Se observa una exfoliación puntual en la barra laminada.	113
Figura N°3.27 Exfoliación puntual. Detectada en el ensayo de partículas magnéticas fluorescentes vía húmeda – luz ultravioleta.	113
Figura N°3.28 Exfoliación alineadas – Pliegue continuo, detectados en el ensayo de partículas magnéticas fluorescentes vía húmeda – luz ultravioleta.	114
Figura N°3.29 Se observan grietas aleatorias longitudinales, detectados en el ensayo de partículas magnéticas fluorescentes vía húmeda – luz ultravioleta.	115
Figura N°3.30 Grieta longitudinal detectada por ensayo de partículas magnéticas, se observa no se logra detectar la grieta visualmente a luz del día.	115

Figura N°3.31 Grietas longitudinales magnificadas en el ensayo de recalque.	116
Figura N°3.32 Análisis Químico y Ensayo Mecánico.	118
Figura N°3.33 Análisis Metalográfico y Ensayo de Dureza.	118
Figura N°3.34 Grieta escalonada - barra calibrada Ø1.1/8" calidad DIN9SMn28.	121
Figura N°3.35, Análisis metalográfico a muestra de calibrada Ø1.1/8" calidad DIN9SMn28.	122

**INDICE DE TABLAS**

	Pag.
Tabla N°1 Clasificación de Aceros de Corte libre.	57
Tabla N°2 Elementos químicos ferromagnéticos.	64
Tabla N°3 Composición Química del Acero DIN 9SMn28.	67
Tabla N°4 Caracterización de Sulfuro Tipo I en palanquilla – colada 193207.	73
Tabla N°5 Caracterización de Sulfuro Tipo II en palanquilla – colada 178874.	73
Tabla N°6 Estadística de propiedades mecánicas de barras laminados.	76
Tabla N°7 Comparación Estadística de propiedades mecánicas de barras calibradas	76
Tabla N°8 Comparación entre Acero DIN9SMn28 y 1213.	78
Tabla N°9 Composición química de barras Calidad DIN 9SMn28 y SAE 1018.	80
Tabla N°10 Características de las virutas del Acero DIN9SMn28 y SAE 1018.	82
Tabla N°11 Análisis Química a muestra de la colada 186035.	96
Tabla N°12 Reducción en frío y draft.	119
Tabla N°13 Calificación de Barras calibradas Ø1.1/4” calidad DIN9SMn28.	120
Tabla N°14 Análisis químico de comprobación.	121
Tabla N°15 Nueva tabla de Reducciones y Draft.	124

## NOMENCLATURAS

$\alpha$ [°]	= Ángulo de ingreso a la hilera.
$\Theta$ [°]	= Ángulo entre el vector de Velocidad y la Fuerza magnética.
$A_o$ [mm <sup>2</sup> ]	= Área de la barra laminada.
$A_f$ [mm <sup>2</sup> ]	= Área de la barra calibrada
....x	= Aumentos de la foto tomada en microscopio metalográfico.
$B$ [T]	= Campo magnético.
$q_o$ [C]	= Carga eléctrica de valor “q”
.... ppm	= cantidad de partes por millón
$i$ [A]	= Corriente eléctrica.
$D_o$ [mm]	= Diámetro de Barra Laminada.
$D_f$ [mm]	= Diámetro de barra Calibrada.
$\Delta G$	= Energía libre de Gibbs.
$F_m$ [N]	= Fuerza magnética
$F$ [N]	= Fuerza empleada para hacer pasar la barra por la hilera
$L_c$ [mm]	= Longitud de contacto de la barra con la hilera.
$X$ [%] o $XY$ [%]	= Porcentaje de elemento o compuesto en peso en una muestra.
$R$ [%]	= Porcentaje de reducción en área.
Mn/S	= Relación entre contenido en peso de Manganeso – Azufre.
$T$ [°C]	= Temperatura.
Rpm	= Revoluciones por minuto de la barra de acero en el torno.
$v$ [m/s]	= Velocidad de desplazamiento de la carga “q”

## **RESUMEN**

El presente informe fue desarrollado completamente en la empresa Corporación Aceros Arequipa S.A. en el complejo la Planta N°2 – Complejo Siderúrgico y la Planta N°4 – Planta de Aceros calibrados, ambas ubicadas en el distrito de Pisco - Ica. El informe desarrolla la fabricación y optimización de los procesos para la obtención de barras calibradas calidad DIN 9SMn28, en las cuales he participado como responsable del Control de Calidad del producto calibrado y laminado, así como de la implementación de controles, análisis y ensayos desarrollados para estos procesos; también se incluye las mejoras que se han venido desarrollando en la planta Acería. El informe se divide en 6 capítulos; el primer capítulo describe los objetivos del informe y los fundamentos teóricos de los procesos involucrados en la fabricación de barras calibradas; el segundo capítulo describe el proceso de fabricación de las palanquillas, barras laminadas en caliente, proceso de calibrado, ensayos y controles realizados; el tercer capítulo describe la implementación de mejoras para la optimización de los procesos de fabricación y su efecto en la mejora de la calidad superficial e interna del producto terminado, mejorando su aptitud al mecanizado y permitiendo comercializar estos productos en mercados extranjeros; en el cuarto capítulo se describe los comentarios con respecto a las actividades desarrolladas; en el quinto capítulo se describe las conclusiones del informe; en el sexto capítulo se describe las recomendaciones con respecto al tema del informe.

## SUMMARY

This report was developed entirely in the Corporacion Aceros Arequipa S.A., Plant N° 2 - Iron and Steel Complex and Plant No. 4 - Calibrated Steel Plant, both located in the district of Pisco - Ica. The report develops the production and process optimization to obtain DIN9SMn28 calibrated bars in which I participated as head of Quality Control of calibrated and laminated products, as well as implementation of controls, analysis and tests developed for these processes also includes the improvements that have been developed in the steelworks plant. The report is divided into 6 chapters, the first chapter of the report describes the objectives and the theoretical fundamentals of the processes involved in the production of calibrated bars, the second chapter describes the process for manufacturing billets, hot rolled bars, process calibration and verification tests, the third chapter describes the implementation of improvements to optimize the manufacturing process and its effect on the improvement of internal and surface quality of the finished product, improving its ability to machine and allowing sell these products in foreign markets in the fourth chapter describes the comments regarding the activities, in the fifth chapter describes conclusions of the report, in the sixth chapter discusses the recommendations on the subject of the report.

## INTRODUCCIÓN

El presente informe tiene como propósito describir el proceso de fabricación de barras redondas calibradas de calidad DIN 9SMn28, las mejoras realizadas que han permitido optimizar los procesos de producción y mejorar la calidad superficial e interna del producto calibrado, las ventajas del su uso de estos aceros para la fabricación de piezas conformadas por arranque de viruta.

Los aceros de corte libre son diseñados especialmente para facilitar su posterior conformado por arranque de viruta (usualmente en tornos automáticos), para la fabricación de piezas como: acoples hidráulicos, pernos, casquillos, válvulas, ejes, clavijas y etc.; en los cuales los costos del mecanizado pueden llegar a costar hasta un 50% del costo total del producto terminado. La clave para la fabricación y reducción de costos de producción de estas piezas, es lograr una alta velocidad de mecanizado, incrementar el tiempo de vida de la herramienta de corte y conseguir una buena superficie terminada.

El acero calidad DIN 9SMn28 posee adiciones de elementos como el azufre (0.27 a 0.33%) y manganeso (1.15 a 1.30%) que forman inclusiones globulares de sulfuro de manganeso (MnS) en la palanquilla; las cuales son deformadas en los procesos de laminado en caliente y calibrado, consiguiendo que los Sulfuros de Manganeso tengan forma globular alargada. Estas inclusiones alargadas actúan como elevadores de tensión en los planos de cizallamiento de la viruta, fragilizándola e iniciando la formación de grietas, además de disminuir la longitud de contacto entre viruta-herramienta de corte; el contenido de fósforo (0.5 a 0.8%) permite disminuir la ductibilidad y tenacidad del acero permitiendo obtener virutas quebradizas.

Se analizará los procesos de fabricación del acero en las Plantas de Acería, Laminación y Aceros Calibrados; las características y especificaciones requeridas para el acero calidad DIN9SMn28, se detallará la implementación de prácticas operativas: ventajas en el cambio de un horno de colada por piquera a uno de colada excéntrica, uso de buza sumergida y polvo colador, el control del oxígeno y aluminio en el acero líquido para favorecer la formación del Sulfuro Tipo I, el desarrollo de nuevas dimensiones de barras laminadas, aplicación del ensayo de Partículas Magnéticas, aplicación de ensayos mecánicos, químicos y metalográficos para la certificación del producto calibrado.

## CAPITULO I

### ASPECTOS GENERALES

#### 1.1 Objetivo General.

Conocer los procesos de fabricación de las barras calibradas calidad DIN9SMn28, mostrar las mejoras realizadas en los procesos de fabricación, lo cual han permitido mejorar la calidad de estos productos permitiendo su comercialización en mercados extranjeros exigentes, para la fabricación de piezas o repuestos para la industria metalmecánica - automotriz, aprovechando sus propiedades mecánicas, su rigidez y buena aptitud al mecanizado; lo cual permite lograr altos ritmos de producción en procesos de conformados por arranque de viruta, en comparación al uso de aceros al carbono.

#### 1.2 Proceso de Fabricación en Acería.

En la planta de acería se transforma la carga metálica en acero líquido, se afina y ajusta su composición química y posteriormente en la colada continua se realiza la solidificación del acero en moldes de sección cuadrada, obteniendo como producto final la palanquilla que será la materia prima para el proceso de Laminación. A continuación se detalla la carga metálica para el horno de arco eléctrico, los procesos

desarrollados en el horno eléctrico, horno cuchara y colada continua, en el anexo 1 se muestra el esquema de la planta de Acería.

### **1.2.1 Cargas Metálicas.**

Es la materia prima base a ser cargada al horno eléctrico de la Acería, su principal aporte es el hierro y algunos elementos aleantes como el manganeso, cromo, níquel, silicio, estaño. Las principales cargas metálicas empleadas son:

**Acero Reciclado Pesado:** Material metálico de alta densidad, corresponde a aceros de medio carbono (0.35 a 0.55% de Carbono) y baja aleación (manganeso, cromo, níquel, estaño, molibdeno, fósforo, azufre).



Figura N°1.1 Acero reciclado pesado.

**Tarros de Compactados:** Material metálico compuesto de tarros o envases de hojalata compactada, que tiene bajo contenido de carbono (0.05 a 0.12% de

Carbono) y bajos elementos aleantes con excepción del estaño (0.25 a 0.42% de estaño), el estaño es el aporte principal de esta carga metálica.

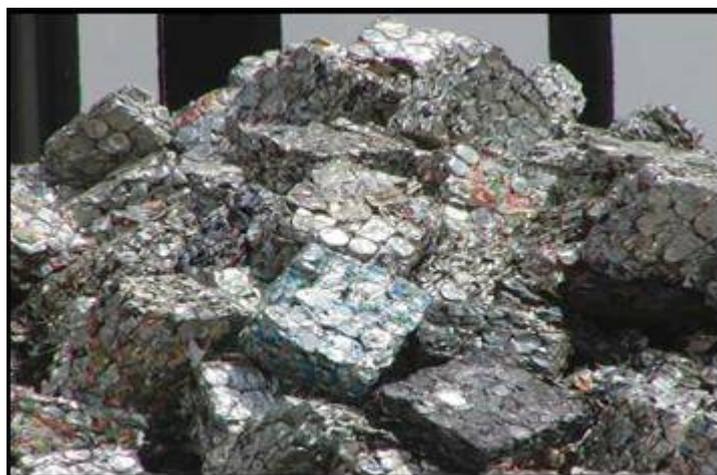


Figura N°1.2 Tarros de leche compactados.

**Embutición:** Son productos livianos fabricados por embutición, tienen bajo contenido de carbono (0.05 a 0.12% de Carbono) y bajos elementos residuales (manganeso, cromo, níquel, estaño, molibdeno, fósforo, azufre).



Figura N°1.3 Material metálico embutido reciclado.

**Alto Residual:** Material metálico con alto contenido elementos aleantes, como: manganeso (5 a 16%), molibdeno (0.2 a 0.9%) y cromo (0.50 a 1.20%),

provenientes principalmente de la industria minera, por ejemplo: chaquetas y forros de molinos, mantle y bowl liner de chancadoras cónicas.



Figura N°1.4 Material metálico con alto contenido residual.

**Acero Reciclado Fragmentado:** Material metálico obtenido a partir de chatarra liviana como chasis de autos, planchas, perfiles delgados, partes de electrodomésticos, tubos, etc., los cuales son fragmentados a través de una cortadora de martillos.



Figura N°1.5 Acero reciclado fragmentado.

**El hierro esponja (hierro poroso):** Es un producto obtenido por un proceso de reducción directa de mineral de hierro oxidado, a través de un reactor que para

nuestro caso son dos hornos rotatorios, los cuales son cargados con mineral de hierro peletizado junto con piedra caliza y carbón, dentro del horno se generan temperaturas de hasta 950°C a 1050°C, las reacciones generadas entre el carbón y oxígeno generando gases de combustión como el CO (monóxido de carbono) el cual favorece una atmósfera reductora dentro del horno, el gas CO reacciona con la superficie del mineral logrando extraer el oxígeno del mineral de hierro oxidado ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  y  $\text{FeO}$ ), dejándolo poroso debido a esta extracción, obteniendo como producto final el hierro esponja, el cual posee de 85 a 92% de hierro.

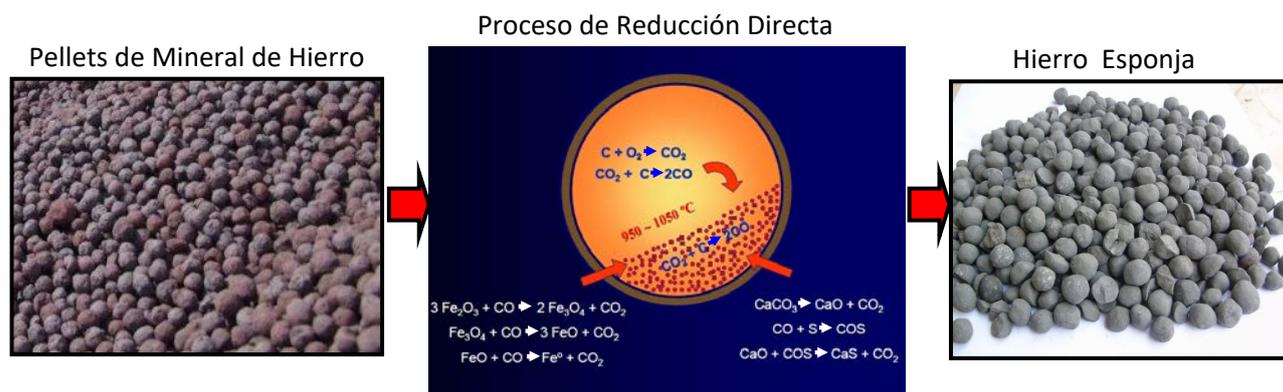


Figura N°1.6 Esquema de obtención del Hierro esponja.

**Pre reducidos:** Son materiales metálicos con contenido de Hierro de 95 a 96%, un contenido de 2 a 3% de Oxido de hierro y aproximadamente 1% de carbono, tienen un muy bajo contenido de elementos residuales.



Figura N°1.7 Briquetas pre reducidas.

### **1.2.2 Proceso en el Horno de Arco Eléctrico.**

Para nuestro proceso se emplea un Horno de Arco Eléctrico EBT de 80 toneladas – tecnología y automatización Danieli. Durante la fusión se presentan varias etapas las cuales se describen a continuación:

**Arranque del Horno Eléctrico:** La carga metálica es alimentada a través de cestas con un mix de carga dependiendo de la calidad química del acero que se desea fabricar. En el arranque del horno primero se agrega de 20 – 25 toneladas de carga metálica fragmentada de con bajo contenido de elementos residuales, este material es fundido por el arco eléctrico generado por los electrodos de grafito del horno eléctrico, este acero líquido es conocido como hot heel, el cual ayuda calentando la carga metálica entrante en su posterior etapa de fusión. Posterior al arranque, se carga el horno en dos etapas, en la primera se carga 40 toneladas en cesta y en la segunda se carga 20 toneladas en cesta, y en cada etapa se agrega un pequeño porcentaje de Carbón y Caliza,

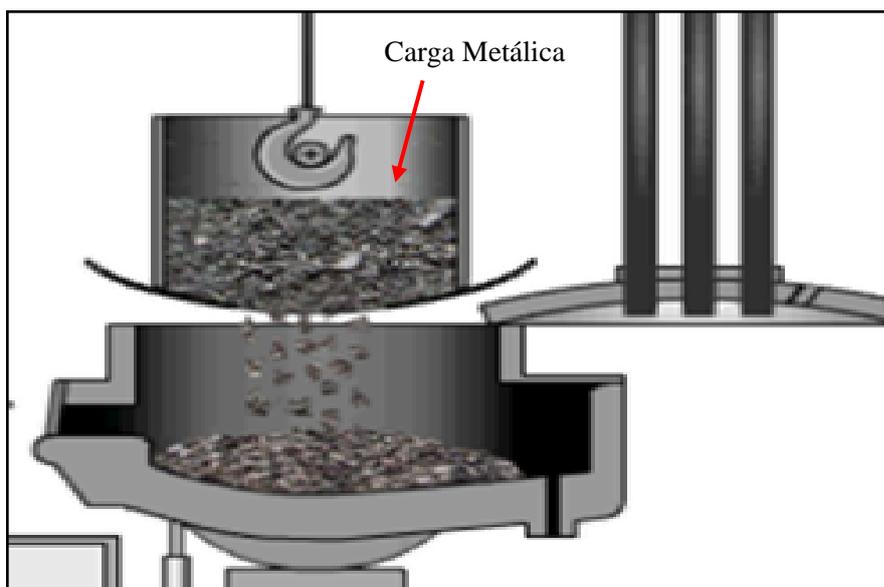


Figura N°1.8 Ingreso de carga metálica al Horno.

**Fusión:** En el horno se genera la fusión de la carga metálica por contacto con los tres electrodos de grafito que posee el horno llegando a lograr temperaturas de 3000°C a 5000°C, suficiente para fundir la carga metálica.



Figura N°1.9 Fusión de carga metálica en el Horno de Arco Eléctrico.

La energía utilizada en la fusión se da por consumo de energía eléctrica generada por el arco eléctrico que se forma al entrar en contacto los 03 electrodos con la

carga metálica, y de reacciones químicas exotérmicas originadas por la combustión de los gases agregados (propano y oxígeno) y por la reacción exotérmica como la antracita o carbono del acero líquido con el oxígeno inyectado.

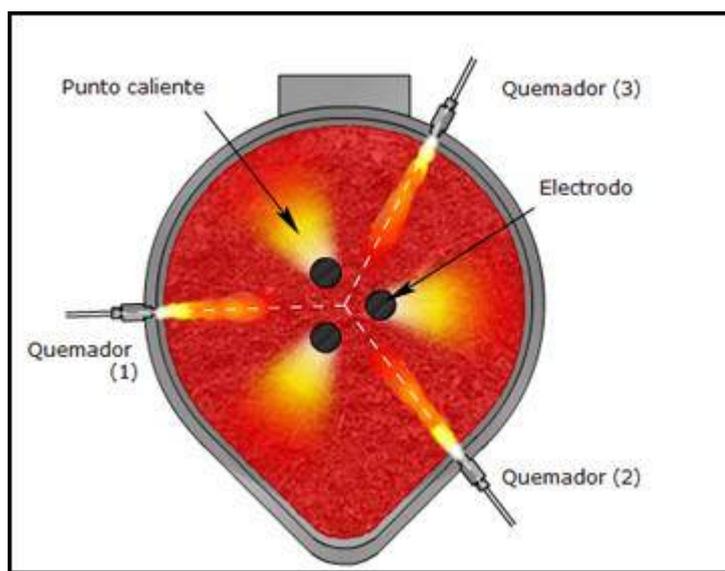


Figura N°1.10 Posicionamiento de los quemadores dentro del horno.

**Oxidación:** Este proceso se realiza cuando ya se obtiene todo el material fundido y se ha alcanzado una temperatura adecuada para las reacciones de acondicionamiento. En esta etapa se inyecta oxígeno en el interior del horno para remover el fósforo (desfosforación) y reducir la composición de elementos del acero líquido como: manganeso, silicio y el carbono (descarburización). El oxígeno es insuflado hacia el interior del baño de acero, reaccionando con los elementos y formando óxidos (principalmente FeO), dirigiéndose del acero líquido hacia la escoria espumosa formada debido al proceso a puerta cerrada Patente INDECOPI N3122. Estas reacciones de oxidación liberan energía química, Formación de escoria espumosa (ver ecuaciones 1.1 y 1.2).

Se inyecta de oxígeno en el acero líquido, donde se oxida fundamentalmente el hierro de acuerdo a la reacción:



Simultáneamente se agrega polvo de carbono (antracita) a la fase escoria donde el óxido de hierro es reducido. El gas CO resultante es un componente crítico para la obtención de una escoria espumante:

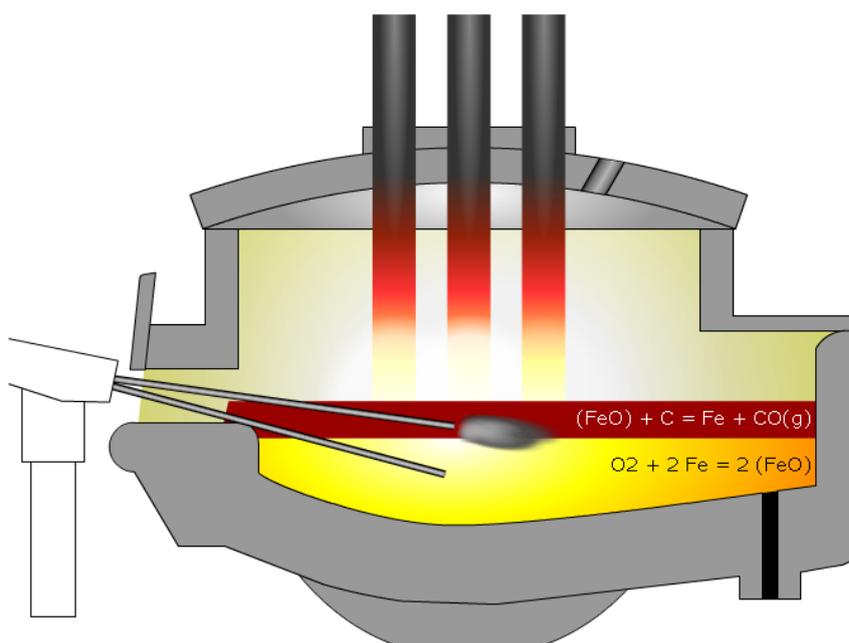


Figura N°1.11 Formación de escoria espumosa.

**Desfosforación:** Este es el principal proceso que se busca en la etapa de afinación en el horno eléctrico, que consta de la oxidación del Fósforo

formando el penta-óxido de fósforo ( $P_2O_5$ ), se favorece su formación a bajas temperaturas (entre 1580 - 1600°C) antes del Sangrado. Pero este Penta-Oxido es inestable en estas condiciones, para lo cual se adiciona Cal (CaO) para que reaccione formando un complejo cálcico ( $P_2O_5 \cdot 3CaO$ ) que es estable y se va a la escoria a estas condiciones (ver ecuaciones 1.3 y 1.4).



**Descarburización:** Este proceso busca reducir la concentración de carbono dependiendo de la calidad, para que posteriormente el acero sea afinado en el horno cuchara con su la composición de carbono requerida. El oxígeno insuflado dentro del acero líquido, reaccionando con el carbono formándose monóxido de carbono en forma de gas elevándose hacia el exterior (ver ecuación 1.5).



(a): Carbón soluble en el acero líquido.

**Proceso Post Combustión:** Durante el soplo de oxígeno se forma CO que proviene de la oxidación parcial del carbono. También se forma  $CO_2$  que proviene del CO con el oxígeno, pero en cantidades menores y este proceso de Post Combustión busca que se libere todo el monóxido de carbono

transformando a CO<sub>2</sub> con la adición de oxígeno por medio de inyectores hacia el interior del horno eléctrico. De esta manera, el CO restante reacciona con el oxígeno generando CO<sub>2</sub> y así se eleva hacia el exterior (ver ecuación 1.6), pero a la vez aporta la energía liberada al medio. Los beneficios que se obtiene son: aumento en la productividad, mayor eficiencia de oxígeno utilizado y reducción de emisión de CO.



**Desescoreo y sangrado:** Una vez que los procesos anteriores hayan terminado se procede a tomar muestras de temperatura y la composición de carbono en el acero, con la finalidad de alcanzar los niveles requeridos para el sangrado, esto varía con la calidad de acero pero por lo general se sangra a una temperatura aproximada de 1600°C con una composición de 0.06 %C.

Cumpliendo con estas condiciones se procede primero a desescorear inclinando ligeramente hacia la puerta lateral posterior del horno por medio del sistema hidráulico. Luego se inclina hacia el lado de la piqueta para el sangrado por el fondo del horno (EBT). Este último proceso debe ser lo más rápido posible y con un flujo de sangrado adecuado para evitar un aumento de caída de temperatura. Al momento del sangrado se adiciona en la parte de la piqueta una cantidad de los elementos aleantes con la finalidad que se vayan fundiendo y mezclando

durante su transporte hacia la cuchara. Una vez sangrado el acero se procede a adicionar el sello EBT para evitar salida del hot heel.

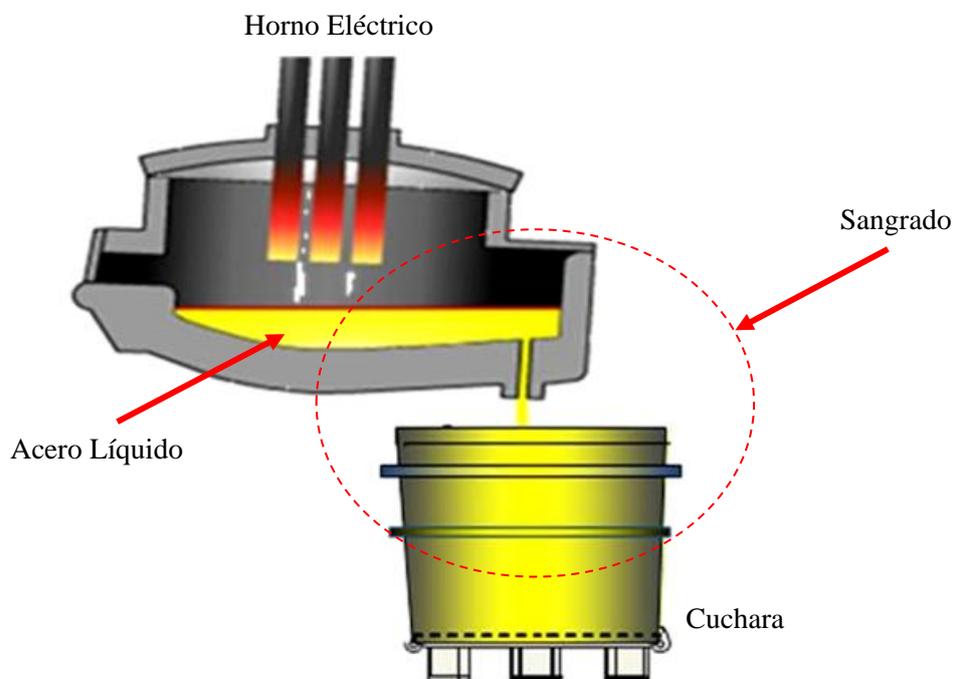


Figura N°1.12 Sangrado del Horno de Arco Eléctrico.

### 1.2.3 Proceso en el Horno Cuchara:

En el horno cuchara se realiza el ajuste en la composición química del acero líquido de manera que cumpla con las especificaciones químicas del grado de acero, quedando listo para el posterior proceso de colada continua, a continuación se detalla los pasos que se siguen durante el afino en el horno cuchara.

**Toma de Muestra:** Se procede a tomar una muestra inicial para saber el contenido Carbono exacto, el de residuales y la temperatura a la que llega.

Teniendo esto en cuenta se planifica la secuencia de afino que se le va realizar al acero líquido.

**Stirring**: Se procede a insuflar un gas inerte que dependiendo de la calidad del acero puede ser argón o nitrógeno, por debajo de la cuchara con la finalidad de homogenizar el acero y generar turbulencia que permita durante todo el proceso en Horno Cuchara un ambiente adecuado para las reacciones.

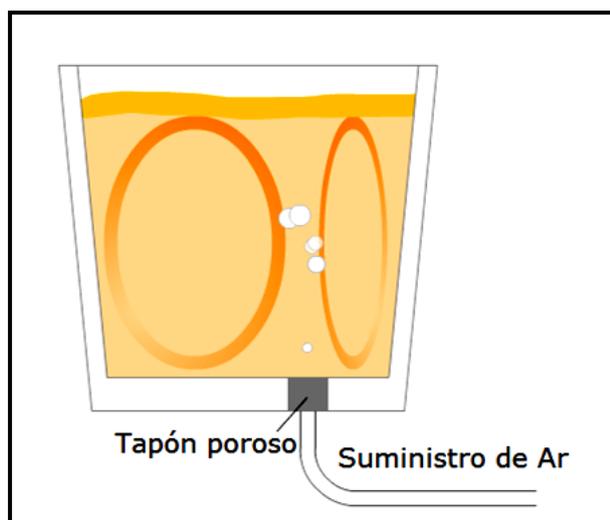


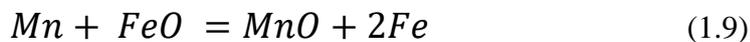
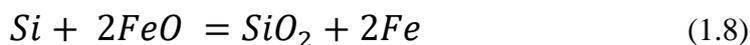
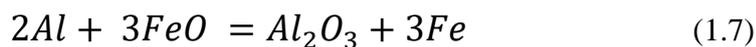
Figura N°1.13 Stirring empleando gas Argón.

**Afinado**: Es la etapa en la cual se realizan procesos con el fin de obtener la composición requerida para la calidad de acero pedido. Estas etapas son:

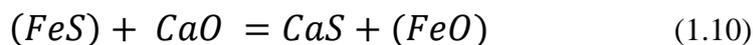
- **Desoxidación**: Esta es la etapa donde se genera el ambiente reductor en el cual se puede desulfurar el acero líquido, para lo cual se adiciona agentes desoxidantes como Ferro aluminio (FeAl), Ferrosilicomanganeso

(FeSiMn), Ferrosilicio (FeSi), etc.; para el acero, Carburo de Calcio ( $\text{CaC}_2$ ) y Antracita granulada (Carbón mineral con un contenido de 85% C) para la escoria; los cuales reaccionan con el oxígeno disuelto en el acero líquido, extrayendo dicho oxígeno en forma de óxidos (ver diagrama de Ellingham – anexo 3)

El poder desoxidante del Aluminio es mayor que el del Silicio, y a su vez el Silicio es más desoxidante que el Manganeseo.



- **Desulfuración:** Esta es una de las etapas fundamentales pues es el único momento donde se puede llegar a disminuir el contenido de azufre en los niveles permisibles, debido al ambiente reductor y a la alta temperatura que favorezcan su eliminación. Para ello se adiciona Cal ( $\text{CaO}$ ) y carburo de calcio ( $\text{CaC}_2$ ) con la finalidad de formar un Sulfuro de Calcio ( $\text{CaS}$ ) el cual es estable en estas condiciones.



En esta etapa se toman muestras de la composición química del acero líquido (de 3 a 4 muestras como máximo) con el fin de poder regular la cantidad de

Ferroaleaciones que se le va a adicionar (Ferrosilicomanganeso (FeSiMn), Ferrosilicio (FeSi), Ferrovanadio (FeV), Ferro niobio (Feb.) y Antracita (85% C), etc.

Luego se agrega escorificantes los cuales se encargan de regular las condiciones del baño con el fin de que se pueda alcanzar la composición química deseada en el acero líquido y poder alcanzar la separación del acero con la escoria. Estos aditivos son:

- **Ferro calcio (FeCa)**, desoxida y una vez formado el CaO, logrando arrastrar en su superficie a los otros óxidos formados, limpiando el acero de posibles inclusiones no metálicas posteriores.
- **Escoria sintética (CaO 49 - 54%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 40-45% y SiO<sub>2</sub> + TiO<sub>2</sub> + MgO + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = menor al 7%)**, que se emplea como fundente y fluidificante para la escoria.
- **Espato (Fluorita CaF<sub>2</sub>)**, se emplea dar fluidez a la escoria.
- **Carburo de calcio (CaC<sub>2</sub>)**, para reducir el FeO a Fe en la escoria.
- **Cal (CaO)**, actúa como fundente de la escoria.

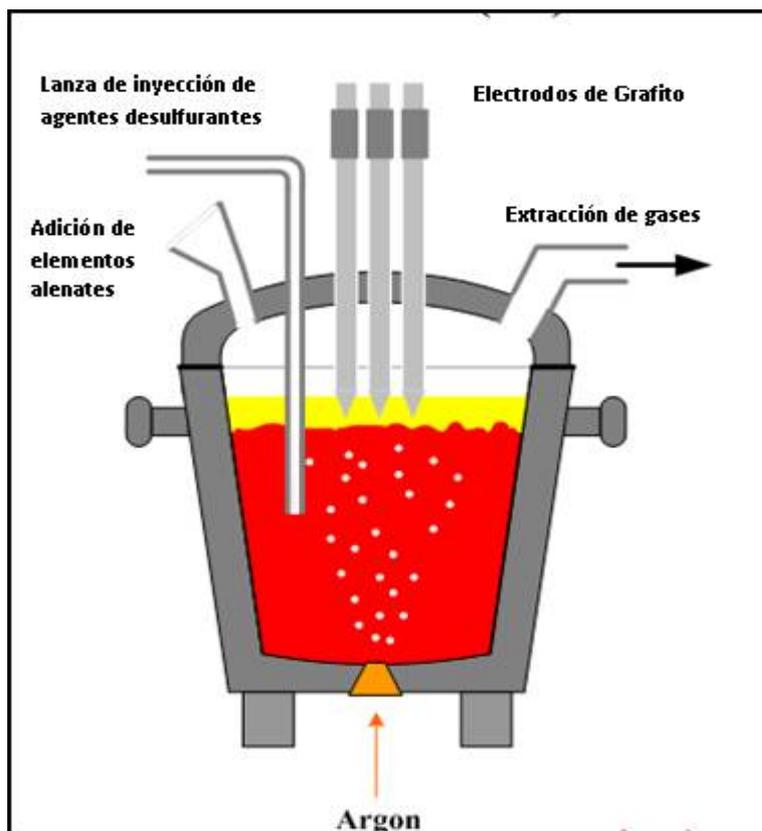


Figura N°1.14 Esquema del Horno Cuchara.



Figura N°1.15 Foto de Horno de Cuchara.

#### 1.2.4 Proceso en Colada Continua:

En la colada continua se consigue la solidificación del acero en moldes de sección cuadrada de 100x100mm y 130x130mm, la colada continua tiene 4 líneas y un radio de 5m, a medida que el acero se solidifica en las paredes del moldes, avanza a la zona de enfriamiento secundario hasta que solidifique por completo, se endereza y luego es cortada a longitudes estándar para su proceso de laminación.

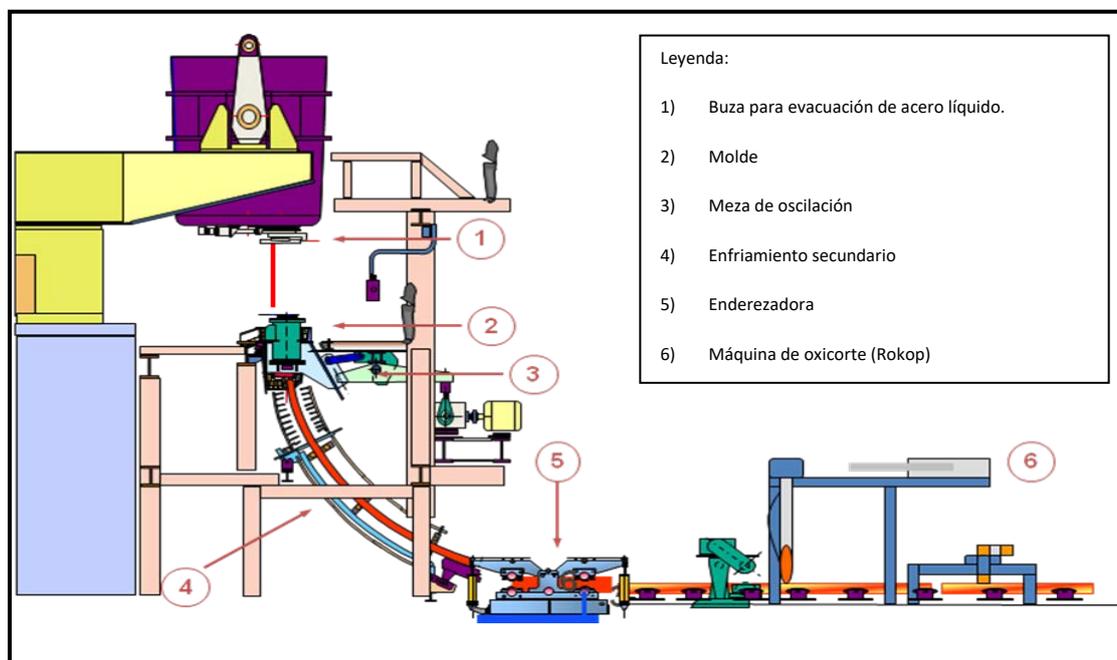


Figura N°1.16 Esquema de la Colada Continua.

El proceso se inicia cuando se coloca la cuchara en la torreta giratoria, esta cuchara fue enviada del Horno Cuchara, donde ya está ajustada la composición química; luego la torreta gira 180° y queda en posición sobre el Tundish (el cual ha sido secado y precalentado siguiendo una curva específica de acuerdo al tipo de Tundish requerido).

Luego se procede a abrir la válvula (sistema interstop), situada en la parte inferior de la cuchara, cayendo el acero líquido en el Tundish. Se suele utilizar en calidades especiales un tubo cerámico que protege al chorro de acero líquido de la reoxidación.

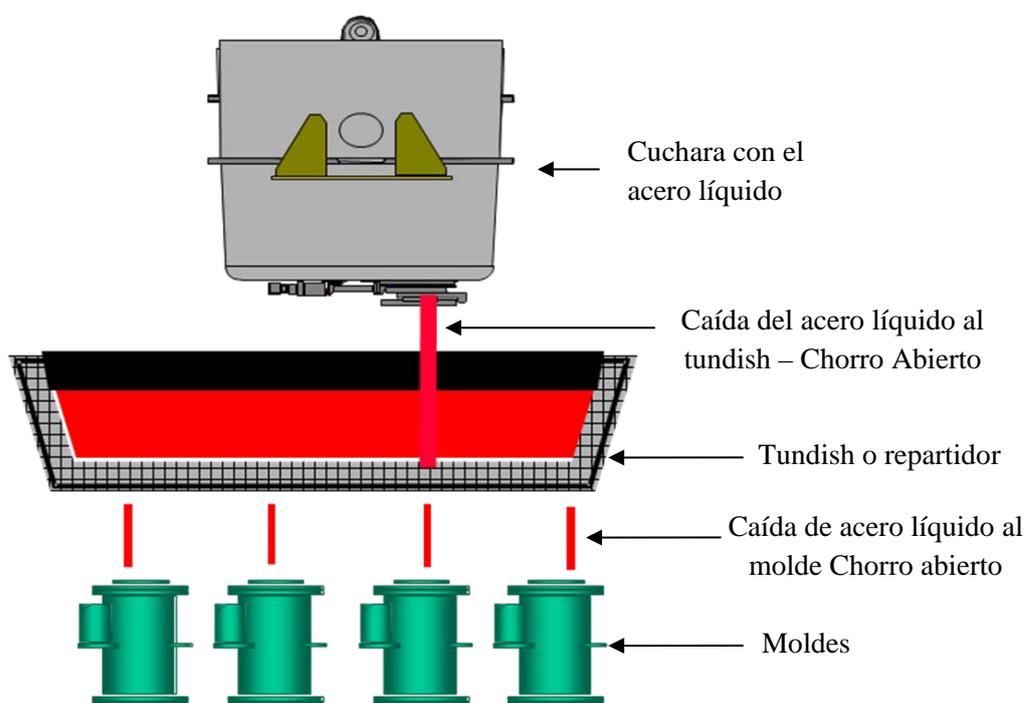


Figura N°1.17 Transferencia de acero líquido entre Cuchara – Tundish – Molde.

La función principal del Tundish es distribuir el acero líquido entre las 4 líneas, promover la flotación de inclusiones, abastecer al molde un flujo constante de acero líquido y servir de depósito durante los cambios de cuchara, ya que un nivel reducido de acero en el Tundish aumenta el riesgo de arrastre de escorias. El Tundish debe lograr una perfecta distribución del acero a las diferentes líneas asegurando pequeñas y uniformes caídas de temperatura.



Figura N°1.18 Transferencia del acero líquido entre la cuchara – repartidor.



Figura N°1.19 Transferencia del acero líquido entre el repartidor – molde.

Cuando el nivel de acero en la porta lingotera alcanza el nivel apropiado (el nivel se mide con un sensor radioactivo), se da marcha a la extracción por medio de una falsa barra.

Si el colado es a chorro abierto los cambios de velocidad se logran con buzas intercambiables y se lubrica el molde con aceite. Si el colado es con buzas sumergidas la velocidad se controla por medio de un asta tapón y la lubricación entre el acero y el molde se logra agregando polvo colador.

El acero inicia así la solidificación con el objetivo de formar una piel gruesa mediante el enfriamiento primario en el molde de cobre (a través de extracción de calor). La lingotera es el corazón de la colada continua y es aquí donde se originan el 90% de los defectos presentes en las palanquilla (grietas internas, marcas de oscilación, Romboicidad, Depresiones, incrustación de escoria, sangrado, doble piel). La lingotera en todo momento está sujeta a un movimiento oscilatorio y cíclico, la amplitud de este movimiento (stroke) puede variar de 1mm a 32 mm.

El espesor de piel sigue aumentando conforme la barra es extraída, mediante la refrigeración secundaria en cuatro sectores; para luego pasar por la jaula enderezadora (presión promedio de 6 bares), a la longitud que recorre la barra desde el inicio en el molde hasta el momento en el que no presenta acero líquido internamente, se le llama longitud metalúrgica.

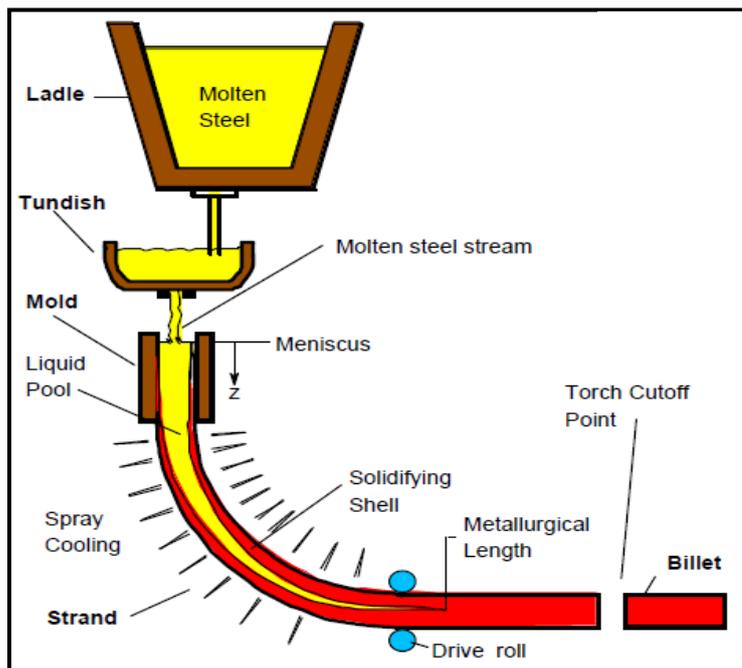


Figura N°1.20 Esquema de la solidificación del acero en la colada continua.

La barra solidificada es conducida por un tren intermedio de rodillos para ser cortada a la longitud deseada con la Rokop, la longitud de corte se programa en el HMI (en base a la programación diaria del peso de palanquilla) un sistema Encoder censa la longitud de barra que va pasando por medio de un numero de vueltas y cuando esta es igual a la programada manda la señal para el corte; luego estas palanquillas son evacuadas a la mesa de enfriamiento.

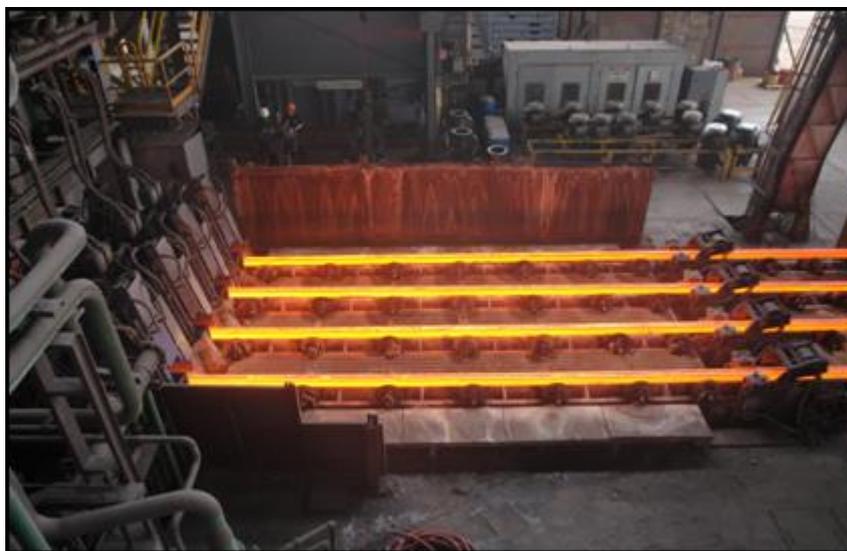


Figura N°1.21 Palanquillas solidificadas a la salida de la enderezadora.



Figura N°1.22 Corte de palanquillas con equipo Rokop.



Figura N°1.23 Mesa de evacuación de palanquillas.

### 1.3 Proceso de Fabricación en la Planta de Laminación.

La laminación es un proceso de conformado por deformación volumétrica en caliente, para la producción masiva de acero en barras o alambρόn, obtenida por la reducci3n de secci3n del material inicial debido a esfuerzos de compresi3n y tracci3n generados por rodillos de laminaci3n los cuales le dan la forma y dimensiones deseadas en cada pase hasta obtener el producto deseado.



Figura N°1.24 Deformaci3n en caliente por acci3n de cilindros de laminaci3n.

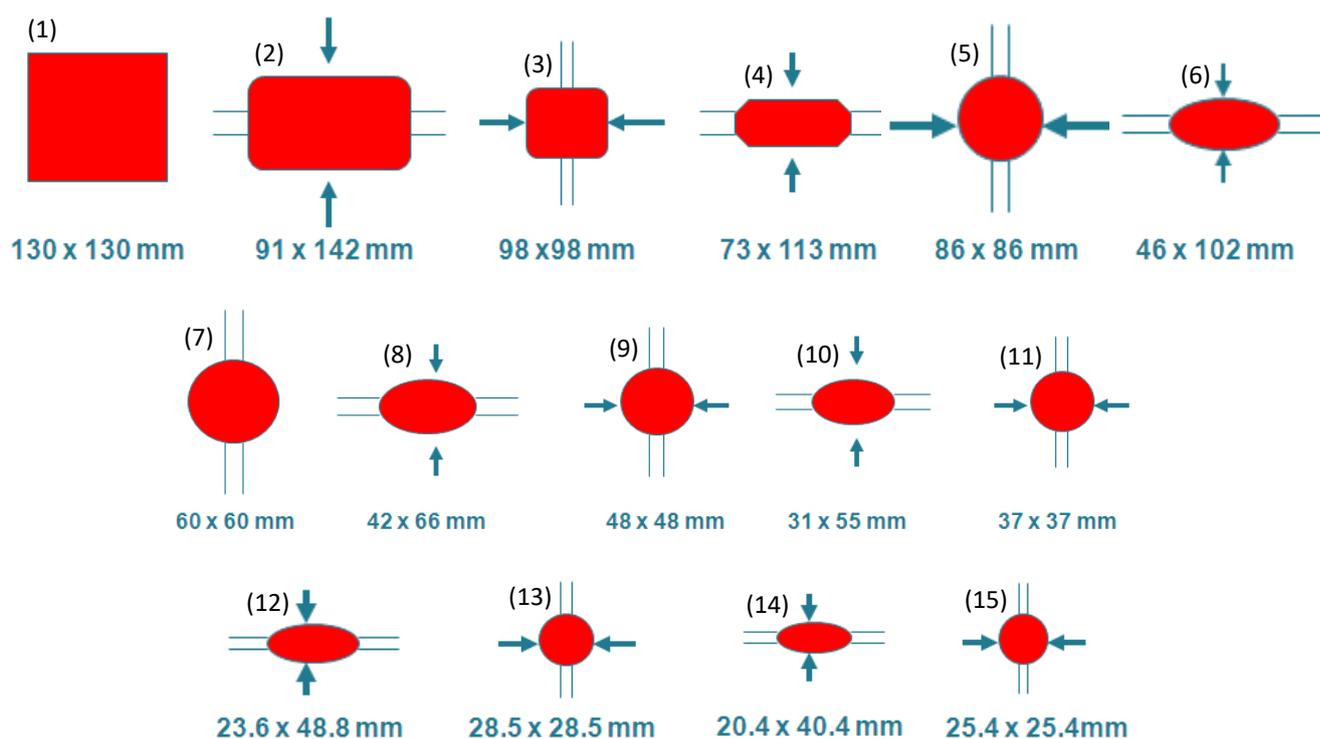


Figura N°1.25 Pases de laminaci3n para la fabricaci3n de barras redondas,

En el conformado por laminado en caliente se la elimina de la estructura dendrítica de solidificación de la palanquilla, por deformación y recristalización en cada pasada. Con la secuencia de pases y regulación de los parámetros de laminación se logra obtener la forma y dimensiones del producto final. Para nuestro caso las etapas en el proceso de laminación de barras se realiza en un tren de laminación continua, empleando con un horno de recalentamiento de 80tn/hora para elevar la temperatura de las palanquillas hasta los 1150°C, el uso de 18 cajas de laminación, el área de corte a medida y empaquetado, el diagrama de la planta de laminación se muestra en el anexo 1.

### 1.3.1 **Horno de Recalentamiento de Laminación.**

Las palanquillas para este caso de 130x130mm de sección y de 14m de longitud, ingresan a un horno de recalentamiento de 80tn de tecnología y automatización Danieli, en el cual se eleva su temperatura en un ciclo de calentamiento (precalentamiento, calentamiento e igualación) hasta llegar a la temperatura de 1100°C a 1200°C (tiempo de permanencia en el horno aproximadamente, 2 horas), a esta temperatura la palanquilla está apta para ser deformada en caliente.



Figura N°1.26 Horno de Recalentamiento Danielli de 80tn.

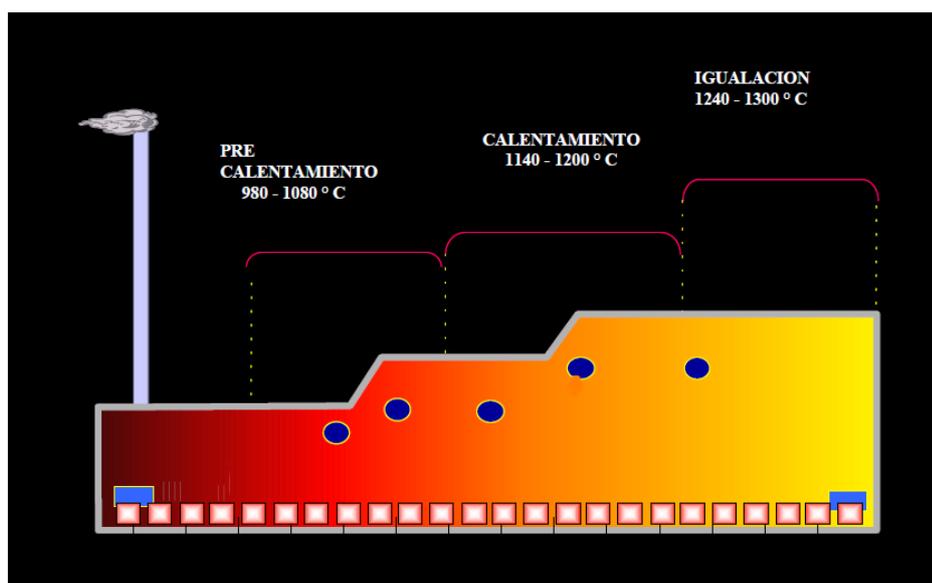


Figura N°1.27 Vista lateral del Horno de Recalentamiento.

### 1.3.2 Descascarillado.

Cuando la palanquilla es evacuada del horno para el inicio del proceso de laminación, presenta una cascarilla (capa de óxido) en la superficie de la pieza originada por la temperatura dentro del horno y la atmósfera oxidante, esta cascarilla es eliminada empleando agua a presión y los remanentes son

eliminados de forma mecánica por la deformación que sufre la palanquilla en las primeras pasadas.

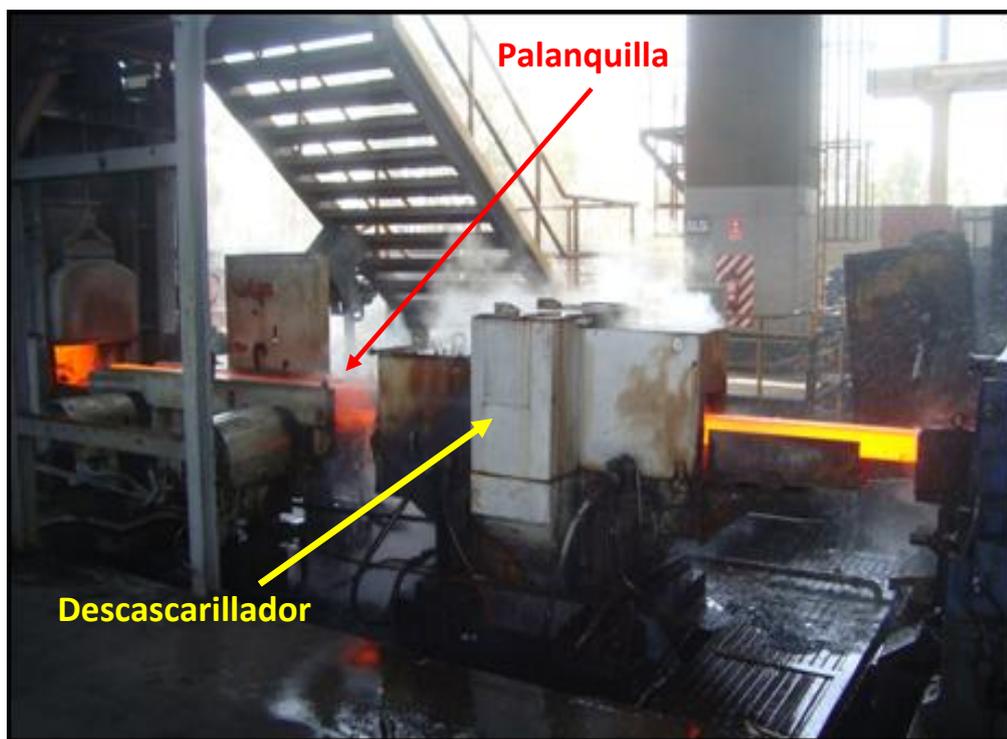


Figura N°1.28 Palanquilla pasando por el descascarillador.

### 1.3.3 Tren de Desbaste.

Luego está conformado por una secuencia de 8 cajas laminadoras, cada caja posee 2 cilindros laminadores con canales mecanizados de acuerdo al tipo de producto que se va a laminar, en estas pasadas se aplica la mayor reducción de área posible de 20 a 30% por caja, los cilindros se intercalan entre posición horizontal y vertical.

#### 1.3.4 **Tren Continuo.**

Está conformado por 10 cajas laminadoras, las cuales presentan orientación horizontal y vertical, las últimas pasadas son las responsables de dar la forma y dimensiones finales requeridas para el producto.



Figura N°1.29 Tren continuo de laminación.

#### 1.3.5 **Corte en Caliente.**

Una vez que la palanquilla pase por el canal acabador es conducida por rodillos motorizados hasta la cizalla de corte en caliente (900°C a 1050°C) a una longitud de 45m a 60m dependiendo del tipo de producto, estas barras llegan a la meza de enfriamiento donde son alineadas, emparejadas y enfriadas.



Figura N°1.30 Cizalla volante.

### 1.3.6 Acabados.

Luego del enfriamiento en la mesa, estas barras son conducidas por rodillos a la cizalla de corte en frío (en esta zona las barras llegan con temperaturas de 200°C a 400°C), donde son cortados a su longitud comercial (6m, 7m, 9m y 12m) o según longitud requerida específicamente para un producto. Posteriormente las barras son evacuadas y llevadas a los formadores de paquetes, luego pasan a las atadoras automáticas, luego son llevados a la balanza para su pesaje y posterior etiquetado.



Figura N°1.31 Placa de enfriamiento de 60m.



Figura N°1.32 Cizalla de corte en frío.



Figura N°1.33 Atadora automática.



Figura N°1.34 Paquetes formados y pesados.

#### 1.4 Proceso de calibrado.

Es un proceso de conformado por estirado en frío de barras laminadas en caliente, con el objetivo de obtener barras con mejor calidad superficial, unas tolerancias dimensionales precisas y mejores propiedades mecánicas, las cuales se denominan barras calibradas.



Figura N°1.35 Barras calibradas y piezas fabricadas a partir de barras calibradas.

El proceso de calibrado se divide en las siguientes etapas (en el anexo1 se muestra el esquema de la planta de calibrado):

##### 1.4.1 Preparación de Materia Prima.

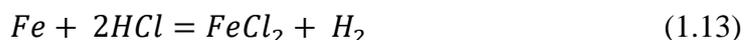
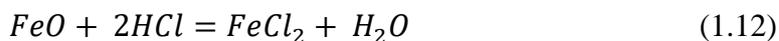
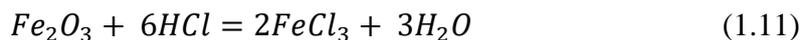
La materia prima es colocada sobre parrillas metálicas, separadas uniformemente por varillas metálicas y divididas en pisos, de forma que en sus posteriores etapas se consiga una remoción uniforme de la cascarilla.

#### 1.4.2 **Lavado.**

La parrilla preparada es sumergida en agua y es lavada con ayuda de una manguera con agua a fin de remover el polvo u otras partículas que se encuentren sobre la superficie de las barras, de ser necesario se pueden emplear removedores de grasa, pintura, etc.

#### 1.4.3 **Decapado Químico.**

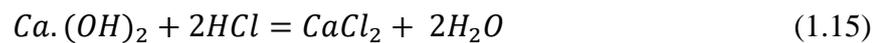
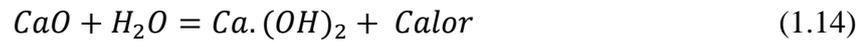
En esta etapa la parrilla lavada es sumergida en una solución diluida al 12% en peso de ácido clorhídrico (diluido en agua) por un espacio de 30 a 45 minutos, con el fin de disolver la capa de óxido de estas barras (principalmente FeO y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), esta solución contiene un inhibidor de corrosión a fin de que una vez disuelta la capa de óxido, el ácido no ataque el acero.



#### 1.4.4 **Neutralizado.**

Una vez cumplido con el decapado, los paquetes deben ser lavados y posteriormente sumergidos en una solución de lechada de cal (mezcla de cal CaO y agua, ver ecuación 1.14), la cual se emplea para neutralizar el ácido remanente

(HCl) de las barras (ver ecuación 1.15) y a la vez aporta una fina capa de cal a las barras la cual actuará como lubricante en el proceso de calibrado.



#### 1.4.5 **Secado.**

Luego del neutralizado, las barras pasan a ser secadas con ayuda de un ventilador centrífugo, aplicando aire en ambos extremos de las barras por un tiempo de 10 a 15 minutos, luego del secado queda una pequeña película de cal en la superficie de las barras la cual sirve como lubricante en su posterior proceso productivo.

#### 1.4.6 **Apuntado:**

Proceso que consiste en reducir la sección de la punta de la barra a calibrar en aprox. 1mm (empleando cuchillas rotatorias), en una longitud de 15 a 25cm, con la finalidad de facilitar el apuntado hidráulico en el banco de calibrado (paso de la barra a través de la hilera). Se realiza a barras de diámetro menor a ½”, cuando no se realiza este apuntado las barras se doblan y no pasan por la hilera.

### 1.4.7 Calibrado.

Operación basada en la ductilidad del acero, que consiste en hacer pasar una barra por una hilera, mediante la aplicación de un esfuerzo de tracción, reduciendo su sección e incrementando su longitud. También se incrementan sus propiedades mecánicas, se mejora la calidad superficial, se logra obtener tolerancias dimensionales exigentes. Se emplea como lubricante la cal residual del proceso de neutralizado y en el calibrado se agrega aceite para refrigerar la hilera y reducir la fricción entre la barra y la hilera.

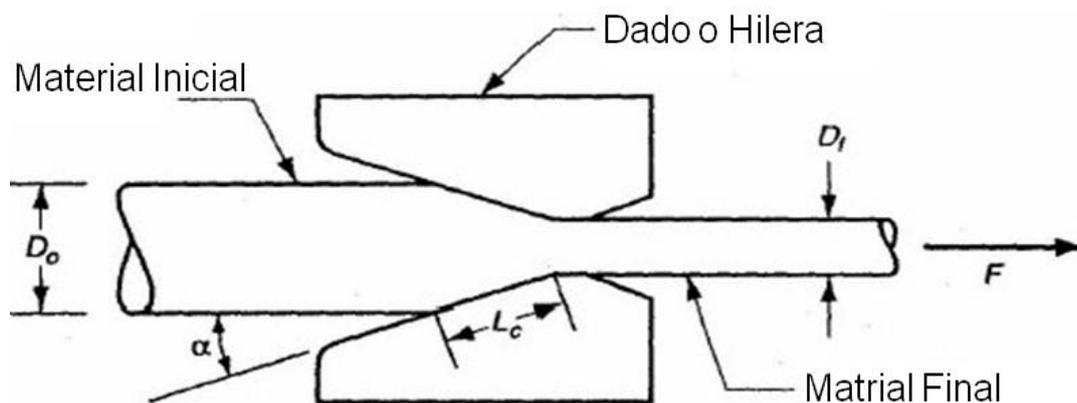


Figura N°1.36 Proceso de conformado en frío por Calibrado. Ref.: *CURSO DE TREFILACIÓN DE ALAMBRES FERROSOS Y NO FERROSOS.*

$D_o$ : Diámetro de barra laminada,

$D_f$ : Diámetro de la barra calibrada

$\alpha$  : Ángulo de ingreso a la hilera,

$L_c$  : Longitud de contacto de la barra con la Hilera

$F$  : Fuerza empleada para hacer pasar la barra a través de la hilera

Material Inicial: Barra laminada

Material Final : Barra Calibrada

Hilera : Herramienta de calibrado

**Hilera:** Es una herramienta la cual consiste en un pasaje altamente pulido y moldeado a través del cual el alambión o barra laminada, para la reducción de su sección. El núcleo de la hilera puede ser Diamante natural o sintético, diamante policristalino, carburo de tungsteno, otros. El material del núcleo depende principalmente del material a calibrar o de los parámetros de operación.

- **Zona de Entrada:** Permite el acceso de lubricante y sirve como guía para el enhebrado.
- **Zona de Reducción:** Tiene como función provocar la deformación del material por efecto de fuerzas transversales.
- **Zona de Alivio:** Zona altamente pulida (pulido espejo), donde se inicial el ángulo de salida, desaparecen las fuerzas transversales sobre el material.
- **Zona de Salida:** Facilita la expulsión del lubricante usado y permite rápidamente la difusión de energía térmica debido el rozamiento.



Figura N°1.37 Fotos de la hilera y Barra calibrada.

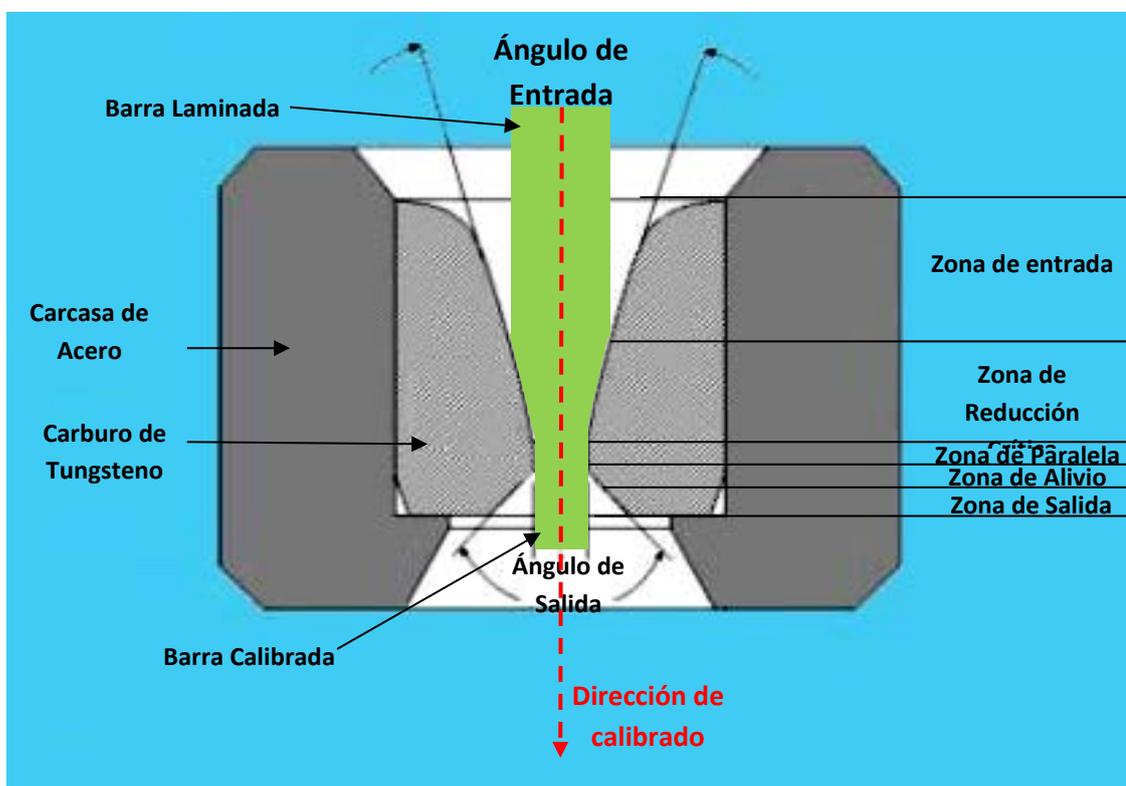


Figura N°1.38 Esquema hilera para calibrado. Ref.: *CURSO DE TREFILACIÓN DE ALAMBRES FERROSOS Y NO FERROSOS.*

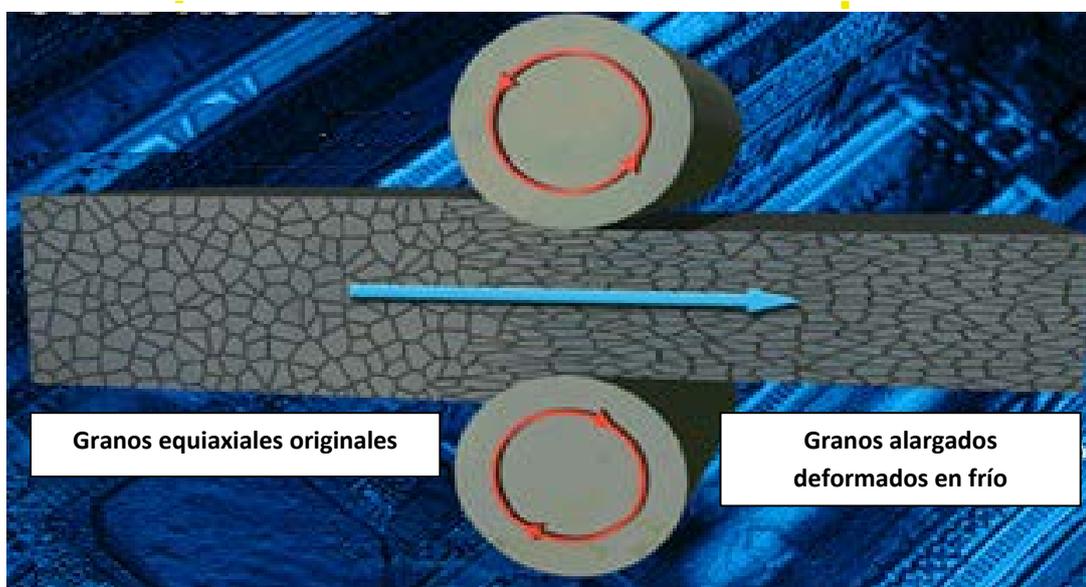


Figura N°1.39 Deformación en frío versus variación de propiedades mecánicas. Ref.: *CURSO DE TREFILACIÓN DE ALAMBRES FERROSOS Y NO FERROSOS*

En la figura N°1.35 se observa como los granos equiaxiales originales presentan una alta ductibilidad, baja resistencia y dureza; en comparación con los granos deformados en frío. Se observa que a medida que se incrementa la deformación en frío, menor será su ductibilidad, y se incrementará su resistencia y dureza, a comparación con los granos originales.

#### 1.4.8 **Pulido y enderezado.**

Proceso en el cual las barras calibradas son pasadas a través de dos rodillos. Operación que consiste en hacer pasar una barra entre dos rodillos pulidores para laminar la superficie, produciéndose el arrastre del metal de las protuberancias hacia las oquedades, mejorando la calidad superficial. También elimina la capa de cal atrapada y las tensiones residuales.



Figura N°1.40 Maquina Pulidora y Enderezadora de Barras Redondas Calibradas.

#### 1.4.9 **Aceitado y empaquetado.**

Una vez terminado el pulido, se procede a agregar un aceite preservante anticorrosivo (FERROCOTE 7514AA – proveedor QUAKER), utilizado para conservar la calidad superficial de las barras calibradas, previniendo su oxidación.

#### 1.4.10 Características de los productos calibrados.

- Superior exactitud dimensional, la tolerancias empleada para aceros de corte libre son ISO h11, para los aceros al carbono son ISO h-11, h-9, ASTM A108).
- Muy buen acabado superficial.
- Rigidez.
- Mayores propiedades que los aceros Laminados en Caliente de la misma composición química.
- Mejor comportamiento durante su maquinado.



Figura N°1.41 Control Dimensional de las barras calibradas SAE 1018, tolerancias en diámetro según Norma ASTM A108 -07/ Norma ISO h11.

- Barras Calibradas son empleadas para fabricar por arranque de viruta piezas y/o repuestos como Ejes, Conexiones, Pines, Autopartes, Bujías, Tuercas, etc.

Actualmente se fabrican productos de las secciones redondas desde ¼” hasta 2.1/2” y hexagonales desde ¾” hasta 1.1/2”. Las calidades de acero que se fabrican, propiedades mecánicas típicas y tolerancias dimensionales se muestran en los anexos 4 y 5.

### 1.5 Aceros de Corte Libre.

Son aceros diseñados especialmente para facilitar su posterior conformado por arranque de viruta (usualmente en tornos automáticos), en los cuales el conformado por mecanizado pueden llegar a costar hasta un 50% del valor total del producto terminado. Las características principales de estos aceros son lograr una alta velocidad de mecanizado, incrementar el tiempo de vida de la herramienta de corte y conseguir una buena superficie terminada.

Tabla N°1. Clasificación de Aceros de Corte libre. Ref.: *DIN HANDBOOK 404 - EN 10277-3:1999.*

Nombre del Acero	Composición Química (% en masa)					
	C	Si (Max.)	Mn	P (Max.)	S	Pb
11SMn30 (9SMn28)	≤ 0.14	0.05	0.90 a 1.30	0.11	0.27 a 0.33	-
11SMnPb30	≤ 0.14	0.05	0.90 a 1.30	0.11	0.27 a 0.33	0.20 a 0.35
11SMn37	≤ 0.14	0.05	1.00 a 1.50	0.11	0.34 a 0.40	-
11SMnPb37	≤ 0.14	0.05	1.00 a 1.50	0.11	0.34 a 0.40	0.20 a 0.35

## 1.6 Maquinabilidad.

Es una propiedad de los materiales que permite comparar la facilidad con la que pueden ser mecanizados por arranque de viruta (Tornos), los materiales con mejor maquinabilidad requieren potencias y fuerzas de corte reducidas, con un desgaste lento de los filos de las herramientas de corte y pueden ser mecanizados obteniendo superficies menos rugosas, obteniendo un mejor acabado superficial, lo cual se transmite en:

- Mayor duración de la cuchilla.
- Buen acabado superficial.
- Viruta corta
- Consumo de energía.
- Alto ritmo de producción



Figura N°1.42 Mecanizado en Torno Universal – Bajo ritmo de producción, (velocidades menores a los 400 rpm).

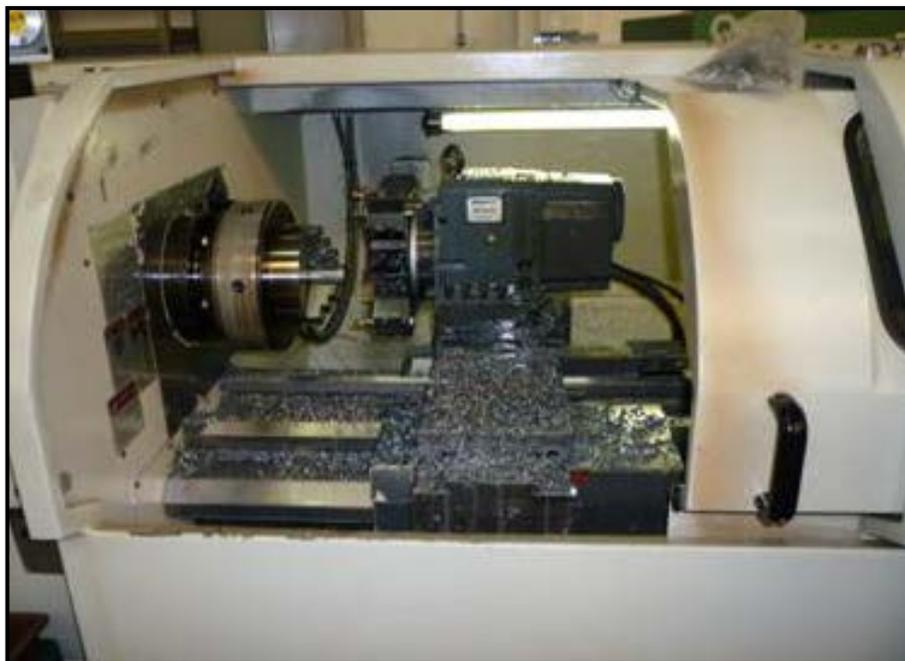
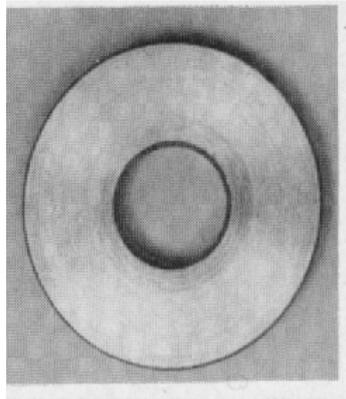


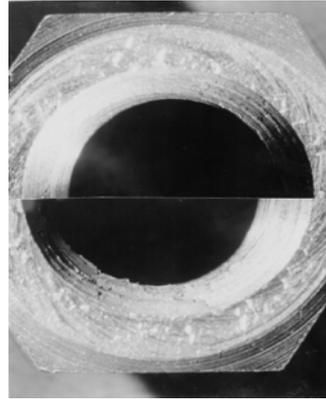
Figura N°1.43 Mecanizado en Torno Automático – Alto ritmo de producción (velocidades de 400 a 1600 rpm).

Es difícil obtener relaciones que describan cuantitativamente la maquinabilidad de un material, pues las operaciones de mecanizado tienen una naturaleza compleja.

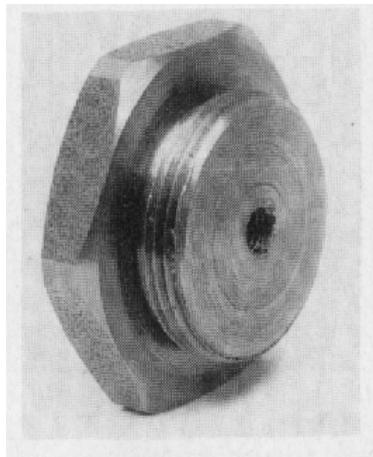
En la norma SAE J1397, se encuentra clasificado los grados de acero donde se especifica los valores típicos para las propiedades mecánicas, de acuerdo a su proceso de conformado, ya sea por laminado en caliente o calibrado. De acuerdo al grado de acero (composición química), en esta tabla se encuentra una columna donde se especifica el índice de maquinabilidad expresado en porcentaje, tomando como referencia al acero de grado **SAE 1212**, el cual equivale a un índice de maquinabilidad de 100%, ver anexo 4.



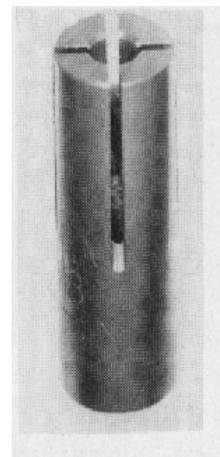
Separador  
(barra calibrada 36 mm)



Tuerca  
(barra calibrada hexagonal 16 mm)



Tapa de suspensión  
(barra calibrada hexagonal 36 mm)



Bulón de anclaje con cabeza castillo  
(barra calibrada 10 mm)



Perno roscado para doble acople (barra calibrada hexagonal de 3/4")

Figura N°1.44 Piezas fabricadas a partir de Aceros de Corte Libre.

### 1.7 Grado de Reducción.

Es un valor que expresa la relación entre la sección de la materia prima y la sección del producto terminado, sus unidades son porcentajes, para el caso del proceso de conformado en frío por Calibrado, el grado de reducción se calcula de la siguiente forma:

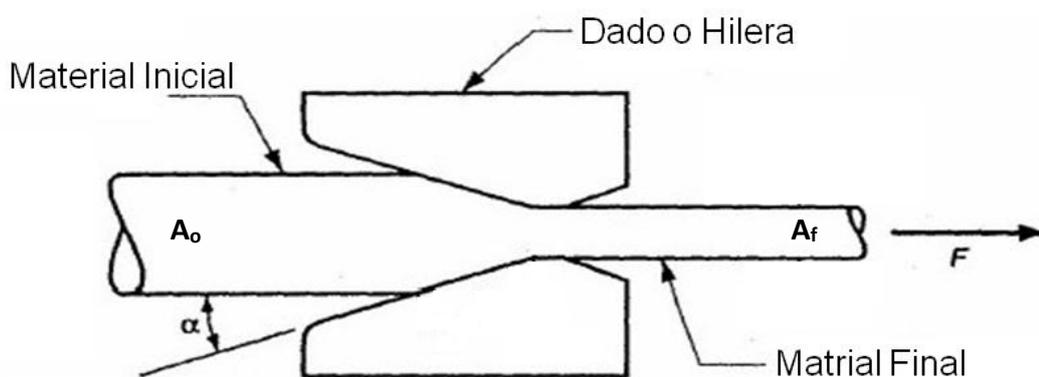


Figura N°1.45 Esquema para el cálculo del grado de reducción. Ref.: *CURSO DE TREFILACIÓN DE ALAMBRES FERROSOS Y NO FERROSOS.*

$$\frac{(A_o - A_f) \times 100\%}{A_o} =$$

(R%)

(1.16)

$A_o$ : Área de la barra laminada.

$A_f$ : área de la barra calibrada

R%: Porcentaje de reducción

Los grados de reducción en frío en una sola pasada están en el rango de 5 a 18% dependiendo de la sección de la barra, el draft usualmente empleado es de 1/16"

=1.58mm para diámetros de barras mayores a Ø 3/4" y para menores a Ø3/4" es 1.00mm.

### 1.8 Campo Magnético.

El campo magnético es una región de espacio en la cual una carga eléctrica puntual de valor  $q_o$ , que se desplaza a una velocidad  $v$ , sufre los efectos de una fuerza que es perpendicular y proporcional tanto a la velocidad  $v$  como al campo  $B$ . Así, dicha carga percibirá una fuerza descrita con la siguiente igualdad.

$$F_m = q_o \times v \times B \quad (1.17)$$

Donde  $F_m$  es la fuerza magnética generada sobre la carga  $q_o$ ,  $v$  es la velocidad y  $B$  el campo magnético, también llamado inducción magnética y densidad de flujo magnético. (Nótese que tanto  $F_m$  como  $v$  y  $B$  son magnitudes vectoriales y el *producto vectorial* tiene como resultante un vector perpendicular tanto a  $v$  como a  $B$ ). El módulo de la fuerza resultante será

$$|F_m| = |q_o| \times |v| \times |B| \times \sin \theta \quad (1.18)$$

La existencia de un campo magnético se pone de relieve gracias a la propiedad localizada en el espacio de orientar un magnetómetro (laminilla de acero imantado que puede girar libremente). La aguja de una brújula, que evidencia la existencia del campo magnético terrestre, puede ser considerada un magnetómetro.

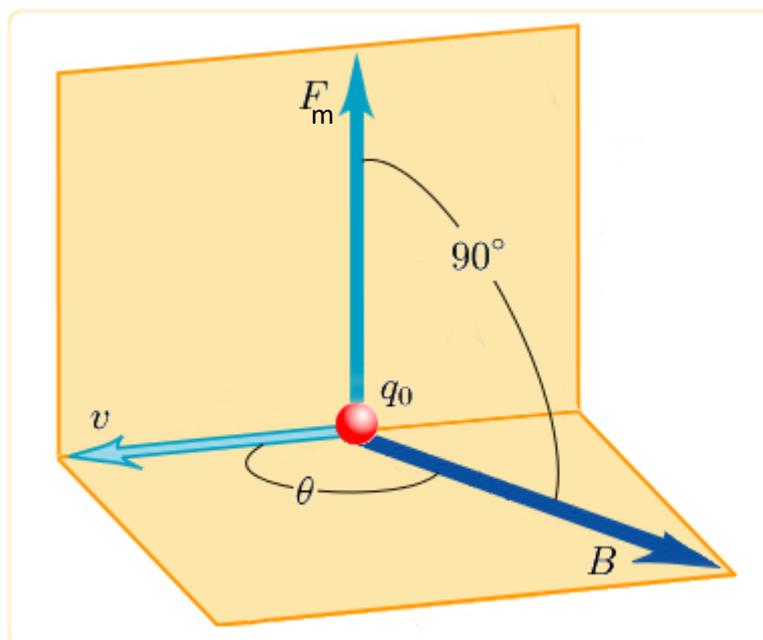


Figura N°1.46 Efectos del campo magnético sobre una carga  $q_0$  en el espacio.

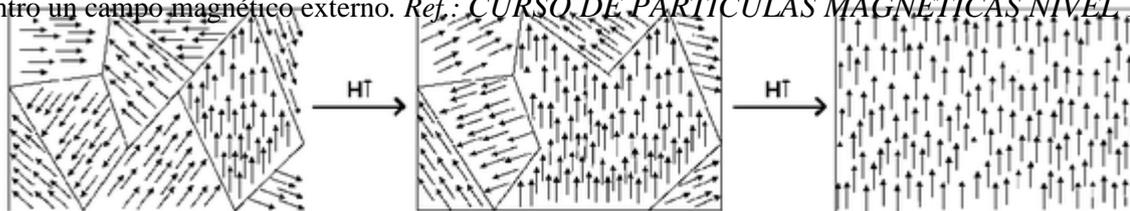
### 1.9 Ferromagnetismo.

El ferromagnetismo es un fenómeno físico en el que se produce ordenamiento magnético de todos los momentos magnéticos de una muestra, en la misma dirección y sentido. Un material ferromagnético es aquel que puede presentar ferromagnetismo. La interacción ferromagnética es la interacción magnética que hace que los momentos magnéticos tiendan a disponerse en la misma dirección y sentido. Ha de extenderse por todo un sólido para alcanzar el ferromagnetismo.

Generalmente, los ferromagnetos están divididos en dominios magnéticos, separados por superficies conocidas como paredes de Bloch. En cada uno de estos dominios, todos los momentos magnéticos están alineados. En las fronteras entre dominios hay cierta energía potencial, pero la formación de dominios está compensada por la ganancia en entropía.

Al someter un material ferromagnético a un campo magnético intenso, los dominios tienden a alinearse con éste, de forma que aquellos dominios en los que los dipolos están orientados con el mismo sentido y dirección que el campo magnético inductor aumentan su tamaño. Este aumento de tamaño se explica por las características de las paredes de Bloch, que avanzan en dirección a los dominios cuya dirección de los dipolos no coincide; dando lugar a un monodominio. Al eliminar el campo, el dominio permanece durante cierto tiempo.

Figura N°1.47 Alineación de los dominios magnéticos. Cuando el material ferromagnético se encuentra dentro un campo magnético externo. Ref.: *CURSO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS NIVEL 1 Y 2.*



|

En la naturaleza los únicos elementos químicos que presentan características ferromagnéticas son:

Tabla N°2 Elementos químicos ferromagnéticos. Ref.: *CURSO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS NIVEL 1 Y 2.*

Fe	Co	Ni	Dy	Gd
Hierro	Cobalto	Níquel	Disproso	Gadolinio
Z = 26	Z = 27	Z = 28	Z = 66	Z = 64
T°Curie = 770°C	T°Curie = 1115°C	T°Curie = 354°C	T°Curie = -188°C	T°Curie = 15°C

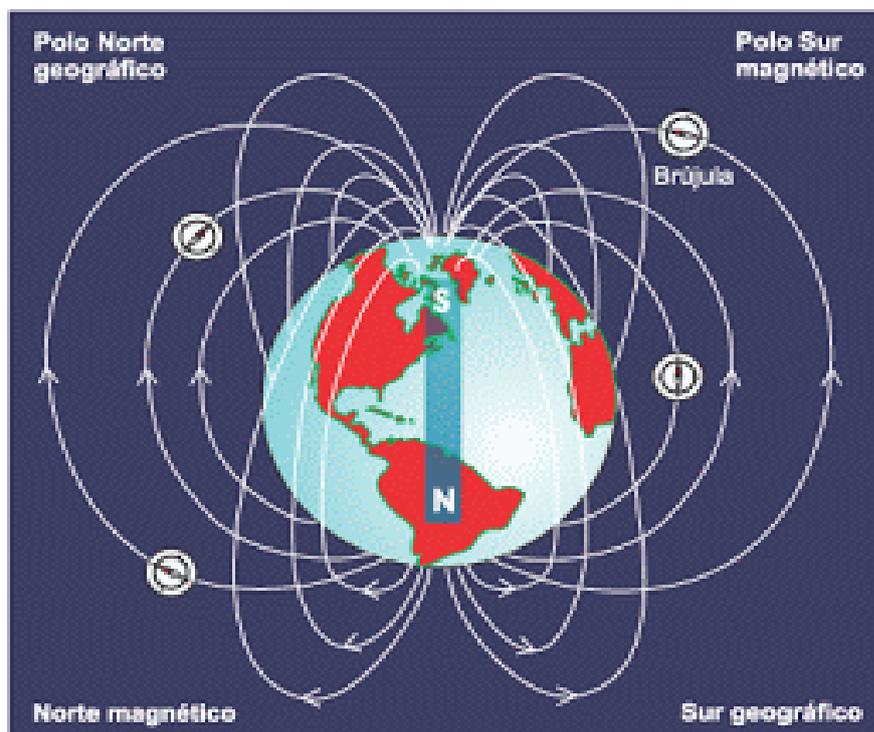


Figura N°1.48 Campo magnético de la Tierra. Dentro de la tierra las líneas de campo viajan de sur a norte (magnético) y fuera de la tierra de norte a sur (magnético), al igual que los imanes. Ref.: *CURSO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS NIVEL 1 Y 2.*

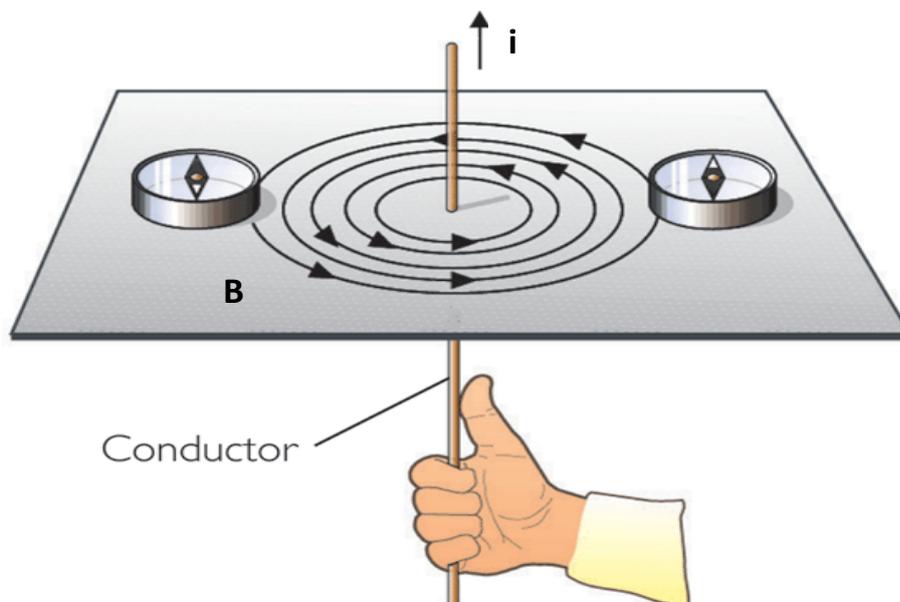


Figura N°1.49 Campo generado por paso de corriente a través de un conductor. El campo magnético es proporcional al amperaje que pasa por el conductor, la dirección del campo magnético se obtiene por la regla de la mano derecha. Ref.: *CURSO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS NIVEL 1 Y 2.*

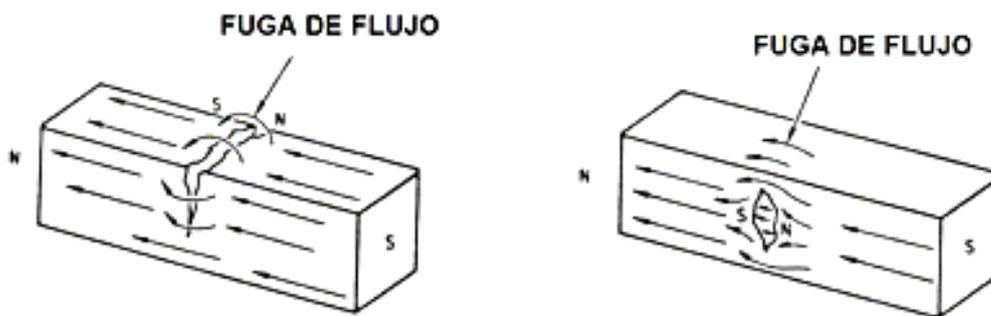


Figura N°1.50 Se observa la generación de campos de fuga. Debido a la presencia de discontinuidades superficiales y sub superficiales, las cuales forman un ángulo de 45 a 90° con la dirección del campo magnético. Ref.: *CURSO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS NIVEL 1 Y 2.*

## CAPITULO II

### FABRICACIÓN DE ACERO CALIDAD DIN9SMn28

#### 2.1 Composición Química.

El acero DIN 9SMn28 cumple con la composición química especificada en la norma EN 10277-3:1999 – Tabla 1, (su equivalente actual es DIN 11SMn30 ver anexo 4).|

Tabla N°3 Composición Química del Acero DIN 9SMn28. Ref.: *DIN HANDBOOK 404*  
- EN 10277-3:1999.

NORMA	%C	% Mn	% Si	%P	%S
DIN 11SMn30 (9SMn28)	0.14 máx.	0.90 – 1.30	0.05 máx.	0.11 máx.	0.27 - 0.33

Los efectos que tienen los elementos químicos en este acero, permiten mejorar la maquinabilidad, siendo los siguientes:

### 2.1.1 El azufre y Manganeso.

Su función es formar inclusiones de sulfuro de manganeso (MnS), que al deformarse en los proceso actúan como elevadores de esfuerzos en la zona de corte primario facilitando el mecanizado por arranque de viruta. El tamaño, forma y distribución de estas inclusiones influyen considerablemente sobre la maquinabilidad de este acero.

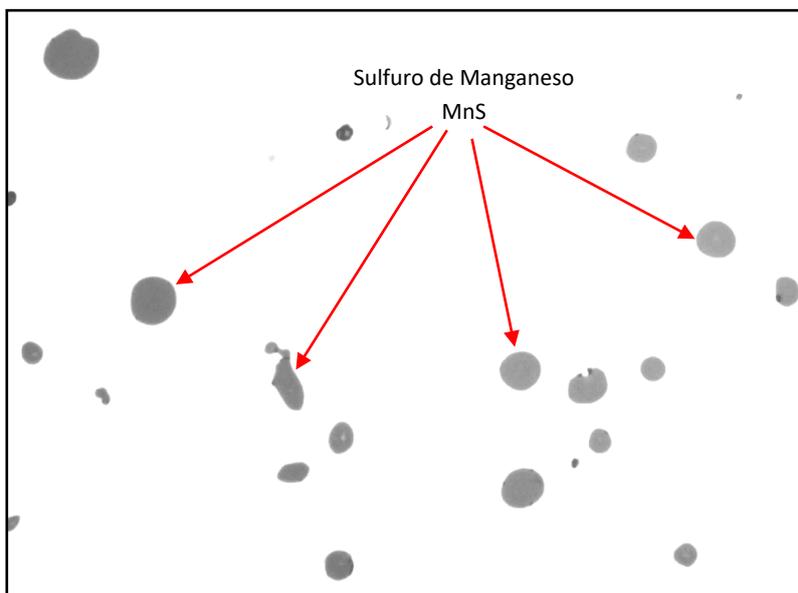


Figura N°2.1 Inclusiones de Sulfuro de Manganeso en Palanquilla, a 500x.

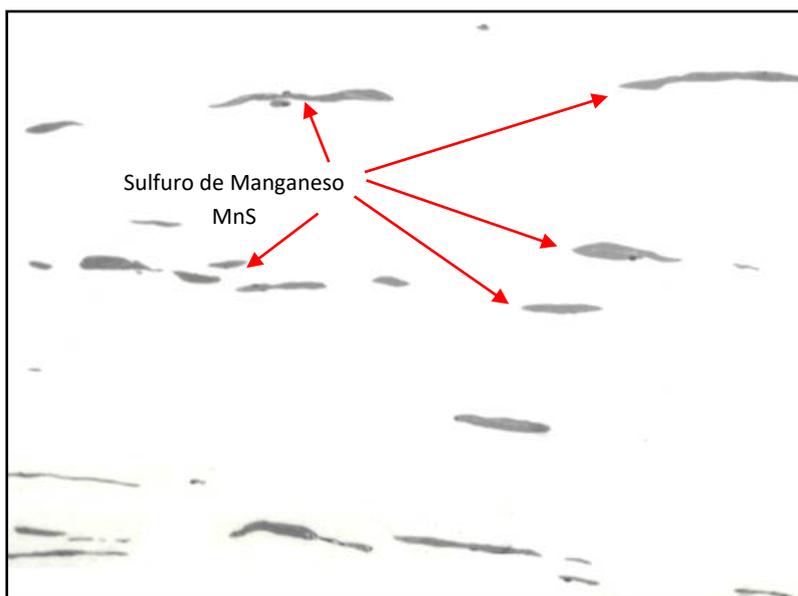


Figura N°2.2 Inclusiones de sulfuro de manganeso en barra laminada, a 500x

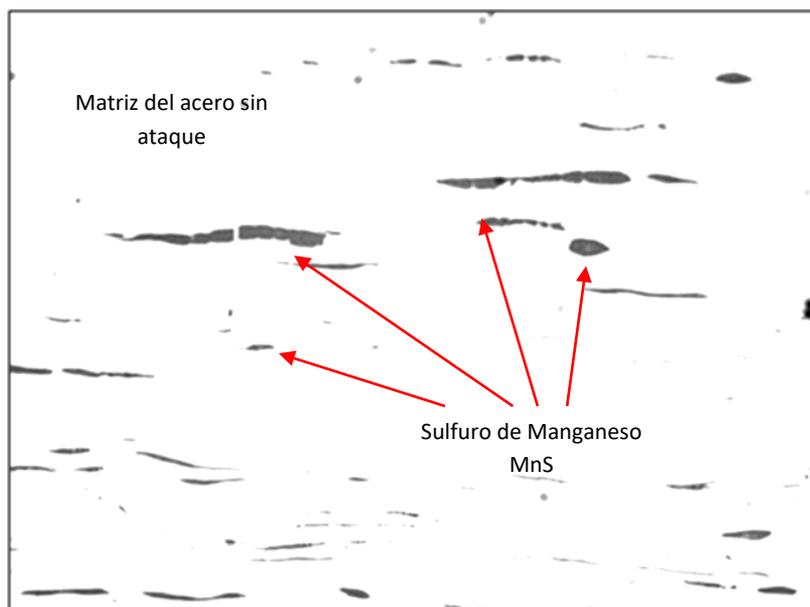


Figura N°2.3 Inclusiones de sulfuro de manganeso en barra Calibrada, a 500x

### 2.1.2 El Fósforo.

Se encuentra en solución sólida intersticial en la Ferrita (hasta un 1% de Fosforo), Tiene dos efectos principales, Fortalece a la ferrita, elevando su dureza. Los aceros más duros dan como resultado mejor formación de viruta y mejor acabado superficial. El segundo efecto es que a mayor dureza, la formación de virutas serán más cortas, en lugar de hilos continuos. También aumenta la resistencia a la tracción de este acero.

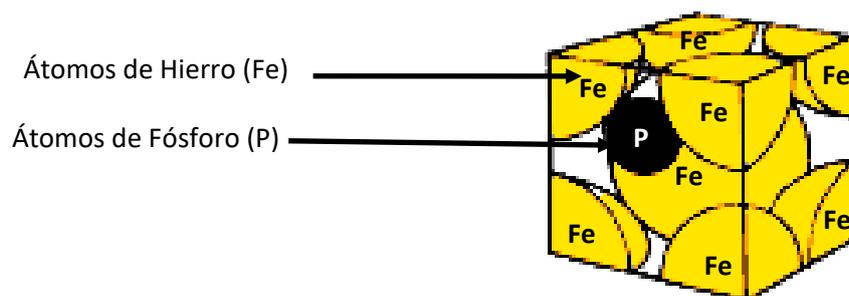


Figura N°2.4 Solución sólida intersticial del fosforo la red cristalina de la Ferrita.

### 2.1.3 **El Silicio.**

Es un elemento que aparece en todos los aceros, se añade intencionalmente durante el proceso de fabricación en el Horno eléctrico y/o horno cuchara en forma de Calcio-Silicio (CaSi), Ferrosilicio (FeSi), FerrosilicioManganeso (FeSiMn). El silicio es un desoxidante más energético que el manganeso (ver anexo 3.) y se emplea como elemento desoxidante complementario del manganeso con objeto de evitar que aparezcan en el acero poros y otros defectos internos, usualmente se tiene un contenido de 0.15 a 0.25%. En los aceros que van a sufrir un proceso de conformado en frío se recomienda usar la menor cantidad de Silicio (0.05% máx), para mejorar la limpieza inclusionaria, minimizando la generación de macroinclusiones duras (SiO<sub>2</sub>).

### 2.1.4 **El carbono.**

Se emplea bajo contenido de carbono, de 0.60 a 0.10% para favorecer la formación de ferrita la cual es endurecida debido al contenido de fósforo para este acero.

En las Figuras N°2.5, 2.6, 2.7 y 2.8, se muestra la evaluación de las inclusiones y microestructura de una barra laminada Ø 1.5/16" calidad DIN9SMn28. Las mediciones del tamaño de grano e inclusiones fueron realizadas empleando el software MANUAL MEASUREMENT, QGRAIN y QPARTICLE del microscopio metalográfico LEICA, según normas ASTM E138 y ASTM E45. Los resultados fueron comprobados empleando la rejilla LEICA 548900 aplicando el método comparativo de la norma ASTM E 112.

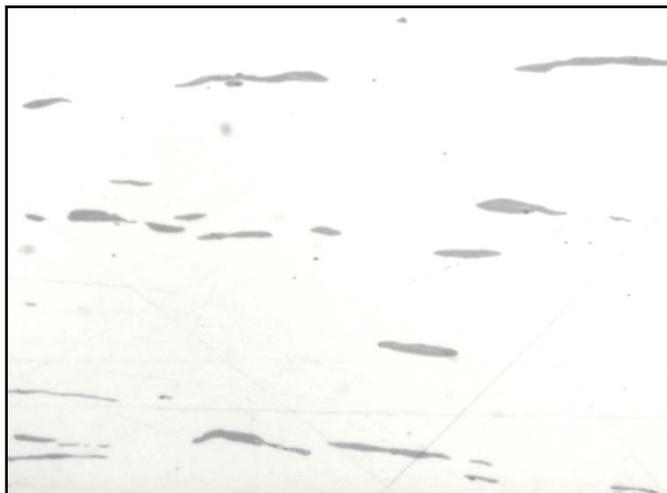


Figura N° 2.5 Inclusiones de Sulfuro de Manganeso. Deformadas por el proceso de laminación, relación de aspecto longitud/espesor = 3.7 promedio, Corte longitudinal a 500X – sin ataque.

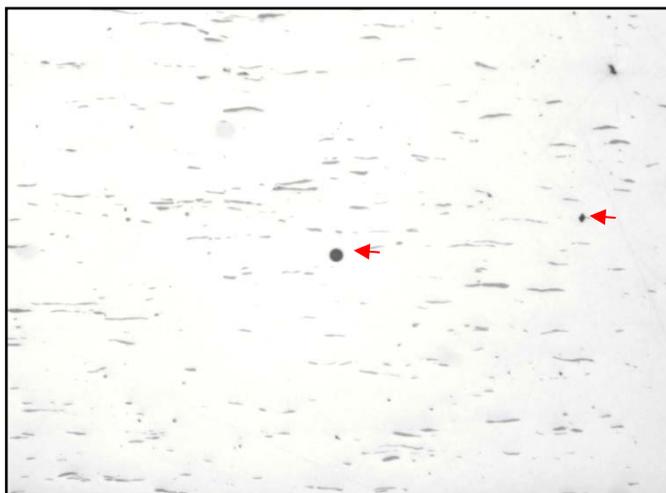


Figura N° 2.6 Inclusiones de Sulfuro de Manganeso alargadas y de óxidos, los óxidos están señalados con una flecha roja – Nivel Inclusionario D-1-F (según ASTM E45), corte longitudinal a 100X – sin ataque.

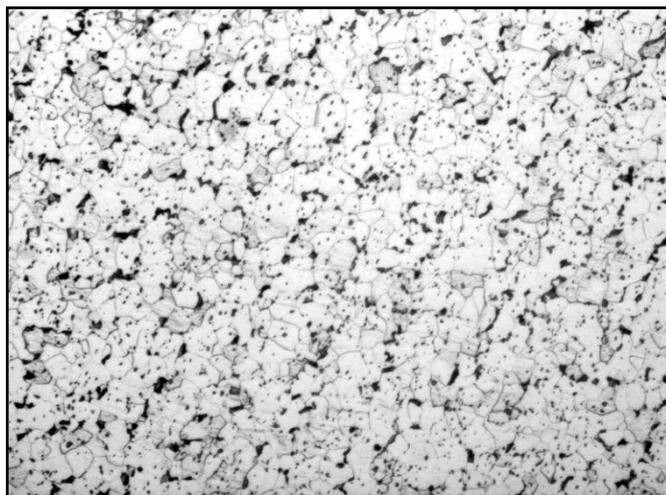


Figura N° 2.7 Microestructura: Matriz Ferrítica con presencia de perlita. Tamaño de grano 25.2 micrómetros, corte transversal a 100X – ataque con Nital al 3%.

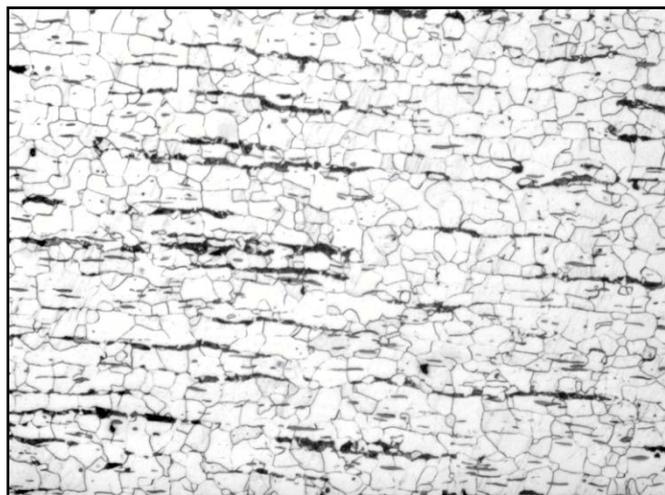


Figura N°2.8 Microestructura: Matriz Ferrítica con presencia de perlita en bandas. Tamaño de grano 33.1 micrómetros, Corte Longitudinal a 100X – ataque con Nital al 3%.

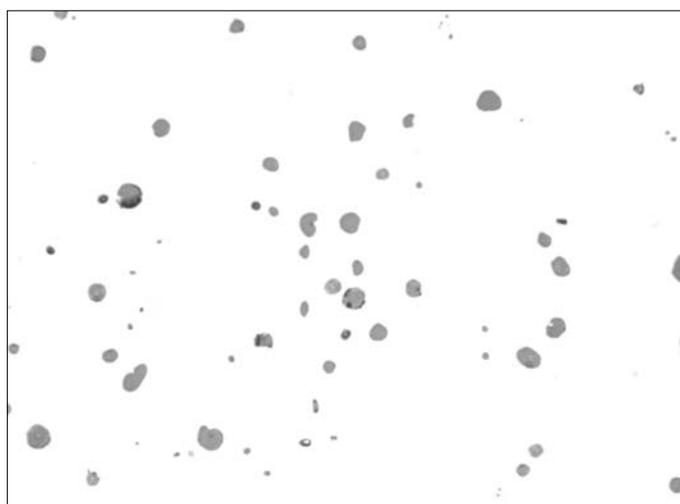
## 2.2 Tipo de Sulfuro de Manganeso.

En función del proceso de fabricación del acero en la colada continua y la composición química empleada, se puede formar en las palanquillas los Sulfuros de Manganeso

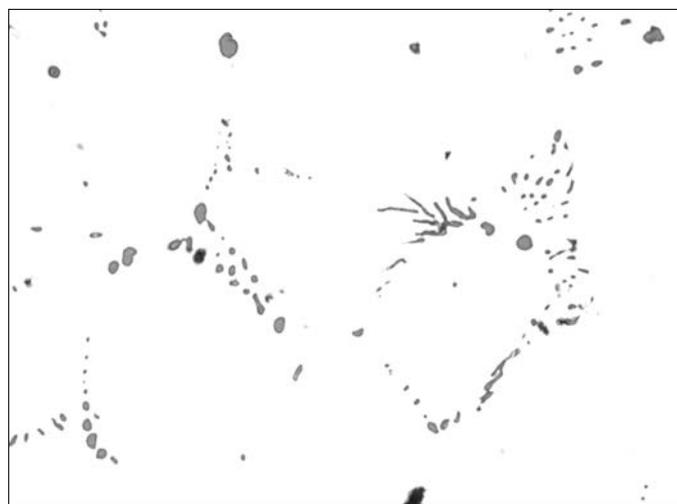
Tipos I y Tipo II:

**Sulfuro Tipo I:** Sulfuros globulares distribuidos aleatoriamente en el acero, permiten tener una buena aptitud para el mecanizado.

**Sulfuro Tipo II:** Sulfuros Globulares precipitados en los bordes de grano, son de menor tamaño que los sulfuros Tipo I, permiten tener una mediana a baja aptitud para el mecanizado.

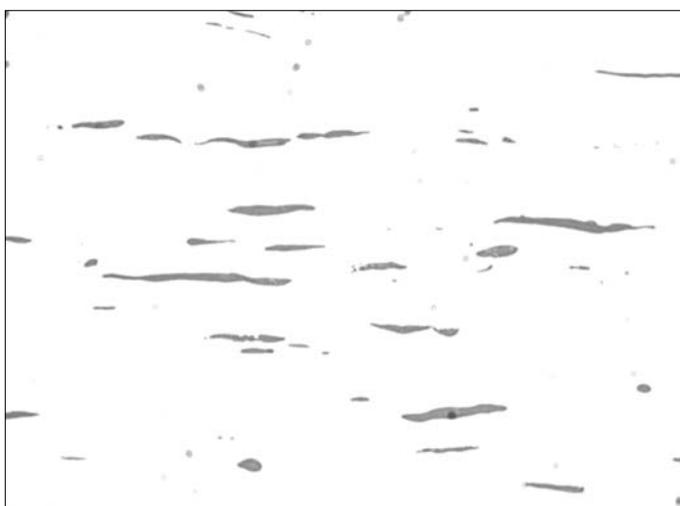


**SULFURO TIPO I** en palanquilla a 500x

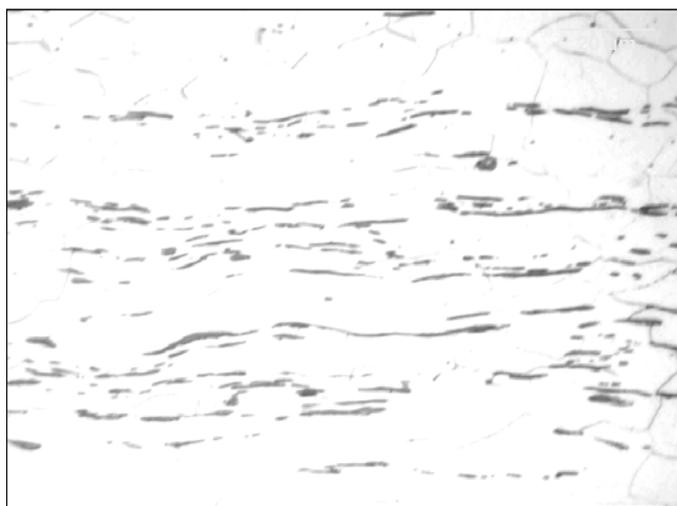


**SULFURO TIPO II** en palanquilla a 500x

Figura N°2.9 Tipos de Sulfuros en palanquilla.



**SULFURO TIPO I** en barra calibrada a 500x



**SULFURO TIPO II** en barra calibrada a 500x

Figura N°2.10 Tipos de Sulfuros en barras laminadas.

Tabla N°4 Caracterización de Sulfuro Tipo I en palanquilla – colada 193207.

DISTANCIA DE LA SUPERFICIE	MUESTRA	Partículas/mm <sup>2</sup>	% de área ocupada	Longitud Promedio (mm)	Espesor Promedio (mm)	Relación de Aspecto (mm)	COMPOSICIÓN QUÍMICA (% en masa)				
							C	Mn	Si	P	S
a 25 mm a 100X	A	956	2.8	0.007	0.004	1.7	0.06	1.27	0.03	0.07	0.32
	B	1177	3.2	0.007	0.004	1.6					
	<b>PROMEDIO</b>	<b>1067</b>	<b>3.00</b>	<b>0.007</b>	<b>0.004</b>	<b>1.7</b>					

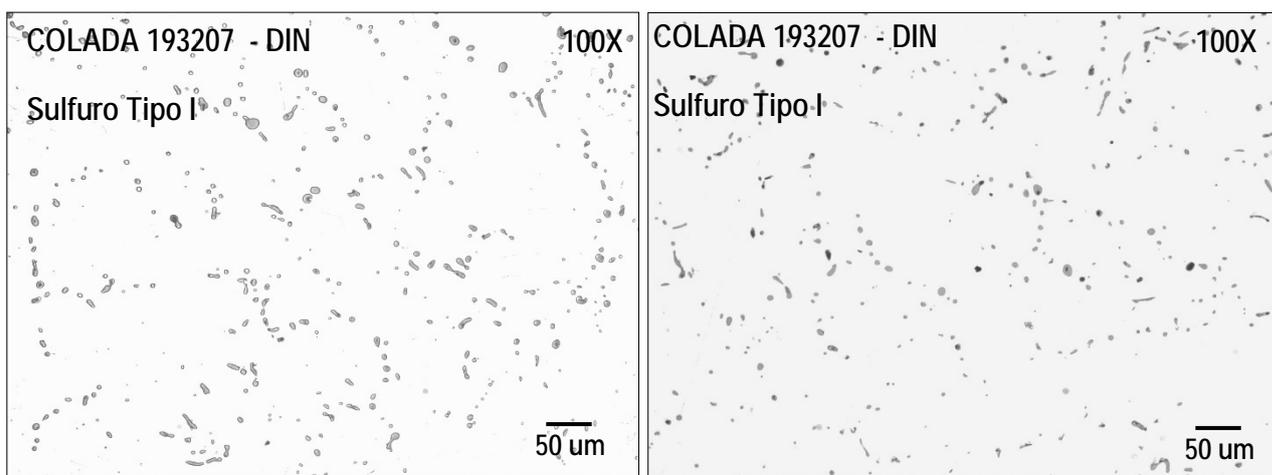


Figura N°2.11 Sulfuros Tipo I en palanquilla – Colada 193207 a 100x

Tabla N°5 Caracterización de Sulfuro Tipo II en palanquilla – colada 178874.

DISTANCIA DE LA SUPERFICIE	MUESTRA	Partículas/mm <sup>2</sup>	% de área ocupada	Longitud Promedio (mm)	Espesor Promedio (mm)	Relación de Aspecto (mm)	COMPOSICIÓN QUÍMICA (% en masa)				
							C	Mn	Si	P	S
a 25 mm a 100X	A	6050	2	0.003	0.001	2	0.09	1.27	0.06	0.07	0.20
	B	8352	2.6	0.003	0.001	2					
	<b>PROMEDIO</b>	<b>7201</b>	<b>2.30</b>	<b>0.003</b>	<b>0.001</b>	<b>2.0</b>					

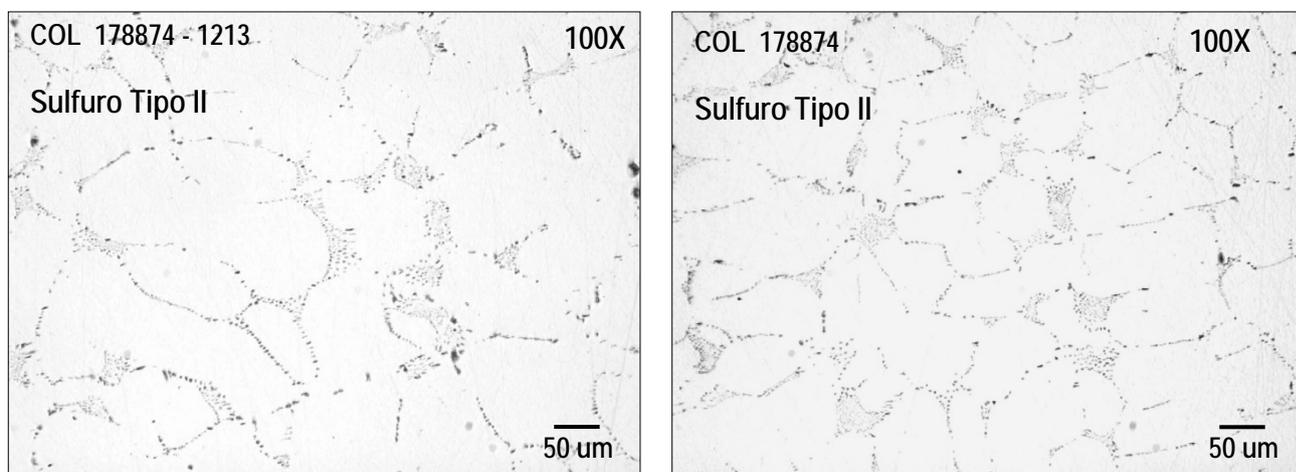


Figura N°2.12 Sulfuros Tipo II en palanquilla – Colada 178874 a 100x

### **2.3 Distribución de los Sulfuros de Manganeso:**

Las inclusiones de Sulfuro de Manganeso no están presentes en el acero líquido, durante su procesamiento en el horno cuchara, sino que se forman durante la solidificación del mismo. Por este motivo su tamaño y distribución, varía en función de la estructura de solidificación.

Como es conocido en la estructura de solidificación de la palanquilla, hay tres zonas marcadas, cerca de la superficie se forman pequeños granos equiaxiales llamada capa “Chill”, luego una zona de estructura columnar y en el centro otra zona equiaxial, pero granos de mayor tamaño que la zona equiaxial de la superficie, el crecimiento de estas zonas depende de sobrecalentamiento del Tundish, enfriamiento secundario, turbulencia del molde, entre otros.

Por este motivo los sulfuros son más pequeños en la superficie (estructura equiaxial de tamaño de grano pequeño), mas grande en la zona de estructura columnar por tener espacio para crecer entre las dendritas y estar el líquido interdendrítico rico en S y Mn, finalmente en la zona de estructura equiaxial central serán ligeramente de menor tamaño que en la zona de estructura columnar, pero mucha más grandes que en la superficie.

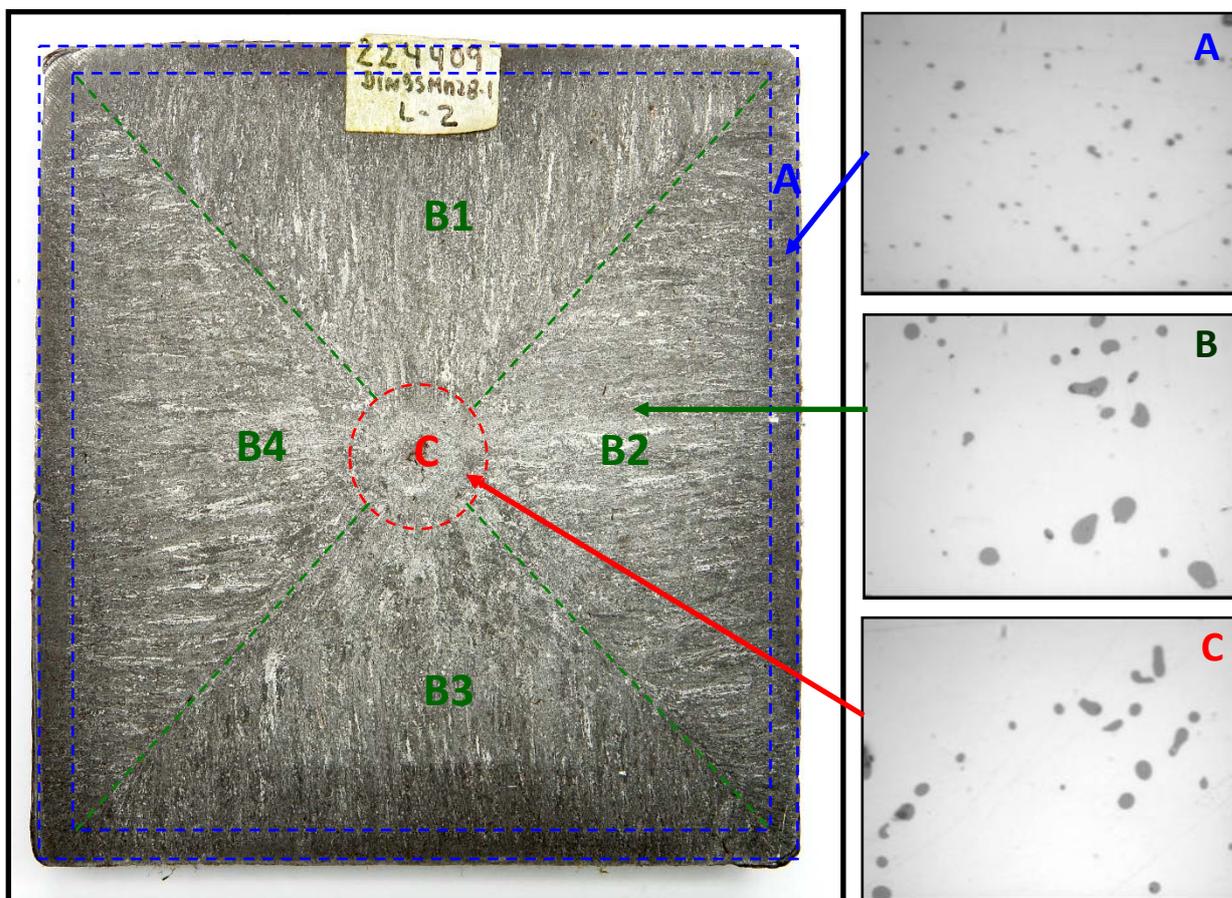


Figura N°2.13 Estructura de solidificación y MnS formados. Palanquilla calidad DIN 9SMn28 sección 130x130mm. Se realizó el macroataque por con ácido clorhídrico al 17% en caliente 15 minutos.

En las Figuras 2.10 y 2.11, se observa que en la zona A (superficie de la palanquilla) presenta estructura de granos equiaxiales y MnS globulares pequeños, las zonas B1, B2, B3 y B4 (frentes de solidificación) estructura columnar – dendrítica con MnS globulares de mayor tamaño y la zona C (núcleo de la palanquilla) estructura de granos equiaxiales con MnS ligeramente más pequeños que los observados en las zonas B.

#### 2.4 Propiedades mecánicas.

A continuación se muestra los resultados de los ensayos mecánicos realizados a las barras laminadas en caliente y a las barras calibradas correspondientes a los lotes de producción del 2011. Ensayo de tracción realizado bajo la norma ASTM A370 y E8, Dureza realizada según norma ASTM E 18.

Tabla N°6. Estadística de propiedades mecánicas de barras laminados.

<b>BARRAS REDONDAS LAMINADAS</b>				
<b>ESTADÍSTICA</b>	<b>FLUENCIA</b>	<b>TRACCIÓN</b>	<b>ALARGAMIENTO</b>	<b>DUREZA</b>
	<b>kg/mm<sup>2</sup></b>	<b>kg/mm<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>HRb</b>
<b>Mínimo</b>	30.4	43.4	26.5	64
<b>Máximo</b>	33.5	46.1	33.0	72
<b>Promedio</b>	32.2	44.7	28.8	68.1

Tabla N°7. Estadística de propiedades mecánicas de barras calibradas.

<b>BARRAS REDONDAS CALIBRADAS</b>				
<b>ESTADÍSTICA</b>	<b>FLUENCIA</b>	<b>TRACCIÓN</b>	<b>ALARGAMIENTO</b>	<b>DUREZA</b>
	<b>kg/mm<sup>2</sup></b>	<b>kg/mm<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>HRb</b>
<b>Mínimo</b>	50.3	52.0	2.5	80
<b>Máximo</b>	64.3	66.1	11.0	99
<b>Promedio</b>	57.2	58.4	7.2	90.7

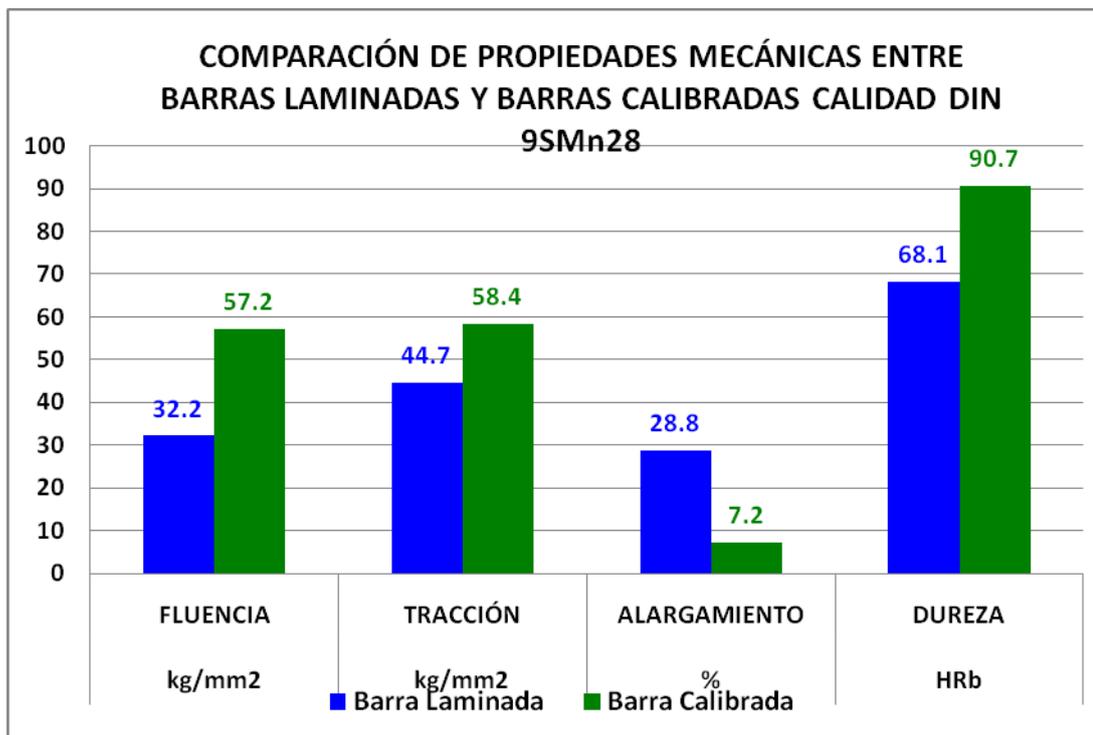


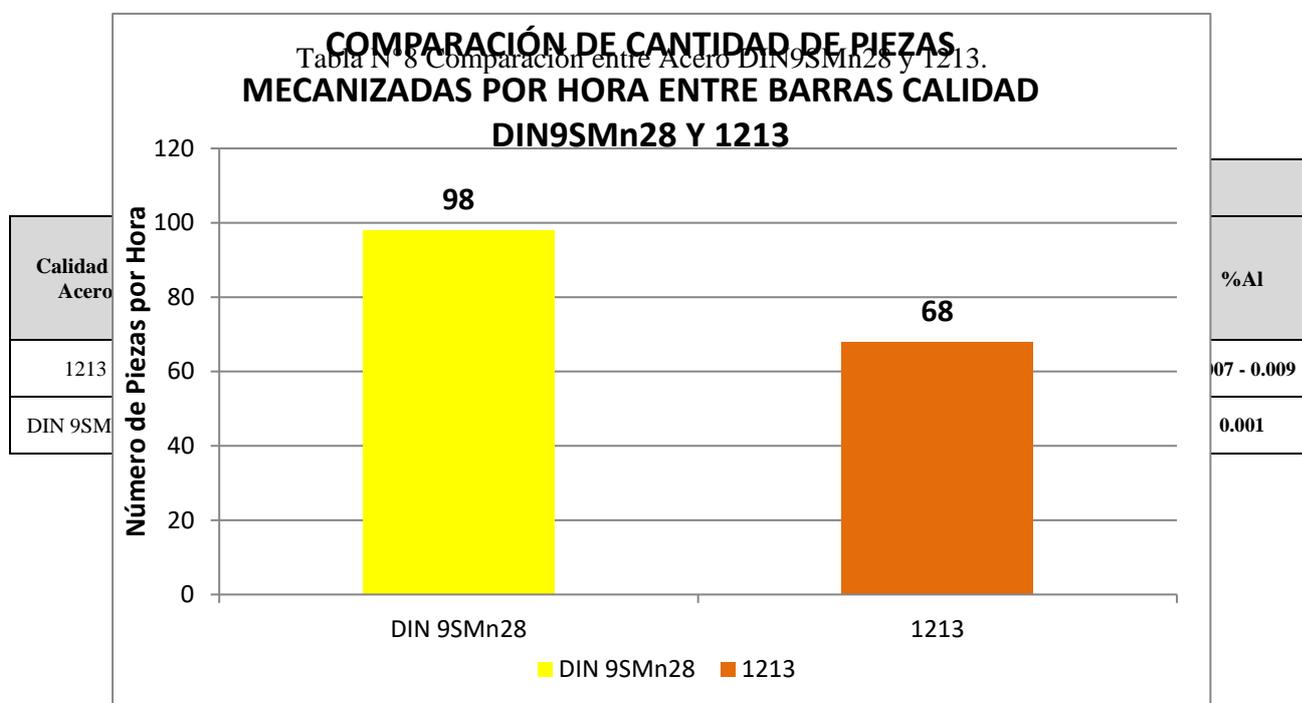
Figura N°2.14 Comparación de propiedades mecánicas.

En la figura N°2.12, se puede observar que el límite de fluencia, la resistencia a la tracción y la dureza de las barras laminadas se incrementa luego del proceso de calibrado. Este cambio en las propiedades mecánicas se debe al incremento en la densidad de dislocaciones originadas durante la deformación plástica del proceso de calibrado. Estas dislocaciones saturan el material ocasionando una resistencia al movimiento y creación de nuevas dislocaciones, este efecto se manifiesta a nivel macroscópico como un incremento de la resistencia necesaria para continuar con la deformación plástica.

La capacidad de deformación plástica del producto calibrado cae considerablemente de aprox. 28% en barras laminadas a 7.2% en barras calibradas. Estos cambios en las propiedades mecánicas están relacionados directamente con el porcentaje de reducción de área entre el producto laminado y el producto calibrado.

## 2.5 Pruebas de Maquinabilidad.

Se realizaron pruebas de maquinabilidad entre la calidad DIN9SMn28 (presenta Sulfuro de Manganeso Tipo I, nivel inclusionario de 1 a 3) y la calidad 1213 (Sulfuro de Manganeso Tipo II, nivel inclusionario de 2 a 4.5) en barras calibradas de Ø3/4", a fin de comprobar el comportamiento de estos aceros maquinando las mismas piezas, bajo los mismos parámetros de mecanizado, a continuación se muestra los resultados:



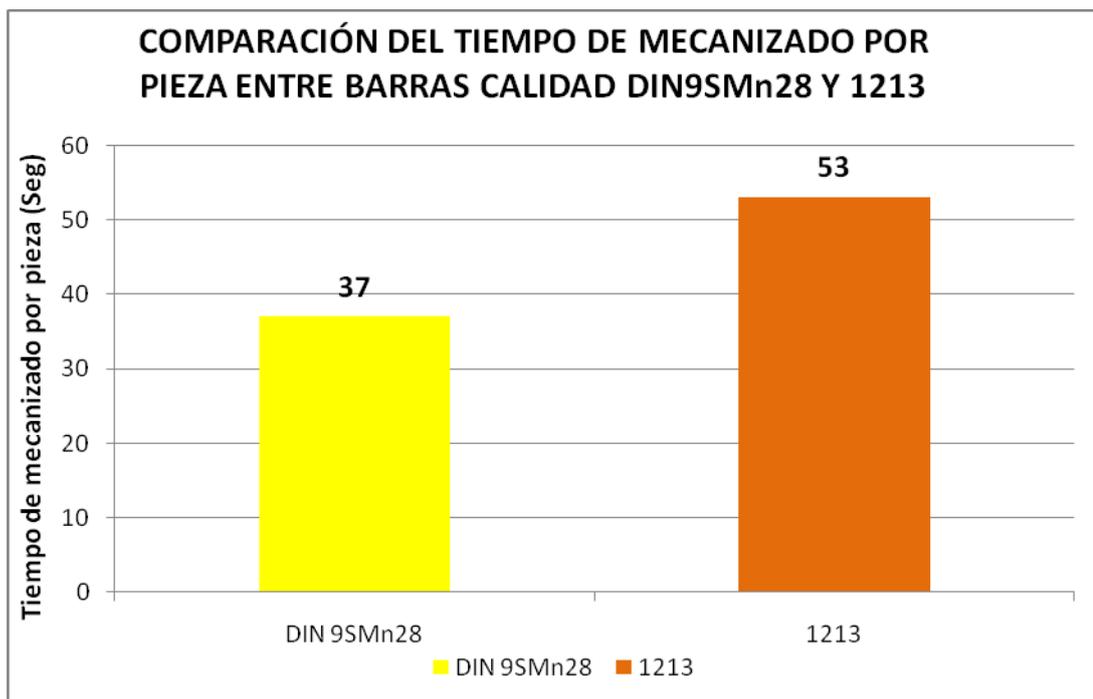


Figura N°2.16 Comparación de tiempo de mecanizado/pieza.

De las pruebas realizadas se obtiene que con el acero DIN9SMn28 se obtiene un 44% más de piezas/hora que empleando un acero 1213; y el acero DIN 9SMn28 permite mecanizar una pieza misma en un 39% menos de tiempo que empleando un acero 1213, los acabados superficiales para ambos aceros son semejantes, las virutas generadas por el acero DIN 9SMn28 son ligeramente más cortas que las generadas por el acero 1213, lo que contribuye a reducir el calentamiento de la herramienta de corte por contacto con la viruta (mejora la vida útil del filo de la cuchilla de corte).

## 2.6 Comparación del tipo de viruta en el mecanizado.

Se realizó la comparación del tipo de viruta que se forma mecanizando 02 barras calibradas de Ø1.1/2” (los parámetros de mecanizado y dimensiones de las piezas fueron realizados en base a las prácticas operativas de nuestro cliente), una de la calidad SAE 1018 (acero al carbono) y la otra en calidad DIN9SMn28 (acero de corte libre), con el mismo tipo de torno Logic 195 III:

Tabla N°9 Composición química de barras Calidad DIN 9SMn28 y SAE 1018.

CALIDAD DE ACERO	COMPOSICIÓN QUÍMICA											
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn	V	Al
DIN 9SMn28	0.08	1.44	0.03	0.068	0.319	0.03	0.04	0.01	0.06	0.022	0.001	0.001
SAE 1018	0.18	0.81	0.21	0.015	0.021	0.06	0.04	0.01	0.09	0.022	0.001	0.007



Figura N°2.17 Tensionador de faja obtenido por mecanizado en torno automático.



Figura N°2.18 Comparación de virutas del acero DIN9SMn28 y SAE 1018. Se observa que la viruta del acero DIN 9SMn28 es corta y de color opaco y la viruta del acero SAE 1018 es continua y brillante.

DIN9SMn28  
(A)



DIN9SMn28  
(B)



Figura N°2.19 Virutas de acero calidad DIN 9SMn28 (A y B). Se observa que las virutas presentan una superficie quebradiza y opaca.



Figura N°2.20 La foto corresponde a viruta de acero calidad SAE 1018. Se puede observar que la viruta es lisa y de tono brillante.

Tabla N°10 Características de las virutas del Acero DIN9SMn28 y SAE 1018.

CARACTERISTICAS DEL TIPO DE VIRUTA	CALIDAD DE ACERO	
	DIN 9SMN28	SAE 1018
SUPERFICIE	Quebradiza	Lisa
LONGITUD PROMEDIO (cm)	4.5	60.9
COLOR	Opaco	Brillante

Durante el mecanizado de la calidad SAE 1018, se observó un desgaste de la herramienta de corte y una vibración excesiva, lo que originó que se tenga que reducir la velocidad de mecanizado en un 40% y el filo de las herramientas de corte

presentaron un 30% menos de tiempo de vida, a comparación de la calidad DIN 9SMn28, luego del rectificado final de las piezas mecanizadas no se apreció una diferencia visual en el acabado superficial entre las muestras mecanizadas de calidad DIN9SMn28 y SAE 1018.

### **CAPITULO III**

## **OPTIMIZACIÓN Y MEJORAS EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL ACERO CALIDAD DIN9SMn28**

### **3.1 Antecedentes.**

En la planta N°4 se empezó a fabricar barras redondas calibradas de corte libre en el 1999 con la calidad 1213 (acero de corte libre parecido al DIN 9SMn28 pero con menor maquinabilidad y una composición química parecida), a partir del 2006 se inició la fabricación del acero de corte libre DIN 9SMn28 como parte de la mejora de la calidad de nuestros productos y la demanda de esta calidad en el mercados externos como Brasil, inicialmente los productos calibrados calidad DIN9SMn28 solo eran comercializados en el mercado Peruano y en bajos tonelajes debido a que su uso no estaba muy difundida en este mercado, no se presentaban observaciones de los clientes acerca de la calidad de nuestros productos.

A inicios del 2007 se comenzó a comercializar algunos lotes de prueba para el mercado externo donde estos productos eran empleados para la fabricación de piezas para la industria automotriz (acoples hidráulicos, tensores de fajas, pernos), en estos lotes se presentaron observaciones con respecto a la calidad superficial e interna de nuestros productos, los cuales comprometían la calidad de los productos mecanizados (Pliegues y grietas), pudiendo ocasionar que la pieza mecanizada falle durante el tiempo de servicio.

Debido a la exigencia en los procesos de mecanizado en tornos automáticos y a la calidad de los productos calibrados que se emplean como materia prima para fabricar piezas para la industria automotriz, se implementó un monitoreo de la calidad de nuestros productos Calibrados, con el cual se identificó y clasificó las principales oportunidades de mejora en cuestión de calidad superficial e interna. Del monitoreo realizado se identificó que las mejoras a realizar estaban enfocadas principalmente en las áreas de Acería y Laminación. Se realizaron reuniones de coordinación y asesorías técnicas en las áreas involucradas con el fin de brindar productos que cumplan con las exigencias de calidad de nuestros clientes, se implementaron las siguientes mejoras:

### **3.2 Optimización y mejoras en la Planta de Acería:**

#### **3.2.1 Mejoras del Tipo de Sulfuro de Manganeso.**

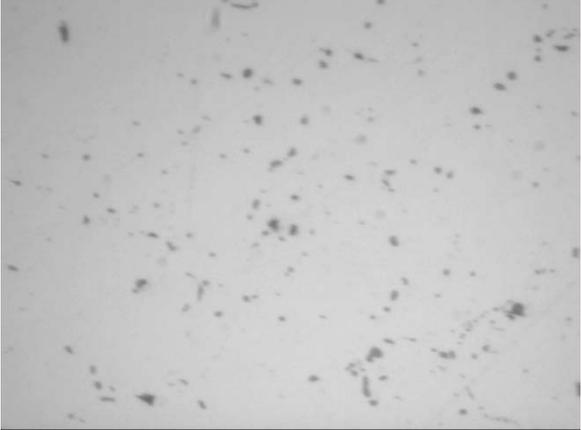
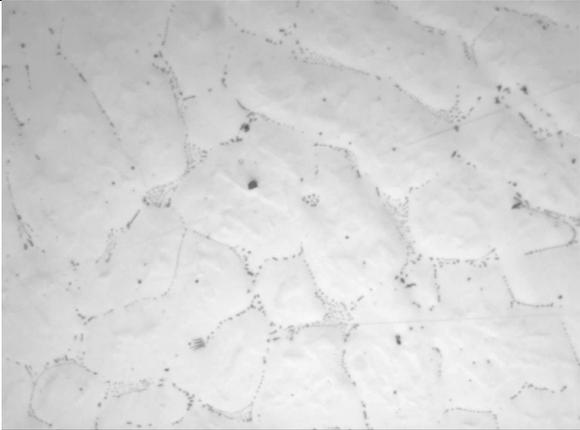
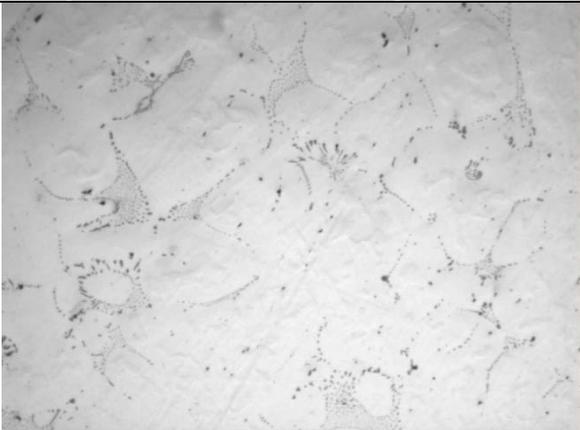
Para la optimización del tipo de sulfuro adecuado para el proceso de conformado por arranque de viruta se realizaron varias pruebas, iniciando estas con el acero calidad 1213 el cual presentaba una composición química parecida al acero DIN 9SMn28, al inicio se colaba con aproximadamente 12 a 17 ppm (partes por millón) de Oxígeno soluble, valores típicos para nuestros aceros, con ello se obtenía un sulfuro de manganeso Tipo II en la palanquilla, este tipo de sulfuro según la literatura no era el más óptimo para un fácil mecanizado, debido a su forma y distribución final en las barras calibradas.

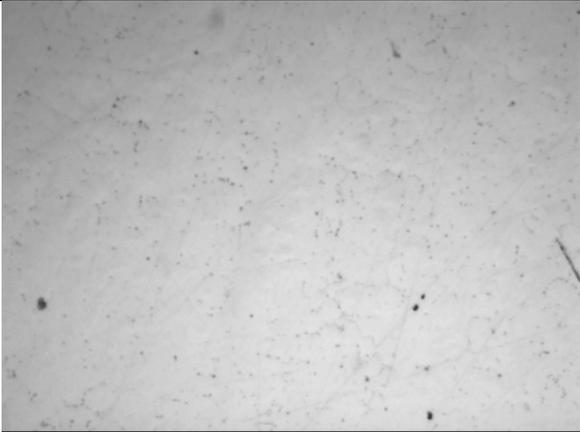
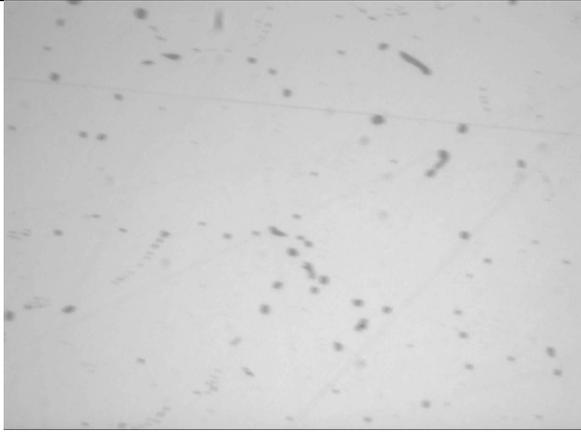
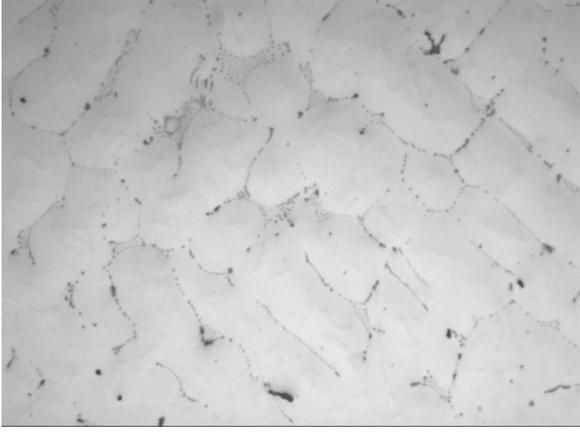
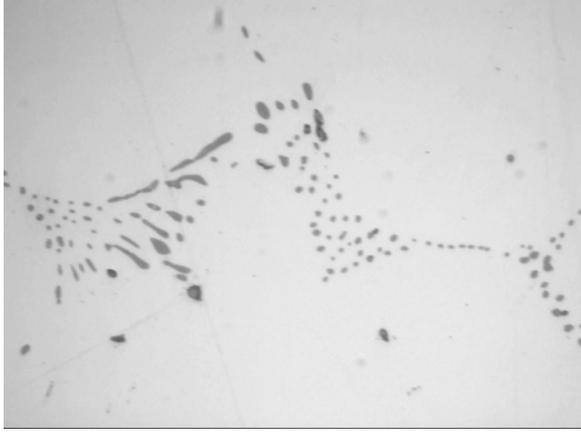
Se continuó realizando pruebas en la calidad 1213 y una calidad DIN 1213 (calidad creada como prueba para llegar a la DIN 9SMn28), modificando los contenidos de Manganeso, Azufre, Aluminio y Oxígeno soluble, con la finalidad de lograr determinar los rangos operativos en la colada continua y composición química adecuada para lograr formar el Sulfuro Tipo I.

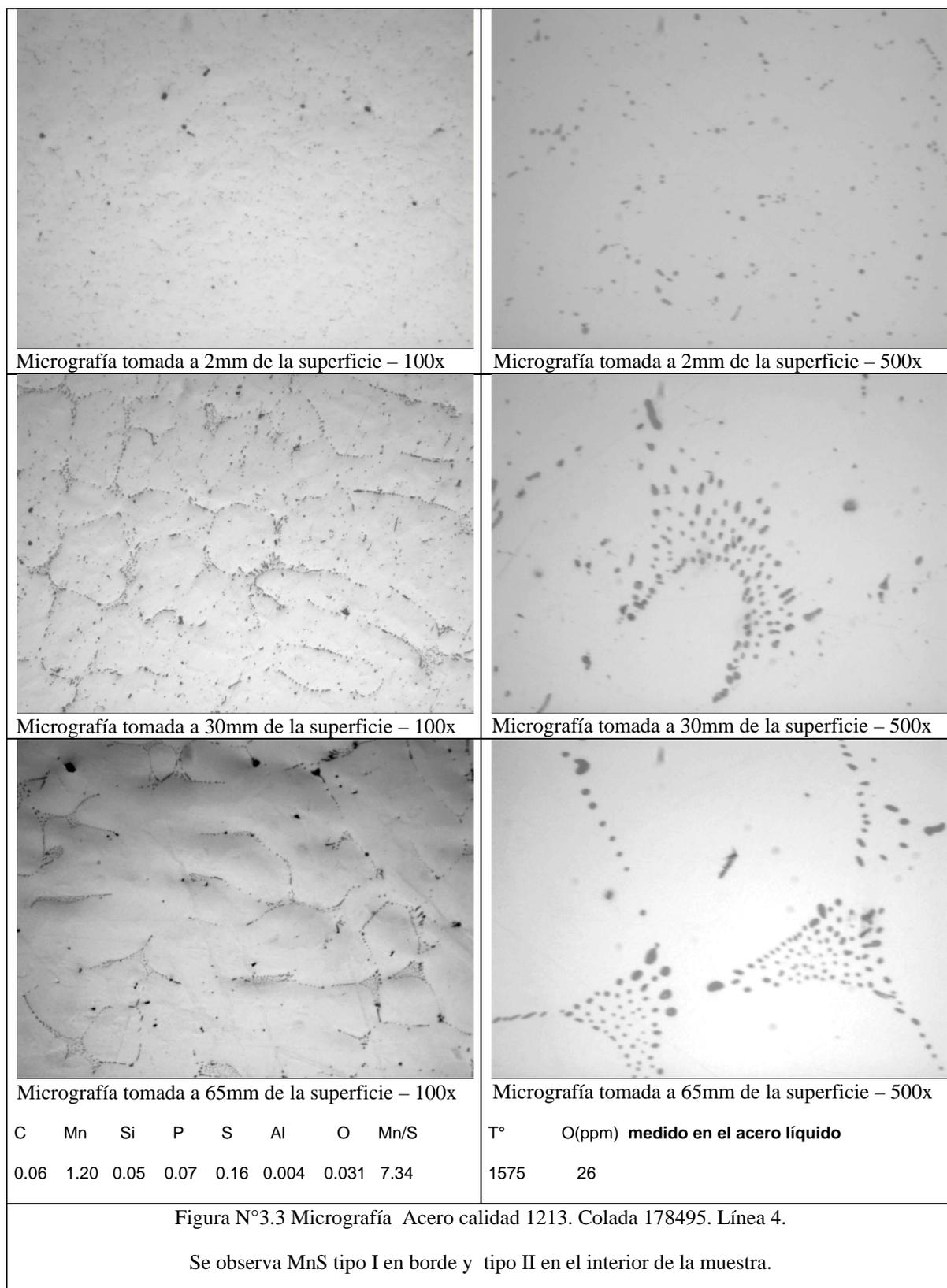
**Primera Prueba:** Se realizó pruebas con diferentes coladas 1213 y DIN 1213 (grado de acero intermedio entre el acero 1213 y DIN 9SMn28), variando los siguientes parámetros:

- Composición química.
- Temperatura de colada
- Partes por millón de Oxígeno soluble en el acero líquido en el tundish.
- Inyección de Aluminio (contenido de aluminio total).

La prueba consistió en comparar el tipo de sulfuro de manganeso formado en las palanquillas, para esta comparación se empleó el microscopio metalográfico Leica evaluando 03 campos a 100x y a 500x, sobre un corte longitudinal a la palanquilla 130x130 mm, los tres campos fueron tomados a 2 mm, 30 mm y 65 mm de la superficie de la palanquilla. Los resultados se muestran a continuación.

																							
Micrografía tomada a 2mm de la superficie – 100x	Micrografía tomada a 2mm de la superficie – 500x																						
																							
Micrografía tomada a 30mm de la superficie – 100x	Micrografía tomada a 30mm de la superficie – 500x																						
																							
Micrografía tomada a 65mm de la superficie – 100x	Micrografía tomada a 65mm de la superficie – 500x																						
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>Mn</td> <td>Si</td> <td>P</td> <td>S</td> <td>Al</td> <td>O</td> <td>Mn/S</td> </tr> <tr> <td>0.06</td> <td>1.22</td> <td>0.05</td> <td>0.07</td> <td>0.18</td> <td>0.006</td> <td>0.022</td> <td>6.89</td> </tr> </tbody> </table>	C	Mn	Si	P	S	Al	O	Mn/S	0.06	1.22	0.05	0.07	0.18	0.006	0.022	6.89	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>T°</td> <td>O(ppm)</td> <td>medido en el acero líquido</td> </tr> <tr> <td>1575</td> <td>26</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	T°	O(ppm)	medido en el acero líquido	1575	26	
C	Mn	Si	P	S	Al	O	Mn/S																
0.06	1.22	0.05	0.07	0.18	0.006	0.022	6.89																
T°	O(ppm)	medido en el acero líquido																					
1575	26																						
<p>Figura N°3.1 Micrografía Acero calidad 1213. Colada 178495. Línea 3.</p> <p>Se observa MnS tipo I en la superficie y tipo II en el interior de la muestra.</p>																							

																							
Micrografía tomada a 2mm de la superficie – 100x	Micrografía tomada a 2mm de la superficie – 500x																						
																							
Micrografía tomada a 30mm de la superficie – 100x	Micrografía tomada a 30mm de la superficie – 500x																						
																							
Micrografía tomada a 65mm de la superficie – 100x	Micrografía tomada a 65mm de la superficie – 500x																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>C</th> <th>Mn</th> <th>Si</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>Al</th> <th>O</th> <th>Mn/S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.06</td> <td>1.25</td> <td>0.05</td> <td>0.07</td> <td>0.19</td> <td>0.005</td> <td>0.017</td> <td>6.74</td> </tr> </tbody> </table>	C	Mn	Si	P	S	Al	O	Mn/S	0.06	1.25	0.05	0.07	0.19	0.005	0.017	6.74	<table border="1"> <thead> <tr> <th>T°</th> <th>O(ppm)</th> <th>medido en el acero líquido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1575</td> <td>26</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	T°	O(ppm)	medido en el acero líquido	1575	26	
C	Mn	Si	P	S	Al	O	Mn/S																
0.06	1.25	0.05	0.07	0.19	0.005	0.017	6.74																
T°	O(ppm)	medido en el acero líquido																					
1575	26																						
<p>Figura N°3.2 Micrografía Acero calidad 1213. Colada 178495. Línea 1</p> <p>Se observa MnS tipo I en la superficie y tipo II en el interior de la muestra. Segregación de Mn en el interior de la muestra.</p>																							



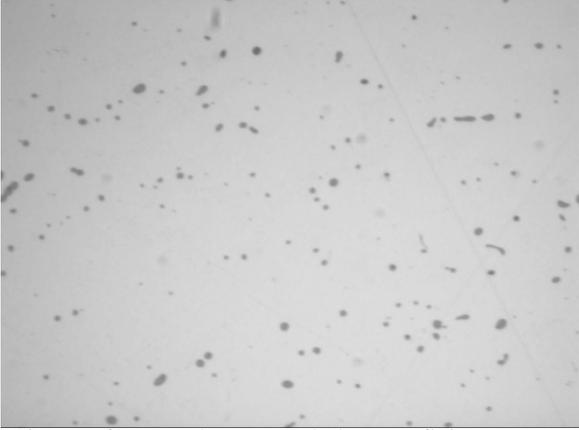
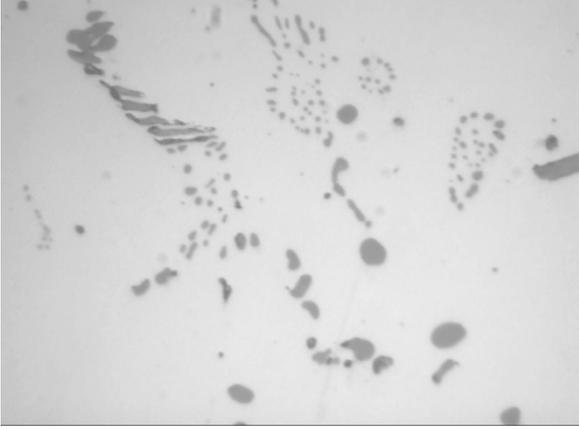
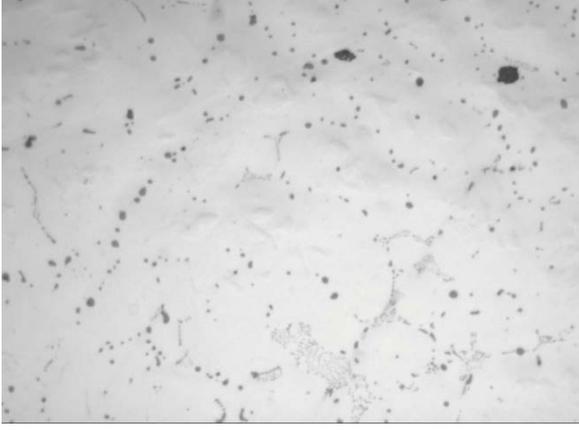
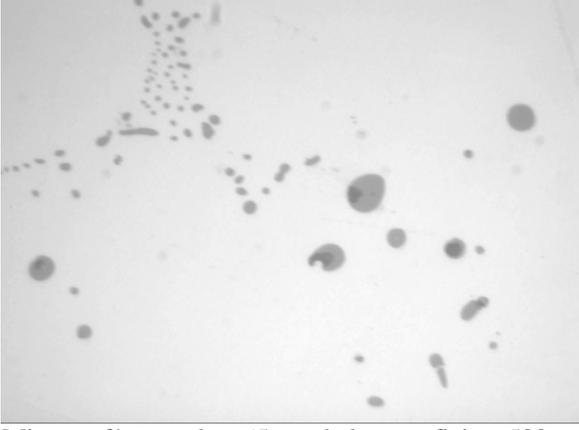
																							
Micrografía tomada a 2mm de la superficie – 100x	Micrografía tomada a 2mm de la superficie – 500x																						
																							
Micrografía tomada a 30mm de la superficie – 100x	Micrografía tomada a 30mm de la superficie – 500x																						
																							
Micrografía tomada a 65mm de la superficie – 100x	Micrografía tomada a 65mm de la superficie – 500x																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>C</th> <th>Mn</th> <th>Si</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>Al</th> <th>O</th> <th>Mn/S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.06</td> <td>1.34</td> <td>0.02</td> <td>0.08</td> <td>0.22</td> <td>0.004</td> <td>0.060</td> <td>6.05</td> </tr> </tbody> </table>	C	Mn	Si	P	S	Al	O	Mn/S	0.06	1.34	0.02	0.08	0.22	0.004	0.060	6.05	<table border="1"> <thead> <tr> <th>T°</th> <th>O(ppm)</th> <th>medido en el acero líquido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1550</td> <td>49</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	T°	O(ppm)	medido en el acero líquido	1550	49	
C	Mn	Si	P	S	Al	O	Mn/S																
0.06	1.34	0.02	0.08	0.22	0.004	0.060	6.05																
T°	O(ppm)	medido en el acero líquido																					
1550	49																						

Figura N°3.4 Micrografía Acero calidad DIN 1213. Colada 178496. Línea 1.

Se observa MnS tipo I en la superficie y una mezcla del tipo I y II en el interior de la muestra. Segregación de Mn hacia el centro de la muestra.

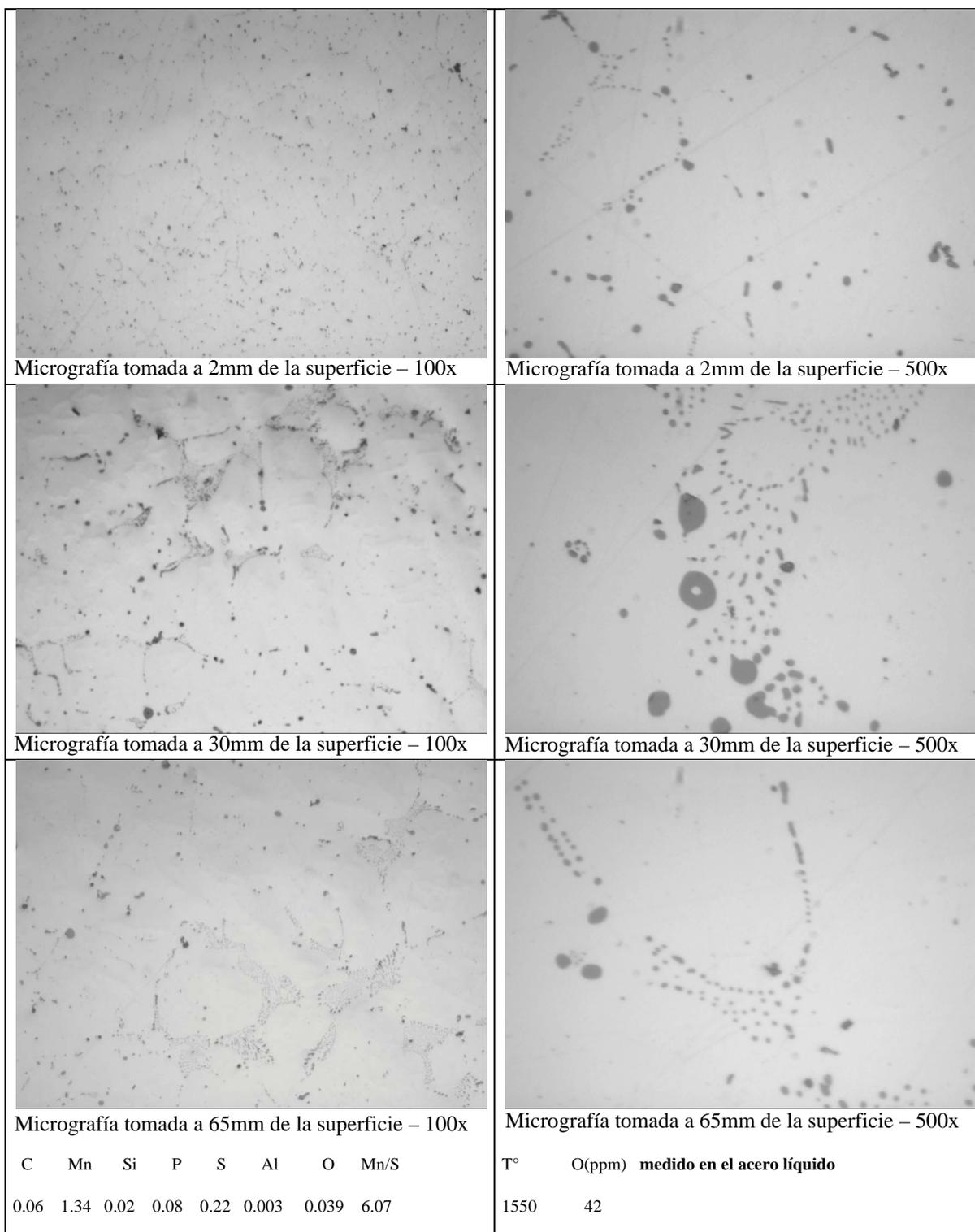
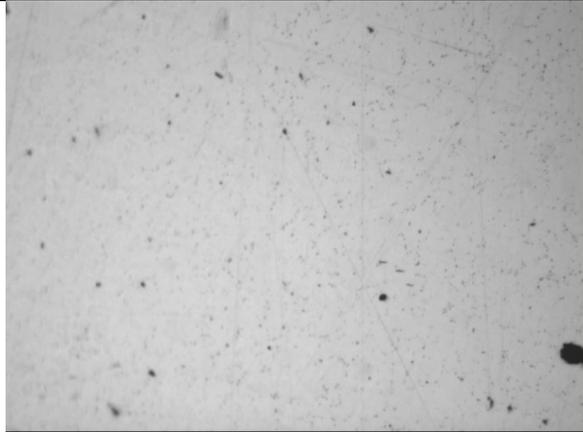
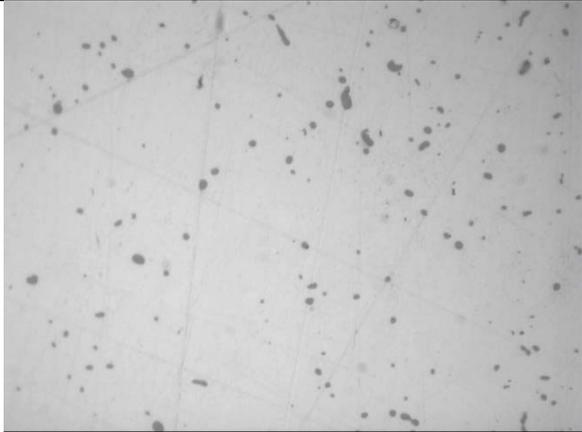
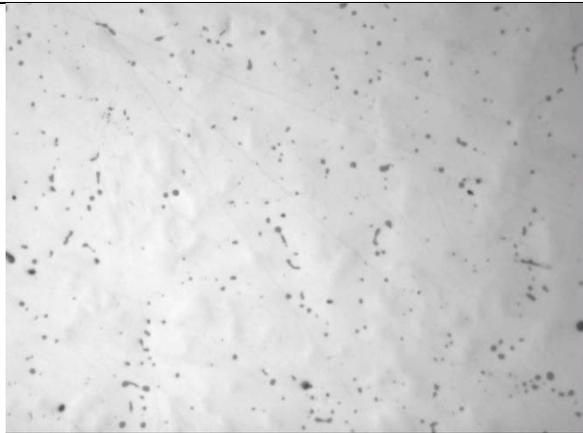
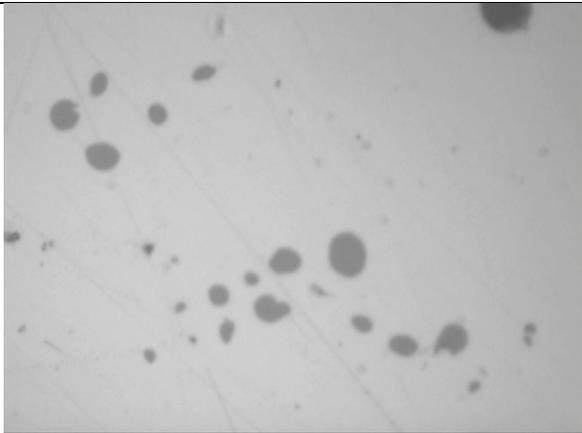
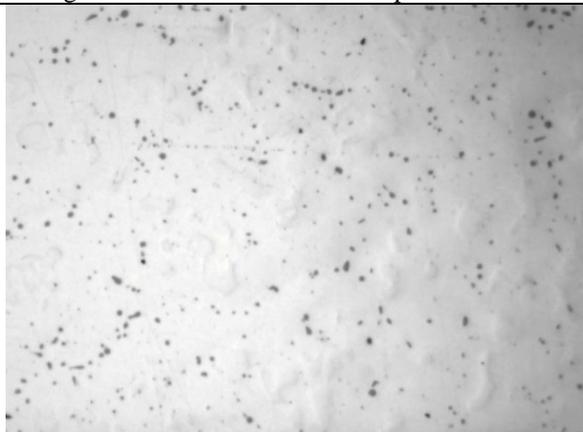
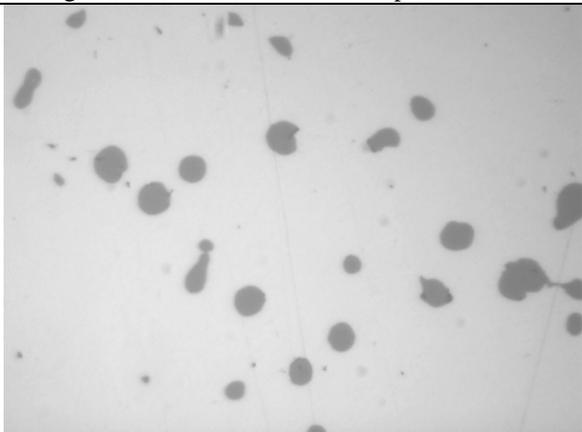


Figura N°3.5 Micrografía Acero calidad DIN 1213. Colada 178497. Línea 4.

Se observa mezcla de MnS tipo I y tipo II en toda la muestra. Segregación de Mn en el interior de la muestra.

Micrografía tomada a 2mm de la superficie – 100x	Micrografía tomada a 2mm de la superficie – 500x																						
Micrografía tomada a 30mm de la superficie – 100x	Micrografía tomada a 30mm de la superficie – 500x																						
Micrografía tomada a 65mm de la superficie – 100x	Micrografía tomada a 65mm de la superficie – 500x																						
<table border="0"> <thead> <tr> <th>C</th> <th>Mn</th> <th>Si</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>Al</th> <th>O</th> <th>Mn/S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.06</td> <td>1.40</td> <td>0.03</td> <td>0.08</td> <td>0.19</td> <td>0.005</td> <td>0.028</td> <td>7.3</td> </tr> </tbody> </table>	C	Mn	Si	P	S	Al	O	Mn/S	0.06	1.40	0.03	0.08	0.19	0.005	0.028	7.3	<table border="0"> <thead> <tr> <th>T°</th> <th>O(ppm)</th> <th>medido en el acero líquido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1586</td> <td>39</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	T°	O(ppm)	medido en el acero líquido	1586	39	
C	Mn	Si	P	S	Al	O	Mn/S																
0.06	1.40	0.03	0.08	0.19	0.005	0.028	7.3																
T°	O(ppm)	medido en el acero líquido																					
1586	39																						
<p align="center">Figura N°3.6 Micrografía Acero calidad DIN 1213. Colada 178497. Línea 4.</p> <p align="center">Se observa mezcla de MnS tipo I y tipo II en la superficie y en el interior MnS tipo II. Segregación de Mn en el interior de la muestra</p>																							

																							
Micrografía tomada a 2mm de la superficie – 100x	Micrografía tomada a 2mm de la superficie – 500x																						
																							
Micrografía tomada a 30mm de la superficie – 100x	Micrografía tomada a 30mm de la superficie – 500x																						
																							
Micrografía tomada a 65mm de la superficie – 100x	Micrografía tomada a 65mm de la superficie – 500x																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>C</th> <th>Mn</th> <th>Si</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>Al</th> <th>O</th> <th>Mn/S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.07</td> <td>1.27</td> <td>0.02</td> <td>0.08</td> <td>0.21</td> <td>0.001</td> <td>0.038</td> <td>6.04</td> </tr> </tbody> </table>	C	Mn	Si	P	S	Al	O	Mn/S	0.07	1.27	0.02	0.08	0.21	0.001	0.038	6.04	<table border="1"> <thead> <tr> <th>T°</th> <th>O(ppm)</th> <th>medido en el acero líquido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1550</td> <td>42</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	T°	O(ppm)	medido en el acero líquido	1550	42	
C	Mn	Si	P	S	Al	O	Mn/S																
0.07	1.27	0.02	0.08	0.21	0.001	0.038	6.04																
T°	O(ppm)	medido en el acero líquido																					
1550	42																						
<p>Figura N°3.7 Micrografía Acero calidad DIN 1213. Colada 178497. Línea 2.</p> <p>Se observa Sulfuro de manganeso tipo I en toda la muestra.</p>																							

### **Conclusiones de la Primera Prueba:**

- En presencia de un porcentaje de Aluminio mayor o igual a 0.003%, se ha formado sulfuro de manganeso tipo II en las palanquillas.
  
- La presencia de oxígeno soluble mayor a 39 ppm favorece la formación del Sulfuro Tipo I, aunque se ve afectado por el contenido de Aluminio, ocasionando que aparezcan Sulfuros Tipo II junto a los del Tipo I. A mayor contenido de Aluminio se incrementa Sulfuro tipo II y disminuyen los Sulfuros Tipo I.
  
- Para obtener 100% de Sulfuro tipo I, se requiere trabajar con porcentaje de aluminio menor o igual a 0.001%, y contenido de oxígeno soluble de mayor a 42 ppm.
  
- El tamaño de los sulfuros se ve afectado por el contenido de Azufre y Manganeso, a mayor cantidad de estos elementos se observa que los sulfuros presentan un mayor tamaño.
  
- La relación Manganeso/Azufre se debe mantener igual o por encima de 4, para evitar la formación de Sulfuro de Hierro (FeS), el cual tiene bajo punto de fusión y puede fundirse al inicio de la laminación, generando una disminución de la ductilidad en caliente.
  
- La inclusiones de Sulfuro de manganeso cerca de la superficie de la palanquilla son pequeñas, a 30mm de la superficie son más grandes y en el

centro de la palanquilla son ligeramente de menor tamaño que los observados a 30mm de la superficie, esto debido a la segregación presentada en la solidificación.

**Segunda Prueba:** Empleando como base los resultados de las pruebas anteriores se realizó una prueba de fabricación del acero DIN9SMn28 empleando la composición química según especifica la norma EN 10277-3:1999, modificando los adiciones de Aluminio las cuales están relacionados directamente con el contenido de oxígeno soluble en el acero:

Tabla N°11 Análisis Química a muestra de la colada 186036.

Número de Colada	Calidad	COMPOSICIÓN QUÍMICA (% en masa)									
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn
<b>Rangos según Norma EN 10277-3:1999</b>		<b>0.14 max.</b>	<b>0.90 a 1.30</b>	<b>0.05 max.</b>	<b>0.11 max.</b>	<b>0.27 a 0.33</b>	-	-	-	-	-
186036	DIN9SMn28	0.07	1.21	0.03	0.069	0.316	0.05	0.07	0.01	0.14	0.02

(-) No se especifica según norma EN 10277-3:1999

El contenido de aluminio se modificó por inyección de Aluminio en el molde, obteniendo dos valores 0.001% y 0.006% de Aluminio total, relación Azufre/Manganeso = 3.8, temperatura de colada 1554 T°C y contenido de oxígeno soluble de 50 ppm.

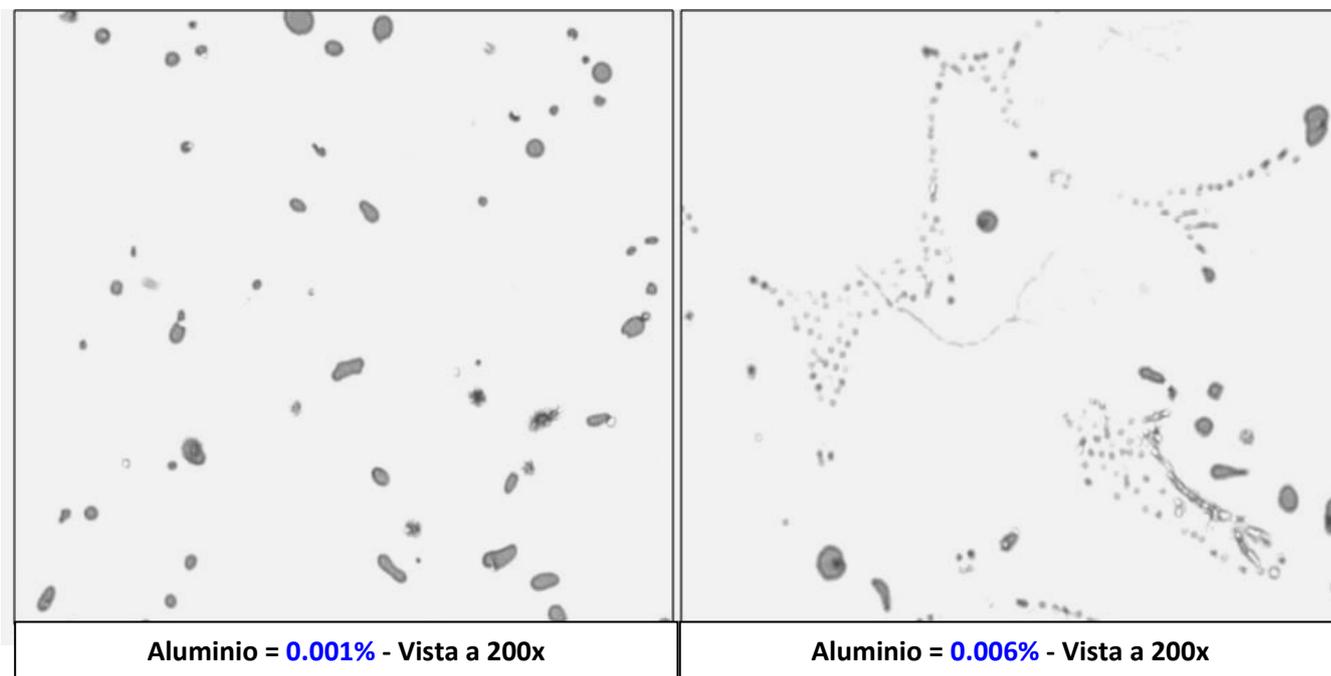


Figura N°3.8 Distribución y forma de las inclusiones de MnS - colada 186036, se observa Sulfuro Tipo I en muestra con Aluminio = 0.001% y Sulfuro Tipo II en muestra con contenido de Aluminio = 0.006%. Muestra pulida sin ataque a 200x.

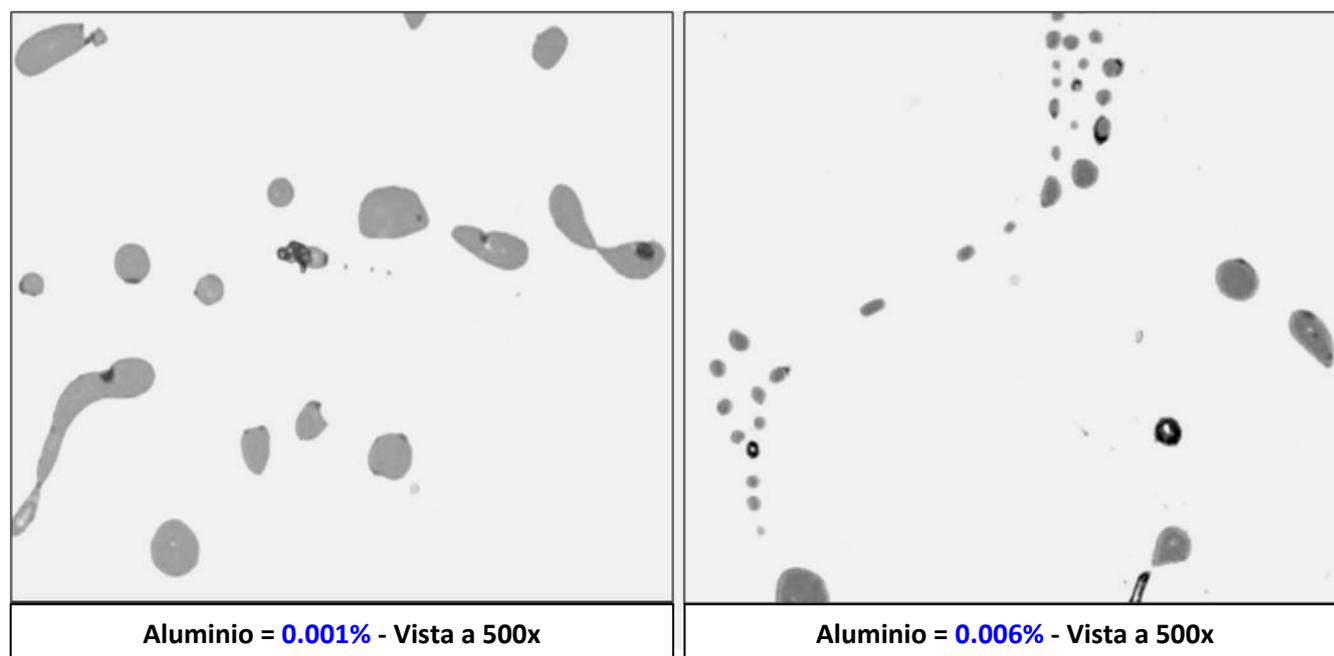


Figura N°3.9 Distribución y forma de las inclusiones de MnS - colada 186036, se observa Sulfuro Tipo I en muestra con Aluminio = 0.001% y Sulfuro Tipo II en muestra con contenido de Aluminio = 0.006%. Muestra pulida sin ataque a 500x.

**Conclusiones de la Segunda Prueba:**

- Se comprobó que el uso de un contenido de Aluminio total igual o menor que 0.001% y trabajando con 50 ppm de Oxígeno soluble en el acero líquido, se logra formar un 100% de sulfuro tipo I en las palanquillas.
- Se comprobó que empleando un contenido de Aluminio total igual a 0.006%, se forma 100% Sulfuros Tipo II.

#### **Efecto del Oxígeno elevado y bajo contenido de Aluminio:**

- Para asegurar la formación del Sulfuro Tipo II, es necesario trabajar con altos niveles de oxígeno soluble en el acero líquido, esto sumado a la reoxidación del acero líquido durante la colada a chorro abierto (Cuchara-Tundish-Molde) y el atrapamiento de gases ocasionado por la turbulencia en el molde, ocasionan que este exceso de oxígeno escape del acero formando poros en las palanquillas (debido a la pérdida de solubilidad del oxígeno durante la solidificación de la acero). Durante el proceso de laminación de estas palanquillas estos poros se alargan formando grietas longitudinales, comprometiendo la calidad del producto calibrado.
- Usualmente para eliminar el exceso de oxígeno en el acero, se inyecta alambre aluminio al molde para desoxidar. Debido a que la inyección de aluminio no permite la formación del Sulfuro Tipo I, no es posible eliminar este oxígeno por lo que en las palanquillas calidad DIN9SMn28 son sometidas a inspección visual y un posterior acondicionamiento de estos defectos a fin de eliminar los poros detectados.

- No se puede inyectar aluminio para desoxidar debido a que no se lograría formar el Sulfuro Tipo II.

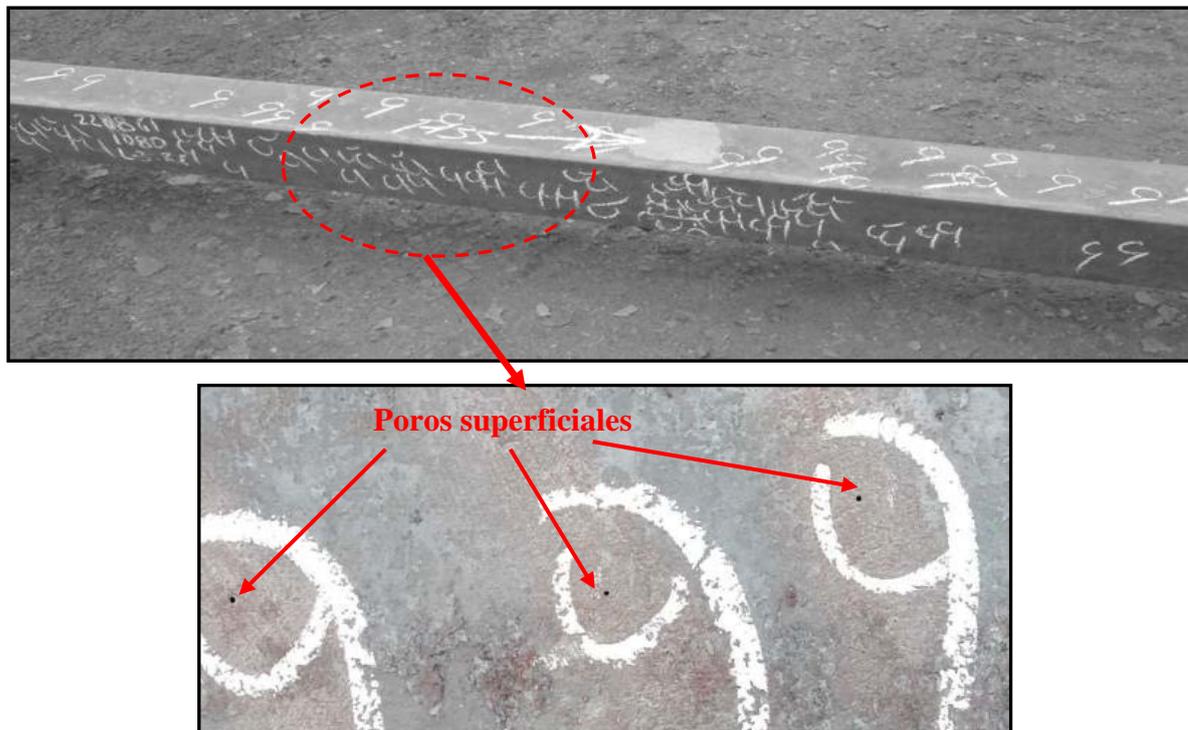


Figura N°3.10 Poros superficiales en palanquillas calidad DIN9SMn28.

### 3.2.2 Cambio de la forma de Sagrado del Horno Eléctrico.

Dentro del programa de ampliación de la Planta N°2, se pasó de un horno de arco eléctrico de piquera de 60tn, a un horno de arco eléctrico de colada excéntrica EBT de 80tn, con lo que se logró mejorar la calidad del acero líquido al minimizar la posibilidad de que la escoria formada en el horno eléctrico pase a la cuchara.

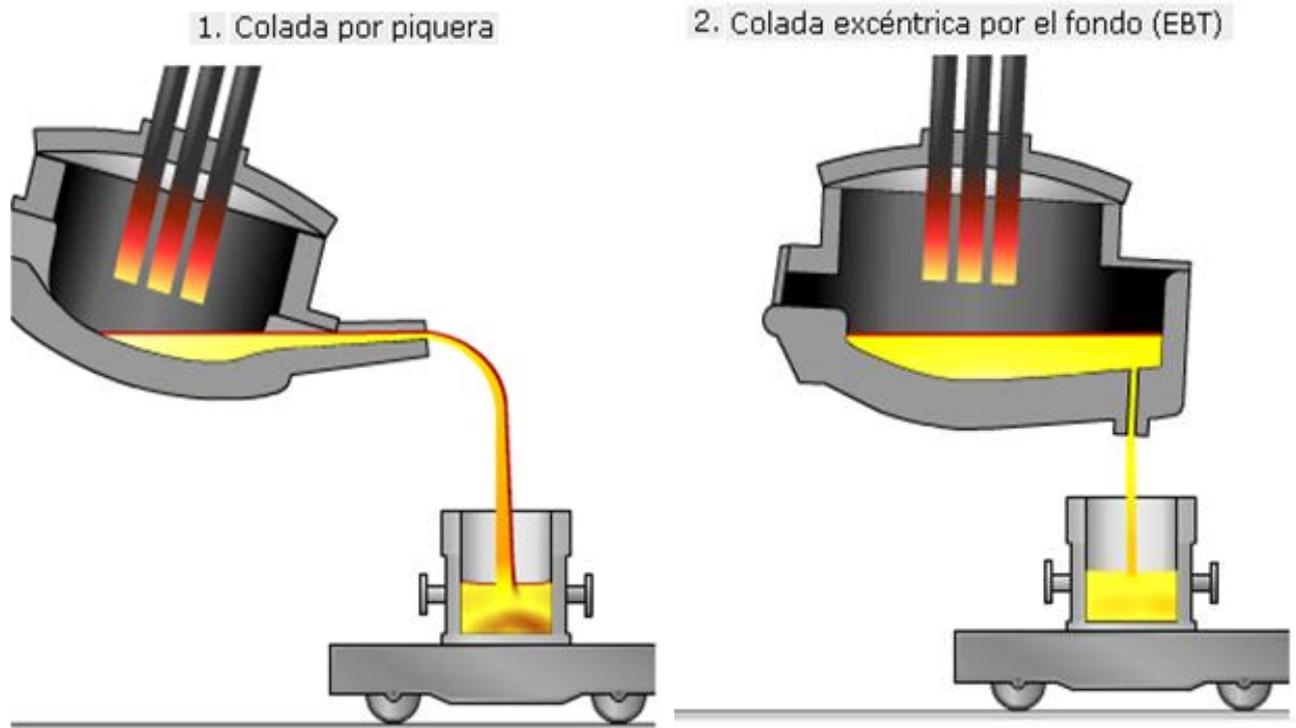


Figura N°3.11 Cambio de tipo de colada (sangrado) en horno de arco eléctrico.

En la figura N°3.11 Se observa la diferencia en el sangrado entre ambos hornos eléctricos, en el de colada por piqueta siempre logra pasar una parte de escoria a la cuchara, en el caso del horno de colada excéntrica este efecto es mínimo o nulo, ya que en todas las coladas se deja unas 20 a 25tn de acero junto con la escoria a fin de evitar el pase de escoria y aprovechar en calentar la carga metálica entrante.

### 3.2.3 Mejora en la Colada Continua.

Para obtener un acero limpio se debe minimizar la formación de macroinclusiones en el acero (óxido de aluminio, silicio y hierro), el acero era calmado al aluminio y silicio en el horno cuchara y en el molde se adicionaba

alambre de aluminio para desoxidar y evitar la formación de macroinclusiones duras las cuales desgastan el filo de la herramienta de corte durante el mecanizado, estas macroinclusiones al no ser plásticas se rompen durante la deformación en frío, creando vacios que son iniciadores de agrietamiento.

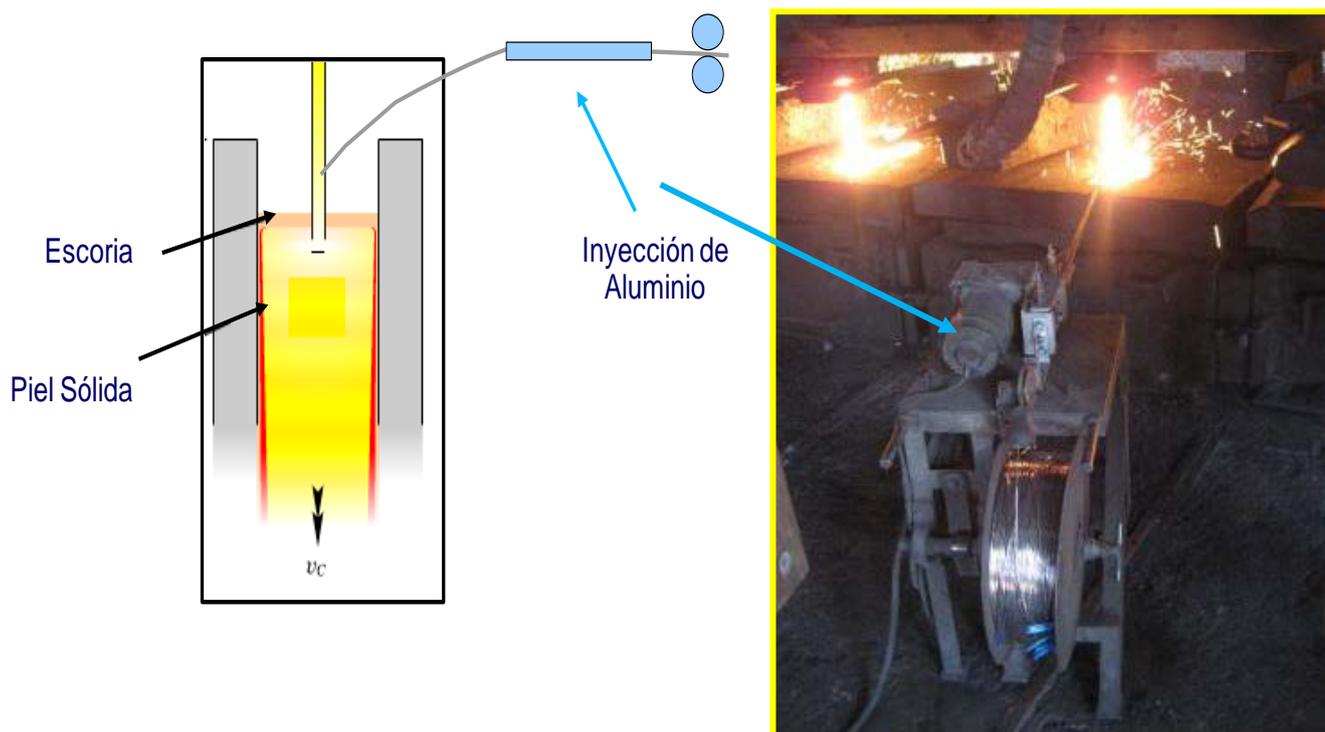


Figura N°3.12 Sistema de Inyección de Alambre de aluminio  $\varnothing$  2mm al molde.

Pero como se ha visto anteriormente en las pruebas, el desoxidar con Aluminio favorece la aparición de del Sulfuro tipo II, ya que a la vez este aluminio reduce los ppm de oxígeno en el acero líquido. Al no desoxidar se generan macroinclusiones por el oxígeno que se atrapa durante la colada a chorro abierto.

**La implementación del uso de Buza sumergida y Polvo Colador:** Consiste en el uso de tubo cerámico para el paso del acero líquido entre la cuchara -tundish – molde, este tubo va sumergido en el acero líquido en el tundish y en el molde, se emplea una asta tapón, para regular el flujo de acero entre el tundish y el molde. Emplean polvo colador en ves aceite como lubricante en el molde.

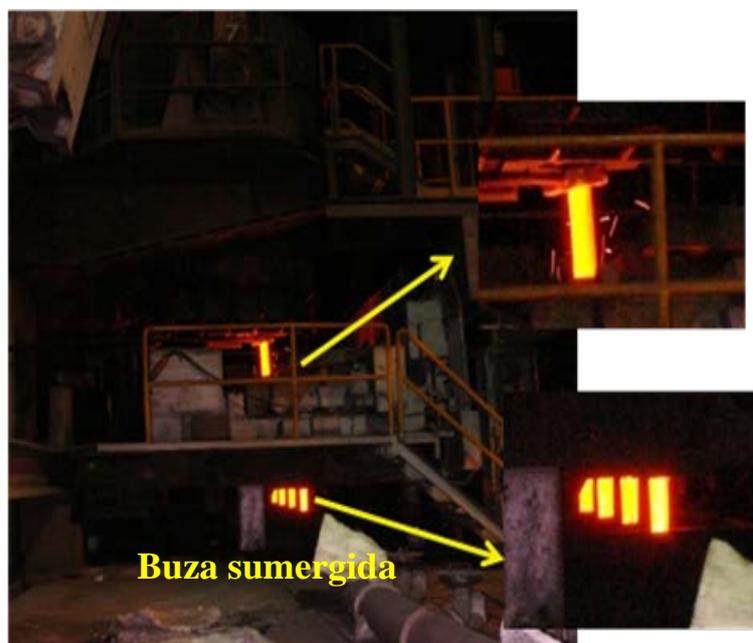


Figura N°3.13. Colada a chorro abierto (izquierda) y con buza sumergida (derecha).

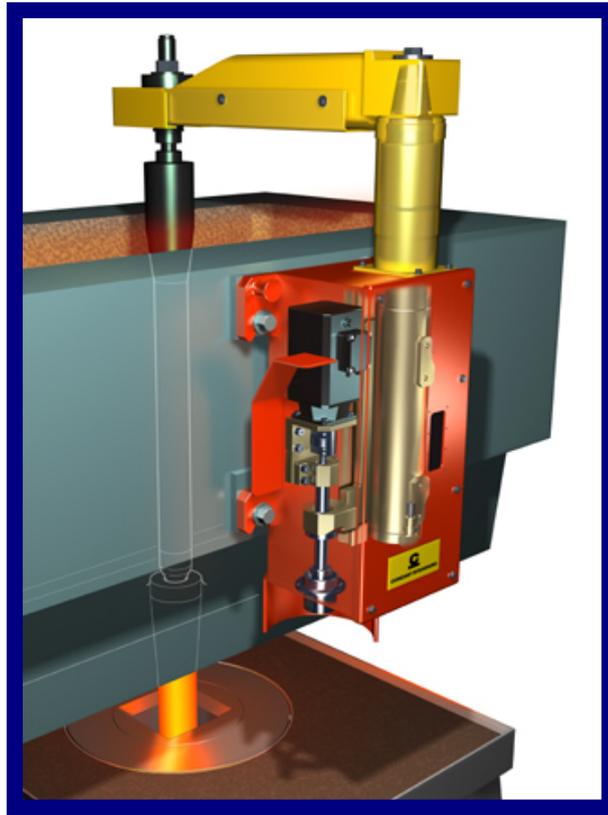


Figura N°3.14 Tapón móvil, para regular el caudal de colado sobre el molde.

### **Resultados de la implementación.**

- Con el uso de Buza Sumergida y Polvo Colador se ha disminuido aproximadamente el 95% de los poros superficiales que se presentaban cuando se colaba a chorro abierto. Se observa que las Marcas de oscilación son ligeramente más pronunciadas que en las coladas a chorro abierto, por efecto del polvo colador.

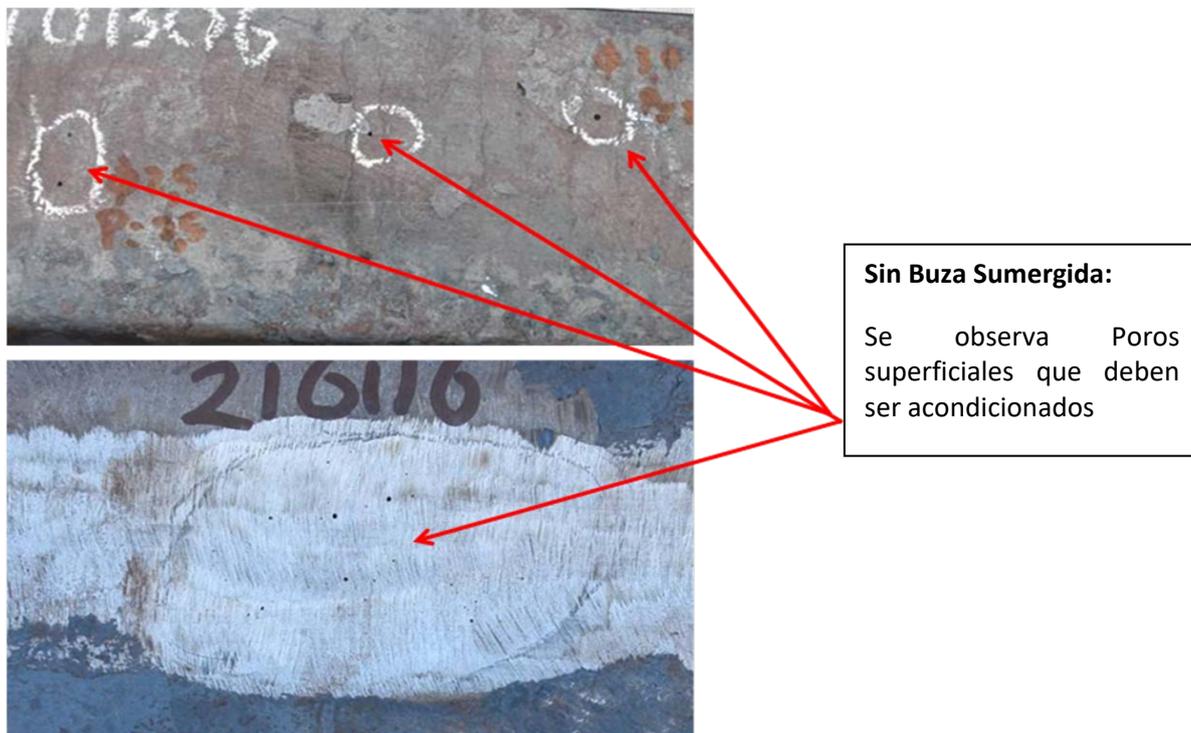


Figura N°3.15 Palanquilla colada a chorro abierto.

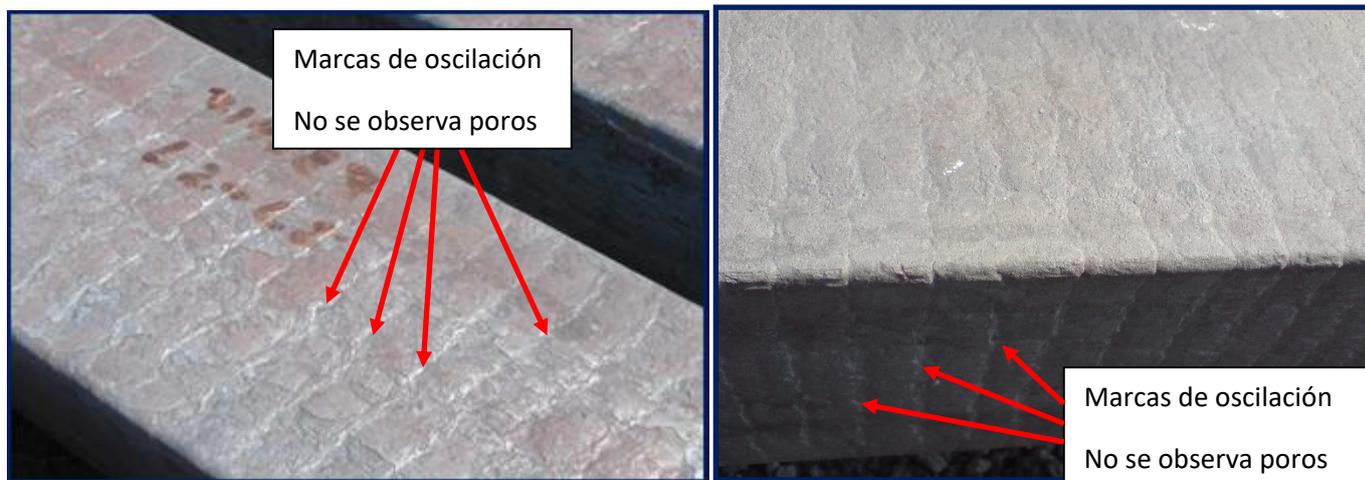


Figura N°3.16 Palanquillas coladas con buza sumergida y polvo colador.

- Empleando la buza sumergida se ha minimiza la formación de macroinclusiones, logrando obtener un acero mucho más limpio. Para las palanquillas coladas a chorro abierto se ha obtenido un promedio de 32.5 Macroinclusiones/dm<sup>2</sup> y empleando buza sumergida y polvo colador se ha obtenido 1.58 macroinclusiones/dm<sup>2</sup>.

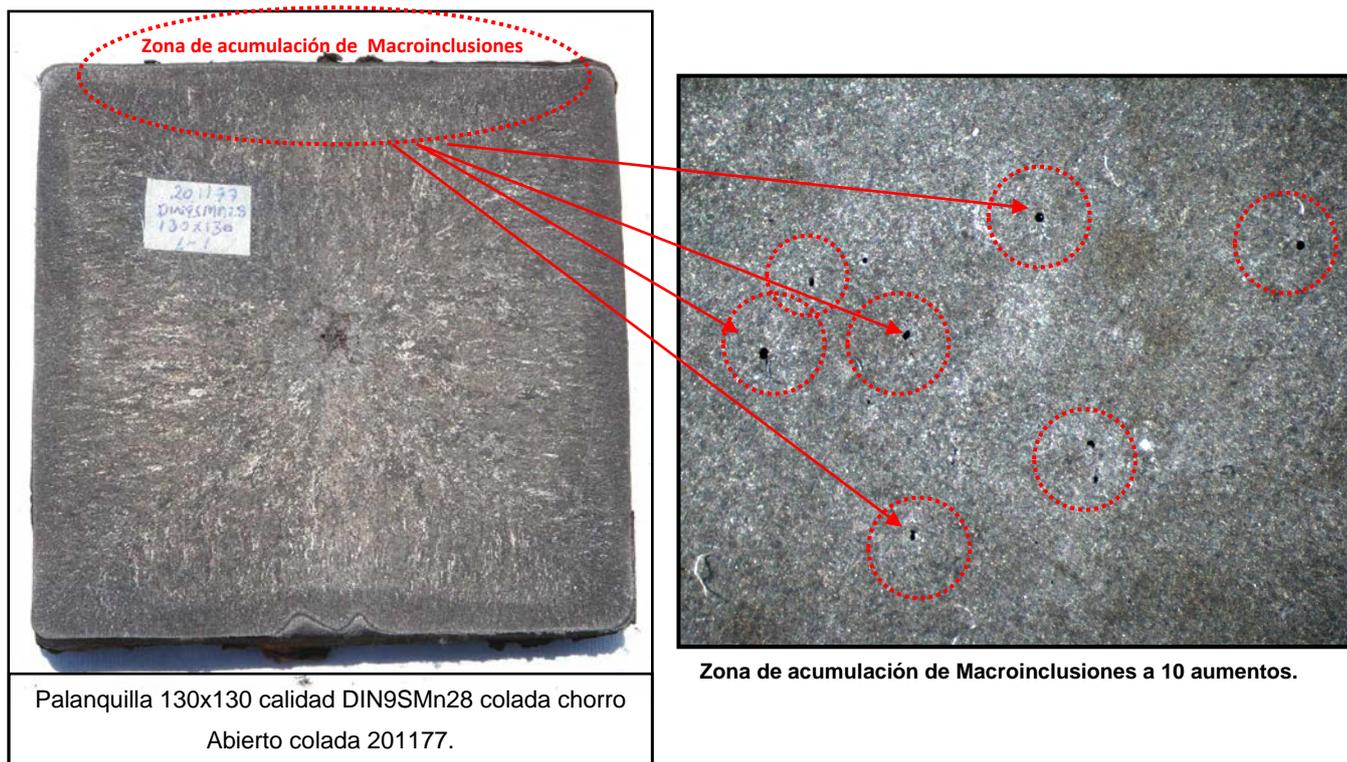


Figura N°3.17 Macroinclusiones en palanquilla colada a **chorro abierto**.

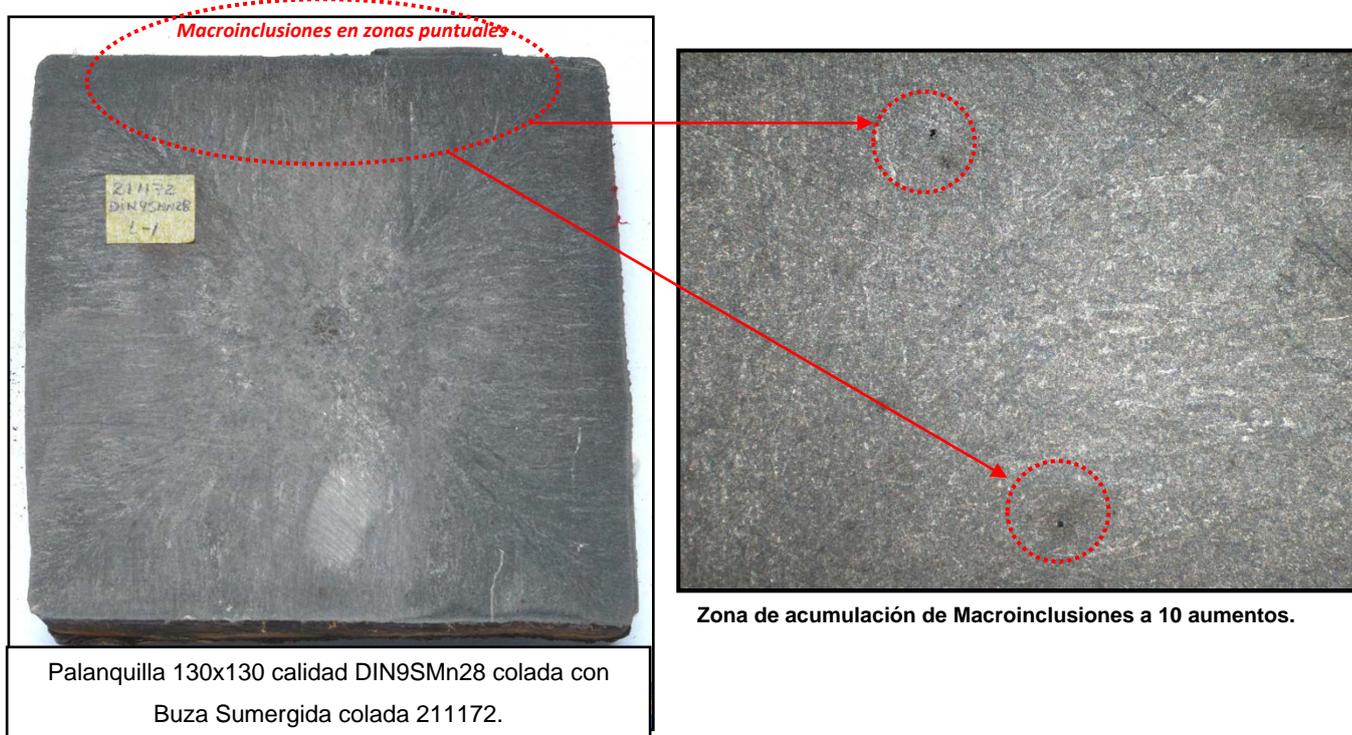


Figura N°3.18 Macroinclusiones en palanquilla colada con **buza sumergida y polvo colador**.

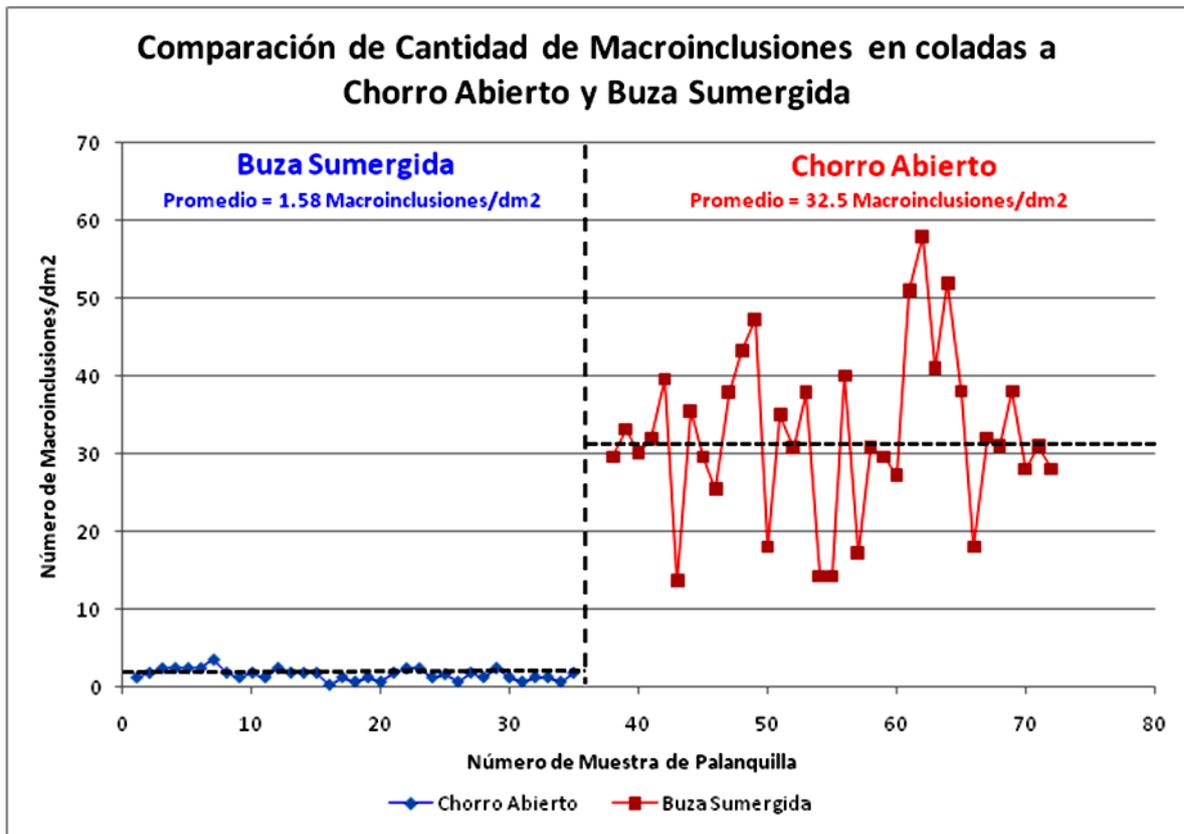


Figura N°3.19 Comparación de Macroinclusiones en palanquillas coladas con buza sumergida y a Chorro Abierto.

- El uso del Asta tapón, permite regular el flujo de acero que pasa del tundish al molde permitiendo controlar el menisco de acero que se forma en el molde, a fin de minimizar la turbulencia en el molde.
- El uso de polvo colador en vez de aceite, minimiza la generación de gases orgánicos o vapores por humedad, reduciendo la posibilidad de generación de poros superficiales.
- El polvo colador también protege la reoxidación del menisco de acero en el molde, es decir colabora con la limpieza de inclusiones.

- El polvo colador ocupa el gape de aire molde-acero haciendo una extracción de calor más uniforme.
- El sistema Stopper-Buza sumergida dura máximo 4 coladas en DIN 9SMn28 y 12 coladas calidad SAE 1018 - SAE 1080 – SAE 1045 debido al desgaste refractario.
- Si se pierde una línea no se puede recuperar hasta terminar la secuencia.
- El costo de acondicionamiento de palanquillas coladas con buza sumergida y polvo colador se han reducido en un 70% del costo cuando se colaba a chorro abierto.

### **3.3 Optimización y mejoras en la Planta de Laminación.**

#### **3.3.1 Implementación del Ensayo de Partículas Magnéticas:**

El ensayo de partículas magnéticas es una técnica no destructivo, que mediante la aplicación de campos magnéticos a materiales ferromagnéticos, permite detectar discontinuidades (defectos) superficiales o subsuperficiales, en los puntos donde estos campos son interrumpidos (campos de Fuga).

Este ensayo es empleado para la detección de discontinuidades superficiales y sub superficiales en la muestras de barras laminadas. Debido a que en el proceso de laminación la palanquilla es reducida de sección en cada pasada, las

imperfecciones provenientes de la palanquilla o proceso de laminación, se deforman en el sentido de la laminación, ocasionando discontinuidades longitudinales en las barras laminadas.

Debido a esta morfología típica para las discontinuidades en los productos laminados, En el ensayo se busca generar un campo magnético circular en las barras, de modo que las líneas de campo corten de 45° a 90° con las discontinuidades de la muestra. Este campo magnético es generado debido al paso de corriente eléctrica alterna (Rectificada Media onda), las muestras son ubicadas en el equipo de ensayo como se muestra en las Figura N°3.20 y 3.21.

En el anexo 4, se muestra el equipo de inspección para la línea de laminación Mag Kit de Magnaflux P -70 y sus partes.

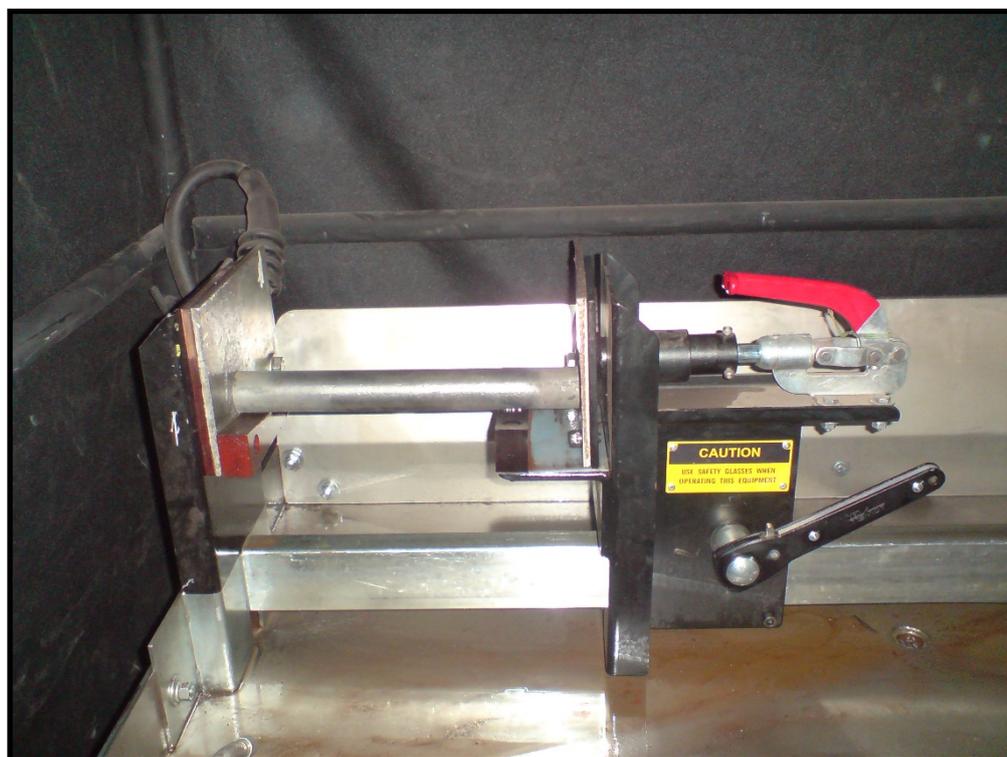


Figura N°3.20 Magnetización circular por contacto directo. Muestra patrón de barra laminada.



Figura N°3.21 Aplicación de partículas magnéticas fluorescentes húmedas, método continuo y con luz ultravioleta.

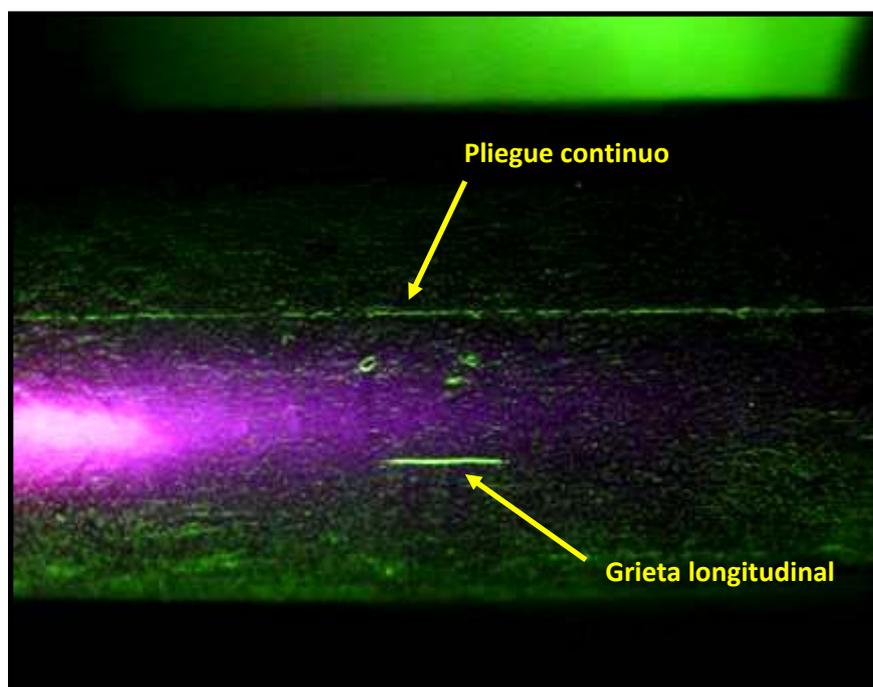


Figura N°3.22 En el ensayo de partículas magnéticas a patrón visual.

En la figura N°3.22, se observa el ensayo de partículas magnéticas a muestra patrón, se observa un defecto continuo tipo pliegue (0.10 mm de profundidad) a lo largo de la muestra y un defecto longitudinal de 2cm tipo grieta (0.37mm de profundidad), ensayado con corriente alterna rectificada media onda, escala de corriente N°5, y tiempo de magnetización 10 segundos.

A continuación se detalla los principales defectos detectados en los ensayos de partículas magnéticas a barras laminadas calidad DIN9SMn28:

**PLIEGUES:** Son solapes oxidados en la superficie del producto en la dirección de la laminación, pueden ser puntuales o continuos y con penetración no radial.

**Origen:** Proceso de Laminación o Palanquilla.

**Causas:** Sobrellenado en el canal precabador o anteriores a esta, originando un exceso de material(reventado), el cual es plegado en la siguiente pasada, dando forma a un pliegue continuo o intermitente, cuando el producto lleva una gran reducción después de producido el Pliegue, suele presentarse acompañado de exfoliaciones alineadas al pliegue. También puede ser formado por defectos superficial de la palanquilla, usualmente pliegues de corta longitud.

**Efectos:** Incrustaciones metálicas en las hileras de calibrado y defectos con profundidades fuera de norma, los cuales podrían originar la falla del producto terminado.

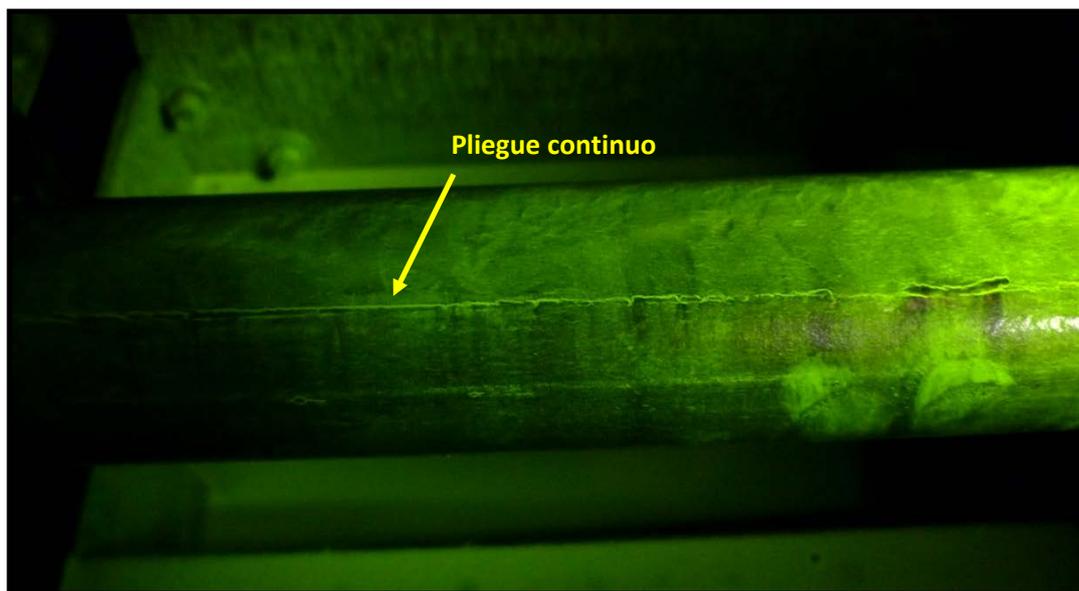


Figura N°3.23 Pliegue continuo detectado por ensayo de partículas magnéticas.

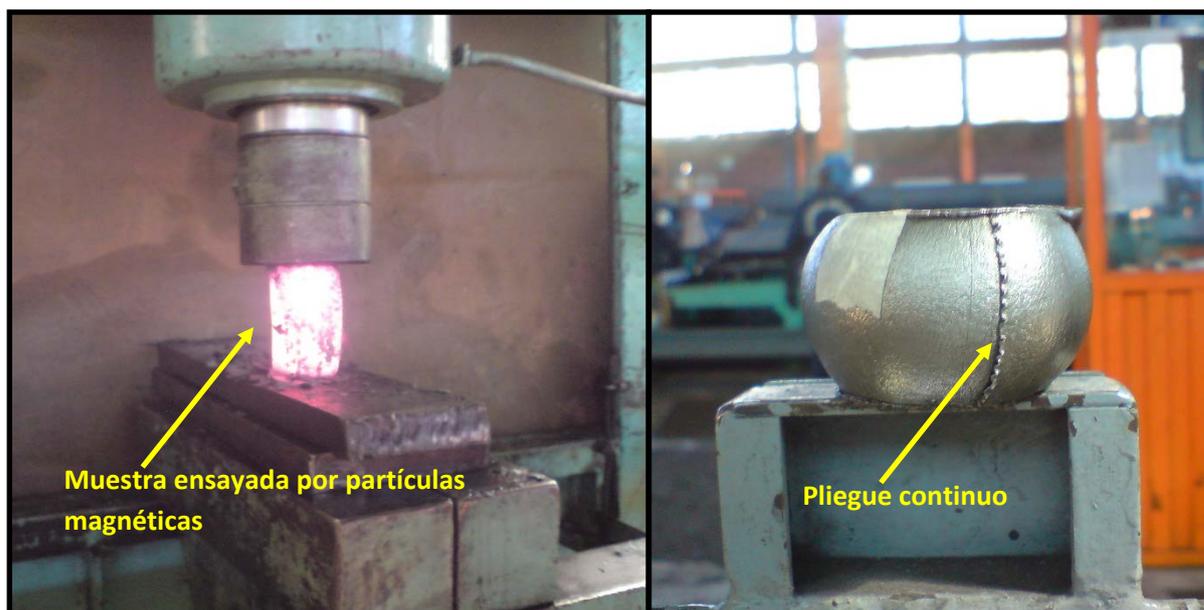


Figura N°3.24 Ensayo de Recalque en caliente. Magnifica el defecto y comprueba la presencia del pliegue, detectado por ensayo de partículas magnéticas



Figura N°3.25 Pliegue continuo detectado por ensayo de partículas magnéticas.  
Visualmente no fue detectado.

**EXFOLIACIÓN:** Son láminas metálicas relativamente delgadas, en forma de escamas incompletamente adheridas a la superficie a la superficie del producto.

**Origen:** Proceso de Laminación, Proceso Acería.

**Causas:** Daños mecánicos en la palanquilla, doble piel, marcas de oscilación profundas, cuando son puntuales, si son exfoliaciones alineadas y consecutivas pueden provenir de un pliegue originado en las primeras pasadas.

**Efectos:** Incrustaciones metálicas en las hileras de calibrado y defectos con profundidades fuera de norma, los cuales podrían originar la falla del producto terminado.

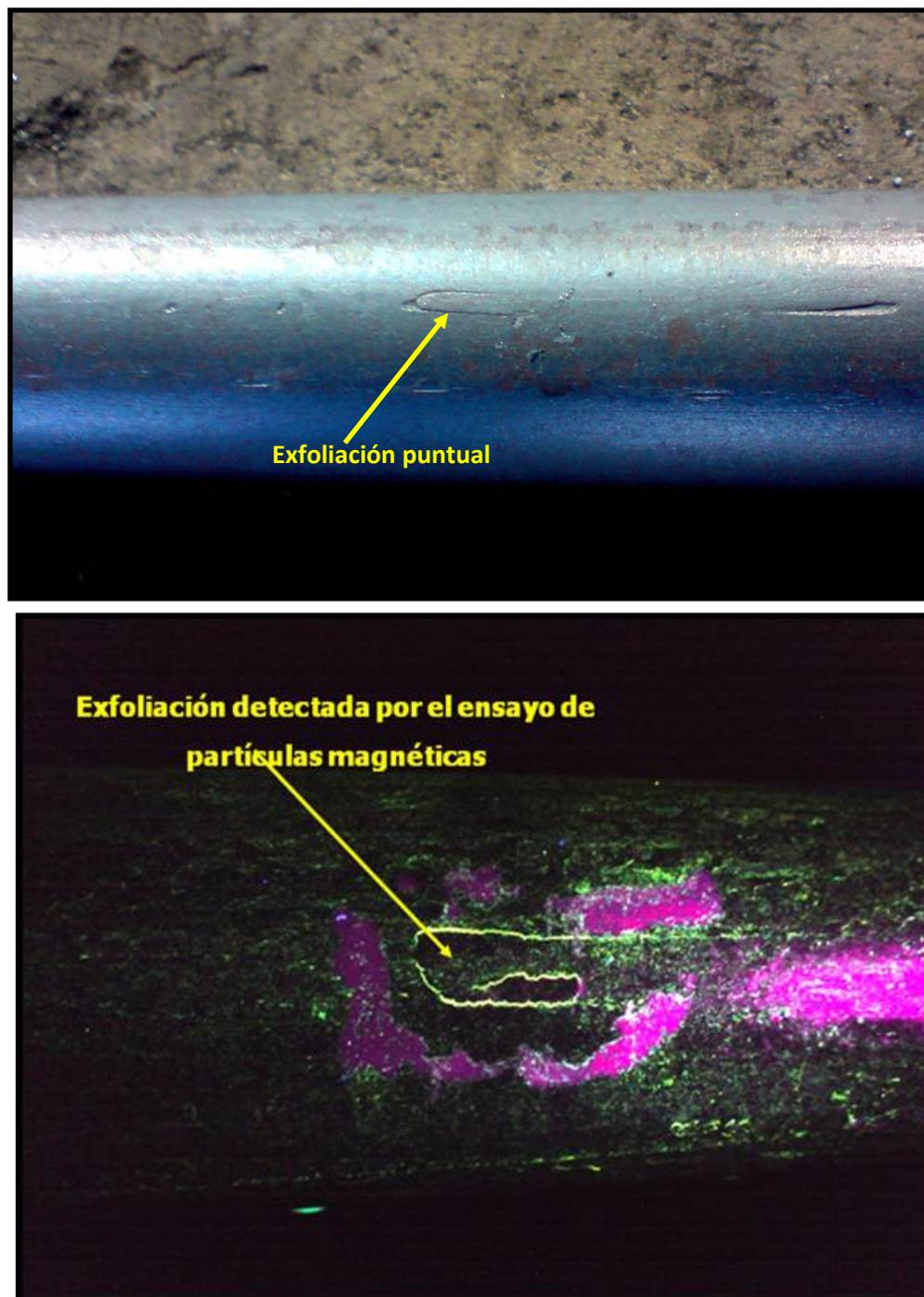


Figura N°3.27 Exfoliación puntual. Detectada en el ensayo de partículas magnéticas fluorescentes vía húmeda – luz ultravioleta.

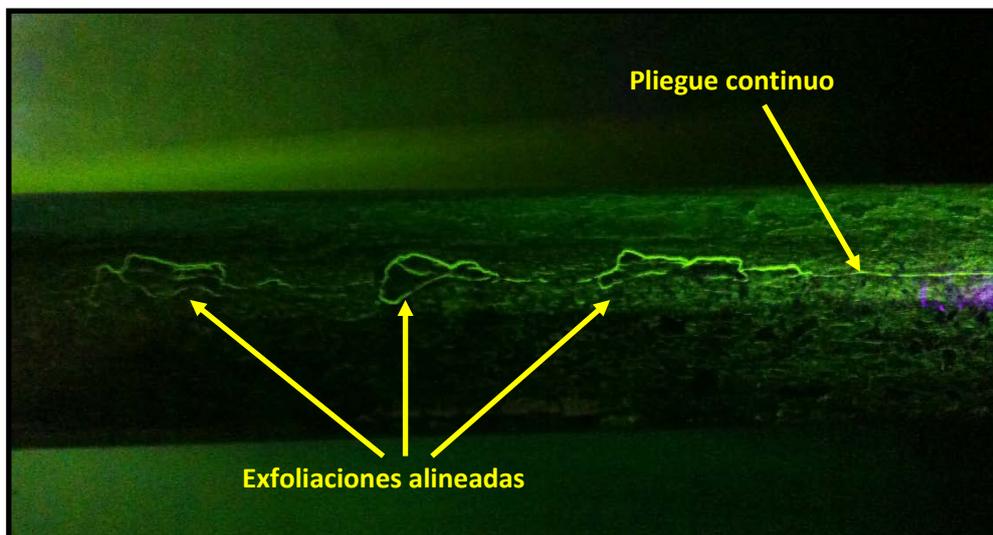


Figura N°3.28 Exfoliación alineadas – Pliegue continuo, detectados en el ensayo de partículas magnéticas fluorescentes vía húmeda – luz ultravioleta.

**GRIETA:** Discontinuidad superficial en el producto, de corta longitud y penetración usualmente radial, puede presentarse de forma aislada o en grupos orientados en el sentido de la laminación.

**Origen:** Proceso Acería.

**Causas:** Proveniente de poros superficiales o subsuperficiales presentes en la palanquilla.

**Efectos:** Ocasiona defectos con profundidades que exceden las especificaciones técnicas, actúan como concentradores de tensión en el producto terminado.

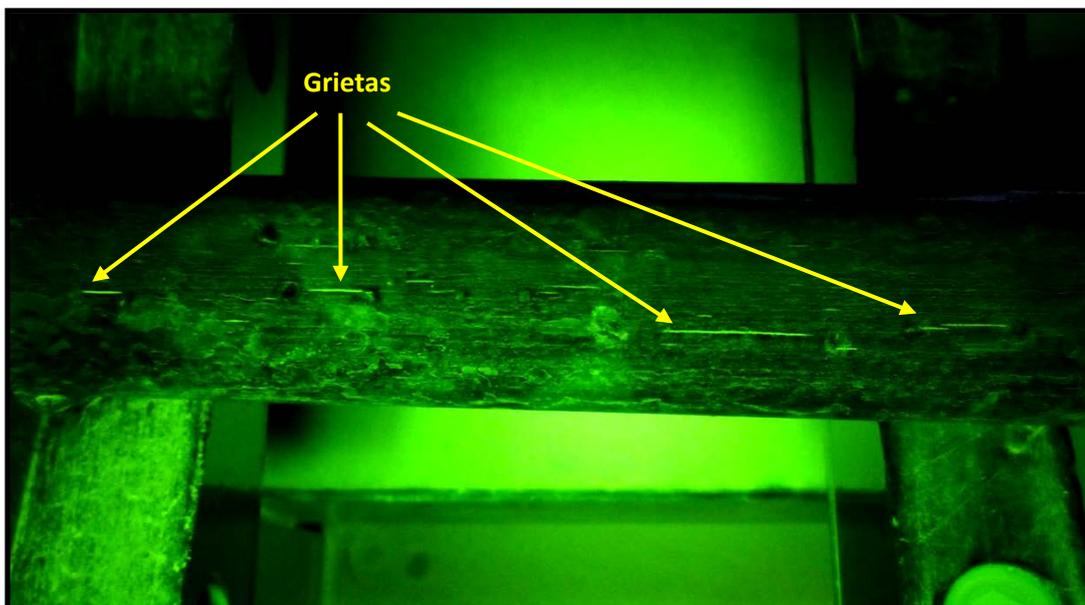


Figura N°3.29 Se observan grietas aleatorias longitudinales, detectados en el ensayo de partículas magnéticas fluorescentes vía húmeda – luz ultravioleta.

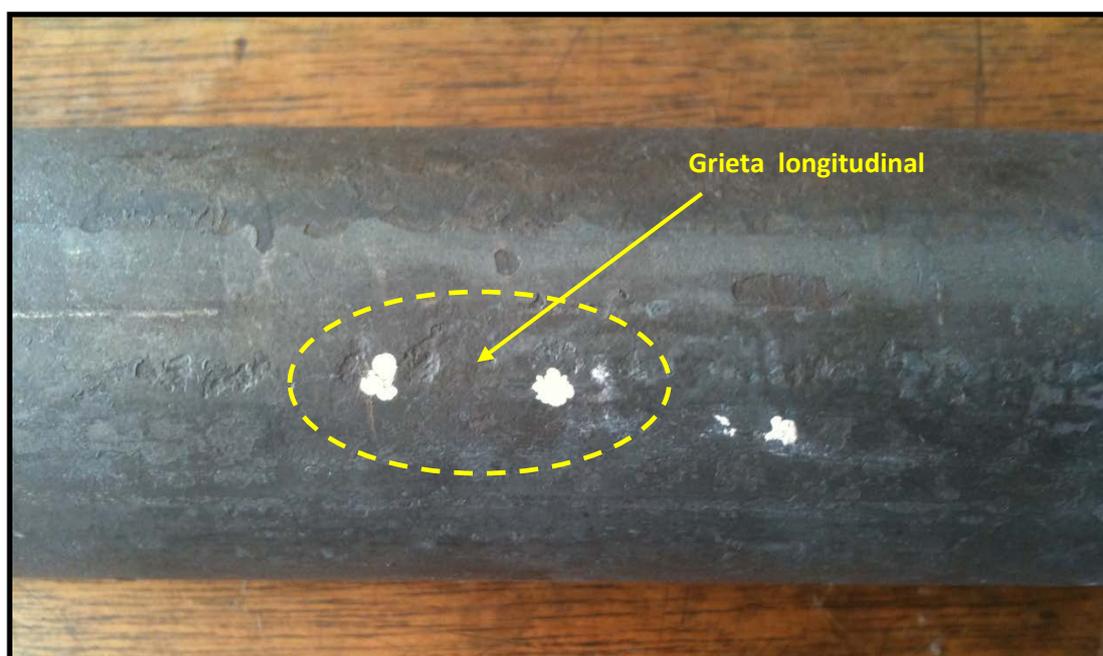


Figura N°3.30 Grieta longitudinal detectada por ensayo de partículas magnéticas, no se logra detectar la grieta visualmente a luz del día.

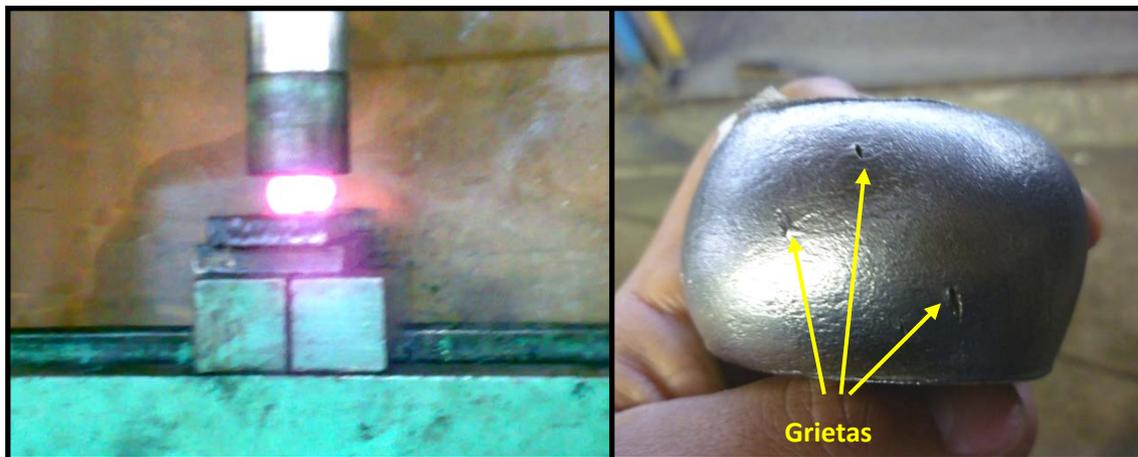


Figura N°3.31 Grietas longitudinales magnificadas en el ensayo de recalque.

### **Conclusiones de la implementación de Ensayo de Partículas Magnéticas**

- La implementación del ensayo de partículas magnéticas ha permitido identificar en la línea de producción los defectos presentes en el producto laminado, a fin de tomar las acciones correctivas del caso y evitar generar producto que no cumpla con los requisitos especificados en las fichas técnicas.
- Se ha reducido el tiempo de respuesta para poder tomar acciones correctivas en tren de laminación ante la presencia de pliegues continuos, de 2 a 5 minutos a comparación de 10 a 15 min empleando el ensayo de recalque.
- Con la implementación de buza sumergida y polvo colador, se ha observado en el ensayo de partículas magnéticas, la reducción de la

cantidad de grietas y exfoliaciones en las barras laminadas para calibrado en aproximadamente el 90% de cuando se colaba a chorro abierto.

### **3.4 Optimización y mejoras en la Planta de Calibrado:**

#### **3.4.1 Implementación de Ensayos al producto Calibrado.**

Con el incremento de las exportaciones, se vio la necesidad de cumplir con los requisitos especificados por nuestros clientes y sus normas, entre ellos se implementaron actividades de control de la calidad para el producto terminado donde se realizó los siguientes controles:

**Verificación de la calidad superficial del producto terminado:** se realiza por muestreo a fin de detectar posibles imperfecciones de las barras provenientes de la materia prima o proceso de calibrado, determinar su incidencia en el producto calibrado y retroalimentar a las plantas de Laminación y Acería para que tomen las acciones pertinentes.

**El control dimensional del producto terminado:** se implementó un registro para control dimensional por paquete a fin de poder certificar las dimensiones obtenidas de cada paquete fabricado y mantener una trazabilidad de los productos fabricados.

**Implementación de ensayos Mecánicos, químicos y Metalográficos:** Se implementó el muestreo de barras por número de colada para el ensayo de tracción (fluencia, tracción y alargamiento) y análisis químico, ensayo de dureza

y ensayo metalográfico (Tipo de sulfuro, nivel inclusionario, profundidad máxima de defectos), se realizó inicialmente por paquete hasta estandarizar, actualmente se realiza el muestreo solo por colada.

A continuación se muestra un ejemplo de los resultados de las propiedades mecánicas, composición química y características internas del acero, que son empleadas para la certificación de la calidad del producto calibrado.

DIMENSION NOMINAL	N° DE COLADA	COMPOSICION QUIMICA (*)										LIMITE DE FLUENCIA kg/mm <sup>2</sup>	RESIST. TRACCION kg/mm <sup>2</sup>	ALARGAM. EN 200 mm %
		C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	Cu (%)	Sn (%)			
3/8"	218757	0.06	1.28	0.03	0.07	0.32	0.02	0.02	0.00	0.04	0.009	63.2	63.7	4.0
	218758	0.06	1.26	0.03	0.07	0.32	0.03	0.03	0.01	0.07	0.012	63.2	63.4	4.0
1/2"	226533	0.07	1.21	0.04	0.07	0.30	0.04	0.03	0.01	0.06	0.023	57.8	58.6	9.0
1"	222451	0.07	1.25	0.02	0.07	0.30	0.03	0.03	0.00	0.06	0.012	57.4	58.5	9.0
1 1/8"	220411	0.06	1.26	0.01	0.07	0.30	0.04	0.03	0.00	0.06	0.019	56.3	56.7	7.5
1 1/4"	222290	0.07	1.27	0.03	0.07	0.30	0.03	0.03	0.00	0.07	0.018	53.5	54.8	7.0
	222503	0.07	1.28	0.01	0.07	0.31	0.03	0.02	0.00	0.05	0.012	55.2	56.3	9.5
1 1/2"	218763	0.07	1.26	0.02	0.07	0.31	0.03	0.03	0.01	0.07	0.018	50.4	53.7	20.1 (**)

(\*) Análisis en la Cuchara. (\*\*) Probeta mecanizada según ASTM A370 Table A1.1; Alargamiento en 2".

Figura N°3.32 Análisis Químicos y Ensayos Mecánicos, a Barras calibradas DIN 9SMn28.

DIMENSION NOMINAL	N° DE COLADA	TIPO DE SULFUROS (en Palanquilla)	NIVEL DE INCLUSIONES	DEFECTOS SUPERFIC. ( <sup>1</sup> ) mm	INDICE DE MAQUINABILIDAD ( <sup>2</sup> )	DUREZA (HRb)
3/8"	218757	TIPO I	1.0	0.04	135	92
	218758	TIPO I	1.0	s/d	135	92
1/2"	226533	TIPO I	1.0	s/d	135	96
1"	222451	TIPO I	1.0	s/d	135	91
1 1/8"	220411	TIPO I	1.0	0.03	135	86
1 1/4"	222290	TIPO I	1.0	s/d	135	90
	222503	TIPO I	1.0	0.05	135	86
1 1/2"	218763	TIPO I	1.0	0.03	135	86

( <sup>1</sup> ) Profundidad maxima ( <sup>2</sup> ) SAE 1212 : 100%. s/d = Sin defecto visible

Figura N°3.33 Análisis Metalográfico y Ensayo de Dureza, a Barras calibradas DIN 9SMn28.

### 3.4.2 Reducción de la deformación en frío.

Hasta octubre del 2008 los diámetros de barras calibradas calidad DIN 9SMn28 se fabricaban usualmente en diámetros menores a 1” en la planta de laminación de la sede N°2 (Pisco – Tren continuo), los mayores a 1” se fabricaban solo en la calidad SAE 1018 y SAE 1022, y eran laminados en la planta de laminación de la sede N°1 (Arequipa – Tren abierto), los cuales tenían un draft para reducción en frío de 1/8” (3.175mm) y el producto calibrado no presentaba problemas de calidad.

Debido a la demanda de medidas calibradas mayores a 1” en la calidad DIN 9SMn28, se programó la fabricación de algunas medidas laminadas en calidad DIN9SMn28 con los mismos diámetros y tolerancias que las calidades SAE 1018 y SAE 10122, obteniendo las siguientes reducciones:

Tabla N°12 Reducción en frío y draft.

Barra laminada		Barra calibrada		Draft (mm)	% Reducción
Pulg.	mm	Pulg.	mm		
1.1/4"	31.8	1.1/8"	28.6	3.18	19.0
1.3/8"	34.93	1.1/4"	31.8	3.18	17.4
1.1/2"	38.10	1.3/8"	34.9	3.18	16.0

Durante la calibración de las barras laminadas de Ø1.1/4” y Ø1.3/8” para diámetro calibrado de Ø1.1/8” y Ø1.1/4”, se detectó problemas de calidad

superficial, por presentar grietas escalonadas a lo largo de las barras, las cuales se generaban durante el proceso de calibrado, por lo que se realizó el análisis químico y metalográfico (análisis de microestructura) para determinar el origen del defecto el cual se muestra a continuación:

**Proceso de calibrado:**

- Las barras fueron decapadas en ácido clorhídrico (HCl al 13%), neutralizadas en lechada de cal, secadas y enviadas al banco de calibrado.
- En el banco de calibrado se trabajó con número de motor P+1, con una presión de 140 a 160 kg/cm<sup>2</sup>, con una reducción nominal de 19% y velocidad de calibrado de 16 a 20 metros/minuto.
- Luego se realizó el pulido – enderezado, posterior a ello se realiza la inspección final, a continuación se muestra la estadística de la inspección:

Tabla N°13 Calificación de Barras calibradas Ø1.1/4” calidad DIN9SMn28.

	2008	2009			
Calificación (t)	Noviembre (t)	Febrero (t)	Marzo (t)	Total (t)	%
<b>Conforme</b>	7.320	11.924	8.076	27.3	86.6
<b>No Conforme</b>	<b>0.700</b>	<b>1.902</b>	<b>1.620</b>	<b>4.2</b>	<b>13.4</b>
<b>Total</b>	<b>8.022</b>	<b>13.83</b>	<b>9.696</b>	<b>31.5</b>	<b>100</b>

- El 13.4% (4.2 toneladas) de este producto presentó defectos tipo grietas escalonada generalmente a lo largo de toda la barra calibrada.

- En función de los diámetros de la materia prima y producto calibrado, se calculó la reducción real de este producto, la cual varía de **20.1% a 21.2%**.
- También se ha presentado estos defectos en barras calibradas de 1. ¼” calidad DIN9SMn28 donde la reducción nominal es 17.4%, siendo la reducción real **18.1 a 18.9%**.

**Análisis Químico muestras:** Se analizó 03 muestras de barras calibradas de Ø1.1/8” calidad DIN9SMn28, una muestra por colada.

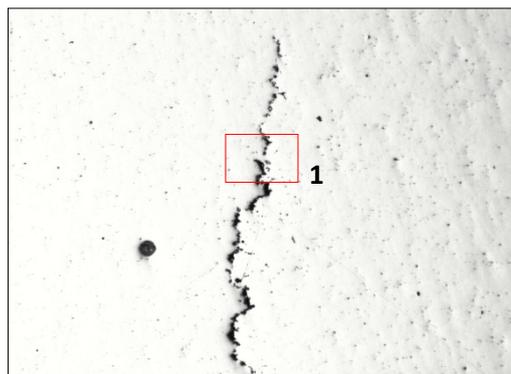
Tabla N°14 Análisis químico de comprobación.

DIMENSION NOMINAL	CALIDAD	N° DE COLADA	COMPOSICION QUIMICA (*)									
			C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
REDO CALI 1. 1/8"	DIN 9SMn28	207768	0.07	1.37	0.03	0.067	0.303	0.03	0.03	0.01	0.06	0.019
REDO CALI 1. 1/8"	DIN 9SMn28	207765	0.09	1.27	0.03	0.064	0.313	0.04	0.04	0.01	0.08	0.024
REDO CALI 1. 1/8"	DIN9SMn28	207767	0.07	1.31	0.03	0.072	0.314	0.03	0.04	0.01	0.07	0.022

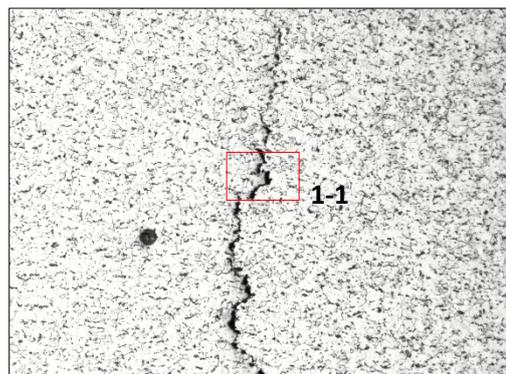
**Análisis Metalográfico de las Grietas:**



Figura N°3.34 Grieta escalonada en barra calibrada Ø1.1/8” calidad DIN9SMn28.



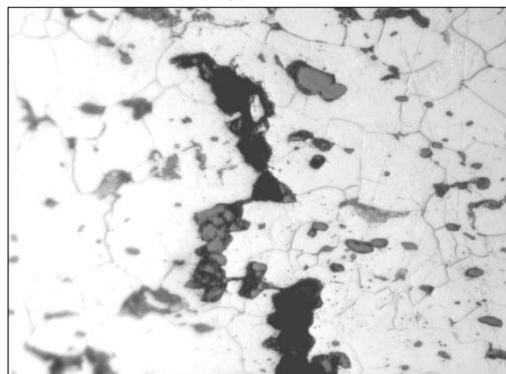
Vista A 50X sin ataque



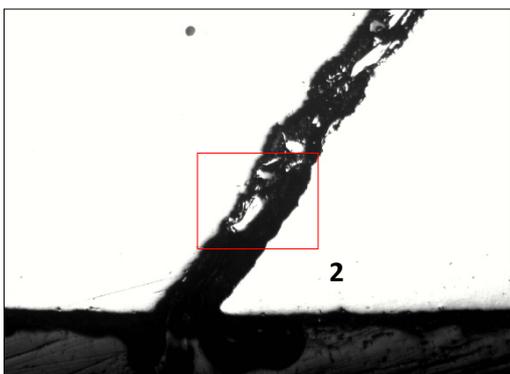
Vista A 50X ataque nital



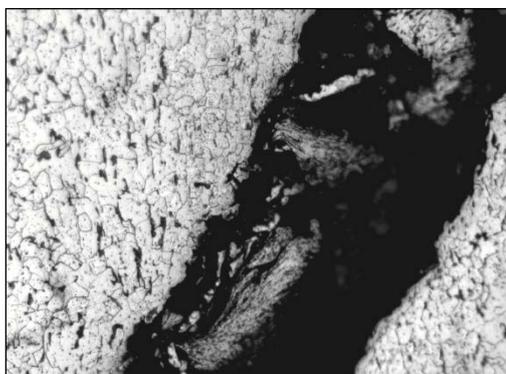
Vista 1 500X sin ataque



Vista 1-1 500X ataque nital



Vista B 50X sin ataque



Vista 2 200X ataque nital

Figura N°3.35 Análisis metalográfico a muestra de calibre  $\varnothing 1.1/8''$  calidad DIN9SMn28.

### **Conclusiones del análisis Químico y Metalográfico:**

- Los resultados del análisis químico de comprobación a las muestras es conforme con los rangos especificados para la calidad DIN 9SMn28.

- Las muestras presentan típicas grietas transgranulares causadas por deformación en frío, cuando se excede la capacidad de deformación del material, la profundidad de los defectos varía de 11.5 a 12.4 mm.
- Durante el calibrado se acumularon tensiones internas que originaron la aparición de grietas internas que se propalaron hacia la superficie, donde la grieta cambia de dirección en un ángulo de 45° lo que muestra que los esfuerzos causantes de las fisuras cambiaron de esfuerzos de compresión a esfuerzos de tracción.

**Mejoras para prevenir la generación de grietas durante el calibrado:**

De acuerdo los análisis desarrollados, se determinó que el motivo de la generación de las grietas, era la excesiva reducción en frío, la cual excedía el límite de la capacidad máxima de deformación del acero DIN9SMn28, bajo las condiciones operativas ya estandarizadas para el proceso de calibrado.

Debido a ello en coordinación con la Planta de Laminación – Sede N°2 – Pisco, se desarrollo nuevos diámetros de barras laminadas, la finalidad de conseguir reducciones de 5 a 14% como máximo para los productos de secciones mayores a 1”,

Bajo estas condiciones de trabajo se tienen las siguientes reducciones:

Tabla N°13 Nueva tabla de Reducciones y Draft, para reducir el trabajo en frío durante el calibrado.

BARRA LAMINADA		BARRA CALIBRADA		REDUCCION	
Pulg	mm.	Pulg.	mm.	DRAFT	Sección %
1.1/16	26.98		25.00	1.98	14.1
1.1/16	26.98	1	25.40	1/16	11.4
1.3/16	30.16	1 1/8	28.58	1/16	10.2
1.1/4	31.75		30.00	1.75	10.7
1.5/16	33.33	1 1/4	31.75	1/16	9.3
1.7/16	36.51	1 3/8	34.92	1/16	8.5
1.9/16	39.68	1 1/2	38.10	1/16	7.8
1.11/16	44.45	1.5/8	41.28	1/16	13.8
1.13/16	46.04	1 3/4	44.45	1/16	6.8
1.15/16	50.80	1.7/8	47.62	1/16	12.1
2 1/16	52.38	2	50.80	1/16	5.9
2 5/16	58.73	2 1/4	57.15	1/16	5.3
2 9/16	65.08	2 1/2	63.50	1/16	4.8

Con estas nuevas reducciones hasta la fecha no se ha vuelto a presentar el problema de grietas escalonadas en las barras redondas calibradas calidad DIN9SMn28.

Adicionalmente al fabricar las barras laminadas mayores a 1" en la planta de laminación de la sede N°2 - Pisco, se ha mejorado el acabado superficial de las barras calibradas, ya que en la sede N°1 - Arequipa no se contaba con un adecuado equipo descascarillador, por lo cual parte de la cascarilla era laminada y dejaba marcas en bajo relieve en la palanquilla las cuales quedaban incluso en las barras laminadas (debido a la poca reducción palanquilla 100x100mm a producto laminado), a diferencia de la sede N°2, la cual cuenta con un equipo descascarillador moderno y de mayor presión, esto sumado a la reducción en caliente (de palanquilla laminado), esto permitió bajar la reducción en frío y mejorar producto calibrado.

## **CAPITULO IV**

### **COMENTARIOS**

- 4.1** Las implementaciones realizadas han permitido mejorar considerablemente la calidad superficial y aptitud al mecanizado de las barras calibradas calidad DIN9SMn28, lo que ha permitido su comercialización en mercados exigentes como el Brasileño, en el año 2010 se ha incrementado el tonelaje de producción de este acero en un 125% a comparación del lote fabricado en el 2008.
- 4.2** Actualmente en la industria nacional aún no está muy difundido el uso del acero DIN9SMn28, debido a que pocas empresas poseen equipos de modernos de mecanizado, por lo que usualmente las piezas o repuestos fabricadas a partir de esta clase de aceros son importados.
- 4.3** Se está proyectando realizar pruebas para la fabricación de aceros de corte libre calidad SAE 12L14, el cual es muy similar al acero DIN 9SMn28, pero tiene la ventaja de tener una mejor maquinabilidad y acabado superficial. Según norma SAE J1397 el índice de maquinabilidad del acero DIN9SMn28 es 135 y el de SAE 12L14 es 160.

- 4.4** Actualmente la implementación del uso de Buza sumergida y polvo colador, se viene aplicando a todas las calidades de aceros especiales (barras para calibrado, alambrones para trefilería y barras para extrusión en caliente).
- 4.5** Actualmente la inspección por ensayo de partículas magnéticas, se aplica por muestreo en la línea de producción de barras laminadas de calidades especiales (barras para calibrado, barras para pulido y barras para extrusión en caliente).

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES**

- 5.1 El uso de buza sumergida y polvo colador, ha permitido reducir el 95% de la cantidad de macroinclusiones y poros superficiales en las palanquillas, comparado con la colada a chorro abierto, reduciendo el 70% de los costo de acondicionamiento de las palanquillas.
  
- 5.2 El cambio del horno de arco eléctrico con sangrado por piquera a excéntrico (EBT), permite minimizar el paso de escoria al acero líquido en la cuchara, mejorando su limpieza, evitando la presencia de inclusiones duras que afecten el mecanizado de las barras calibradas fabricadas a partir de este acero.
  
- 5.3 El Sulfuro tipo I en las palanquillas, es formado en presencia de una alta actividad de oxígeno en el acero líquido (mayor a 30ppm) y bajo contenido de Aluminio (menor o igual a 0.001%). La solubilidad del Azufre disminuye cuando mayor es el contenido de oxígeno en el acero líquido, por lo que el Azufre que no está en

solución se combina con el Manganeso, formando las inclusiones de Sulfuro de Manganeso, que son la característica principal de este acero.

- 5.4** La calidad DIN9SMn28 presenta un 100% de Sulfuro de Manganeso Tipo I, lo cual ha permitido mejorar la maquinabilidad del acero, incrementando aproximadamente un 44% de velocidad de mecanizado a comparación de la calidad 1213 (Sulfuro Tipo II).
- 5.5** La implementación del ensayo de partículas magnéticas en la línea de laminación, ha permitido tener un mejor control y respuesta ante la presencia de defectos como pliegues, grietas y exfoliaciones.
- 5.6** Se ha estandarizado un draft sea 1/16" de pulgada (1.59mm) para diámetros calibrados mayores o igual a Ø1", con lo que se logró disminuir el porcentaje de reducción en frío y no se ha vuelto a presentar grietas escalonadas.
- 5.7** La implementación de los controles y ensayos realizados al producto calibrado, sumado a las mejoras del proceso en la acería y laminación con los requerimientos de calidad de mercados externos, c norma ABNT - NBR 8647 y DIN EN 10227.

## **CAPITULO VI**

### **RECOMENDACIONES**

- 6.1 En el futuro sería recomendable fabricar palanquillas de calidad DIN9SMn28 en sección 150x150mm, ya que a mayor sección la velocidad de enfriamiento en el molde será menor, esto permitirá incrementar el crecimiento de los Sulfuros de Manganeso, mejorando la aptitud al mecanizado del producto calibrado.
  
- 6.2 Para continuar con las mejoras en la fabricación de aceros limpios, se recomienda el uso de stirring electromagnético en los moldes de la colada continua. Este método permite una mejor homogenización del acero, minimizando la segregación de elementos como el manganeso y azufre, permitiendo tener una mejor distribución y tamaños de los Sulfuros en toda la sección de la palanquilla, también contribuye a minimizar la generación de defectos internos en la palanquilla.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**1. MONOGRAFÍAS SOBRE TECNOLOGÍA DEL ACERO PARTE I -  
ACERÍA ELÉCTRICA.**

José Luis Enríquez Berciano, Enrique Tremps Guerra, Susana de Élio de Bengy  
y Daniel Fernández Segovia.

Universidad Politécnica de Madrid, España - Noviembre 2009.

**2. MONOGRAFÍAS SOBRE TECNOLOGÍA DEL ACERO PARTE II -  
METALÚRGIA SECUNDARIA**

José Luis Enríquez Berciano y Enrique Tremps Guerra,

Universidad Politécnica de Madrid, España - Noviembre 2007.

**3. CURSO DE COLADA CONTINUA**

Instituto Argentino de Siderurgia

Buenos Aires, Argentina.- Abril – 2011.

**4. LIGTH MICROSCOPY OF CARBON STEELS**

Leonard E. Samuels

ASM International – Estados Unidos 1999

**5. CURSO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS NIVEL 1 Y 2,**

Licenciado Juan J. Mestre,

Instituto Argentino de Siderurgia – Buenos Aires Argentina.- 2011.

**6. CURSO TREFILACIÓN DE ALAMBRES FERROSOS Y NO FERROSOS**

Marcelo Valentini,

Metalurgia – Asistencia Técnica y Eventos, Argentina 2008

**7. 2001 SAE HANDBOOK – VOLUME 1- METALS, MATERIALS, FUELS, EMISSIONS, THREADS, FASTENERS, AND COMMON PARTS**

Society of Automotive Engineers,

Estados Unidos – 2001.

**8. DIN HANDBOOK 404, IRON AND STEEL QUALITY STANDARDS 4, MECHANICAL ENGINEERING AND TOOLMAKING**

DIN Deutsches Institut Fur Normung .

Berlin, Alemania – Enero 2006.

**GLOSARIO DE TERMINOS**

1. **ACEITE PRESERVATIVO:** Aceite antioxidante utilizado para conservar la calidad superficial de las barras calibradas. Elimina el agua, las huellas digitales y evita la oxidación.
2. **ACIDO CLORHIDRICO (HCl):** Acido fuerte obtenido por disolución del Cloruro de Hidrógeno en agua. Disuelve metales activos como el Hierro, con desprendimiento de gas hidrógeno. También disuelve los óxidos de hierro.
3. **CALIDAD:** Conjunto de propiedades y características de un producto o servicio que le confieren la aptitud de satisfacer necesidades explícitas o implícitas.
4. **COLADA:** Cantidad de acero producido en un ciclo de producción de la Acería. Tiene un número único.
5. **COLADA CONTINUA:** Es un proceso empleado para lograr la solidificación del acero de forma continua en sección determinada, teniendo como producto de este proceso palanquillas y tochos de secciones variables (cuadrados, redondos, perfiles, otros), los cuales son la materia prima para el proceso de laminación.
6. **DECAPADO QUIMICO:** Remoción de la capa de óxido de las barras ó rollos laminadas en caliente por acción del ácido clorhídrico.

- 7. DISLOCACIONES:** Son defectos de la red cristalina de una sola dimensión, es decir que solo afecta a una fila de puntos de la red de Bravais, el desplazamiento de estas dislocaciones en la red cristalina puede dar origen a la deformación plástica. La elección de este plano y la dirección de deslizamiento no es arbitraria y por lo tanto el grado de facilidad de deslizamiento vendrá determinado por las condiciones a las que está sometido el cristal y la estructura del mismo.
- 8. DRAFT:** Diferencia entre el diámetro de barra laminada con respecto al diámetro de la barra calibrada.
- 9. DIAGRAMA DE ELLINGHAM:** Son diagramas en los que se representa la Energía libre de Gibbs de formación de una serie de compuestos (óxidos, sulfuros, cloruros, etc.) en función de la temperatura. Son especialmente útiles para estudiar los procedimientos de obtención de metales y óxidos.
- 10. EMBUTICIÓN:** Operación de conformado de chapas planas de metal, mediante procesos mecánicos se da a una chapa delgada la forma hueca de una pieza mediante presión; se realiza con una prensa en la que se fija un punzón con la forma interior de la pieza que se quiere reproducir, y que presiona la chapa hasta darle la misma forma que el punzón o matriz.

- 11. ENCODER:** Un encoder puede de arquitectura es lineal o rotatoria. Ambos tipos detectan el movimiento mecánico y traducen la información (velocidad, posición, aceleración) a datos eléctricos útiles.
- 12. ENERGÍA LIBRE DE GIBBS:** En termodinámica, la energía libre de Gibbs o entropía libre es un potencial termodinámico, es decir, una función de estado extensiva con unidades de energía, que da la condición de equilibrio y de espontaneidad para una reacción química (a presión y temperatura constantes).
- **La condición de equilibrio es  $\Delta G = 0$**
  - **La condición de espontaneidad es  $\Delta G < 0$**
  - **El proceso no es espontáneo cuando:  $\Delta G > 0$**
- 13. HMI:** Interfaz Hombre Máquina, vasado en la automatización de los procesos se logra monitorear y controlar los procesos desde computadoras o paneles de control.
- 14. HOJALATA:** Es un producto laminado plano, constituido por acero (con un contenido en carbono entre 0,03% y 0,13%), recubierto por una capa de estaño, empleado para la fabricación de envases metálicos debido a que combina la resistencia mecánica y la capacidad de conformación del acero con la resistencia a la corrosión del estaño.

- 15. HORNO DE ARCO ELECTRICO EBT DANIELI:** Es un horno que emplea energía eléctrica para llevar a cabo la fusión de su carga (pasar de estado sólido a acero líquido), por medio de un arco eléctrico generado entre los electrodos de grafito y la carga metálica, donde el sangrado es realizado por un agujero excéntrico ubicado en la parte inferior del horno, EBT = Eccentric Bottom Tapping, Tiene una capacidad de 80tn, potencia aparente de 100MVA y potencia activa 77MW, Corriente Alterna 440V.
- 16. HORNO DE RECALENTAMIENTO DE LAMINACIÓN DANIELI:** Horno empleado para elevar la temperatura de las palanquilla hasta su temperatura de laminación, empleando como gas natural y aire en una proporción de 1:10 respectivamente, tiene 64 quemadores y tres zonas de calentamiento.
- 17. HORNO CUCHARA DANIELI:** Es un horno de arco eléctrico en el cual se realiza las operaciones de afino de la composición química, el acero líquido es calentado hasta su temperatura de colada. No hay sangrado en este horno, ya que la cuchara con el acero líquido del sangrado del Horno de Arco Eléctrico es montada en el Horno Cuchara y una vez culminado el afino, se evacua la cuchara a la torre de colada continua, las cucharas tienen una capacidad de 60tn de acero líquido.
- 18. HOT HEEL:** Acero líquido formado en el horno eléctrico con el fin de ayudar a calentar las cargas metálicas agregadas en las cestas y evitar el daño de los refractarios al soltar la carga metálica dentro del horno.

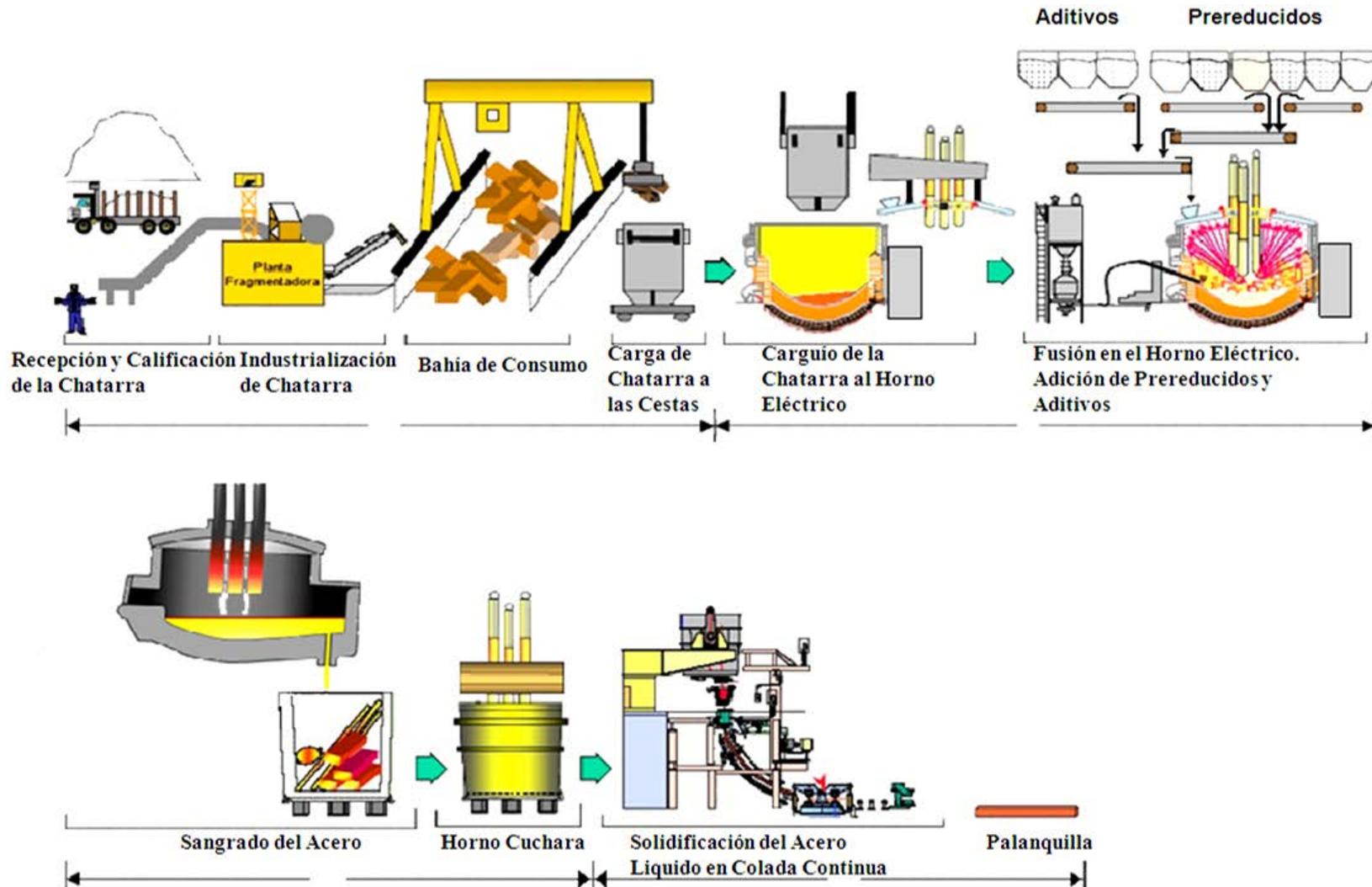
- 19. INHIBIDOR DE CORROSION:** Es un compuesto que disuelto en pequeñas proporciones en la solución de HCl; mediante la formación de un film sobre el metal, inhibe la reacción de disolución del hierro, después de la eliminación de las capas de óxido por decapado, retardando la contaminación de la solución con fierro.
- 20. MATERIA PRIMA:** Material constituido por el principal producto, el cual es procesado con el objeto de enriquecerlo o mejorarle sus características para un bien común (hierro esponja, briquetas, chatarra, barras lisas, etc.).
- 21. PELETIZADO:** Proceso de moldeado termoplástico en el que partículas finamente divididas de una ración se integran en un pellet compacto y de fácil manejo, el cual incluye condiciones específicas de humedad, temperatura y presión.
- 22. ROKOP:** Equipo de oxicorte programado para cortar palanquillas a una longitud específica, para ello emplea un encoder en los rodillos de evacuación en la zona de corte.
- 23. ROZAMIENTO:** Aparece en el contacto por movimiento entre dos materiales y aumenta mientras mayor es la presión entre ambos materiales.

24. **SANGRADO:** Proceso de descarga de acero líquido del horno eléctrico a la cuchara.
  
25. **STIRRING:** Actividad de agitación, realizada en los moldes o cucharas en la acería con el fin de homogenizar la composición química del acero líquido, evitar la formación de segregación y mejora la flotación de macroinclusiones.
  
26. **STROKE:** Es la amplitud de carrera que tiene el molde de la colada continua.

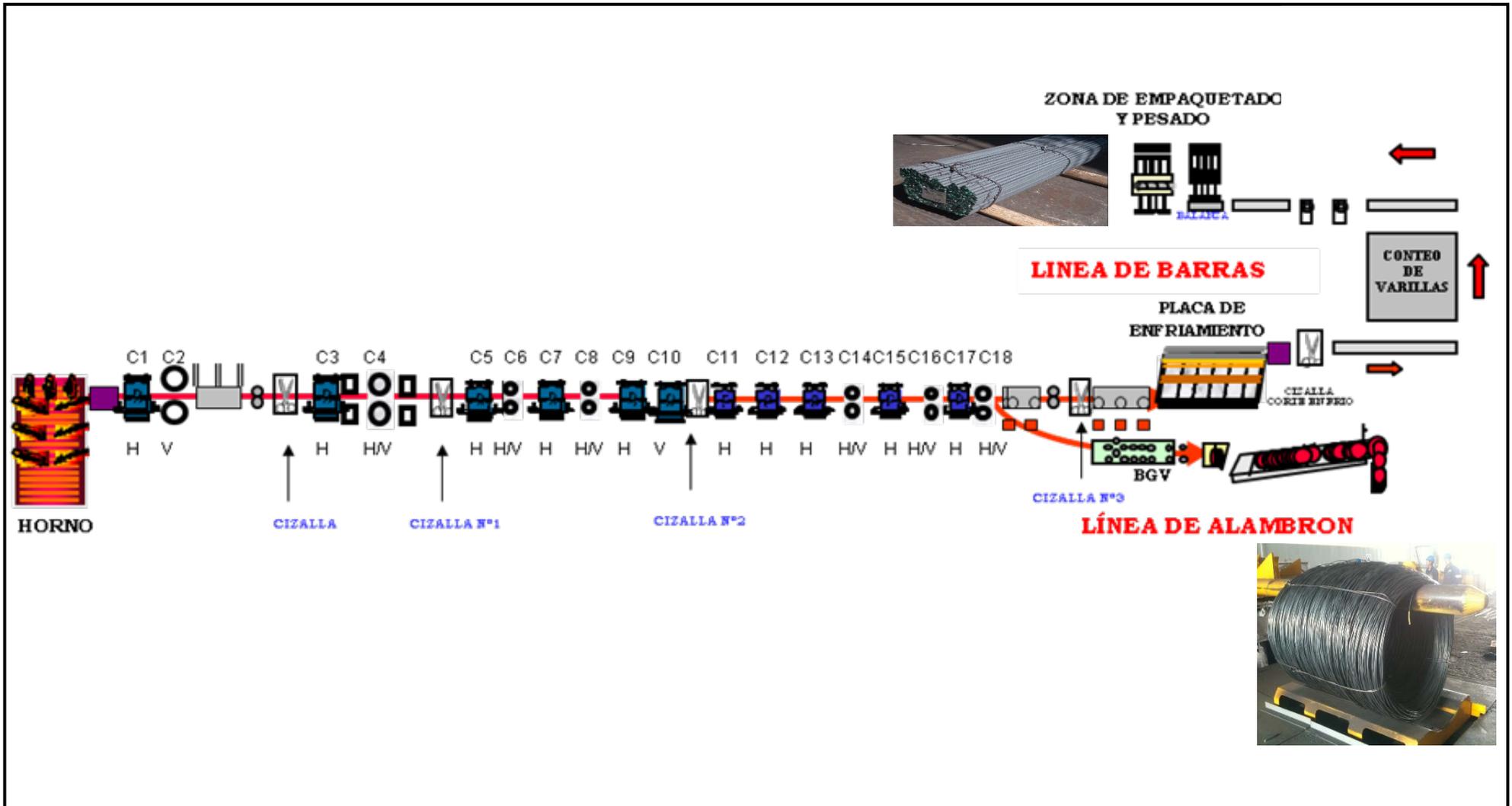
# ANEXOS

# ANEXO 1. Diagrama de Flujo de Plantas.

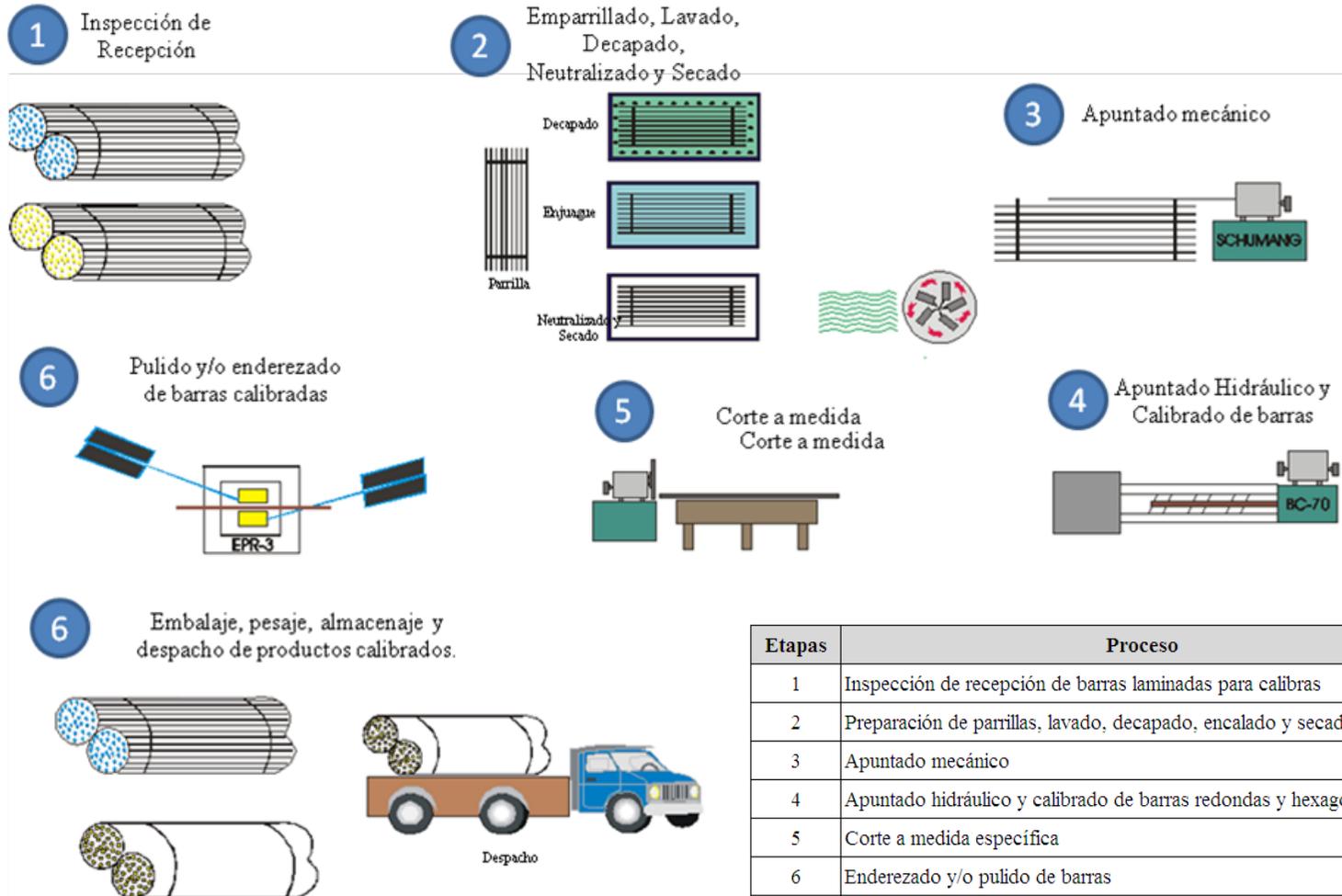
## Planta de Acería



## Planta de Laminación



## Planta de Calibrado

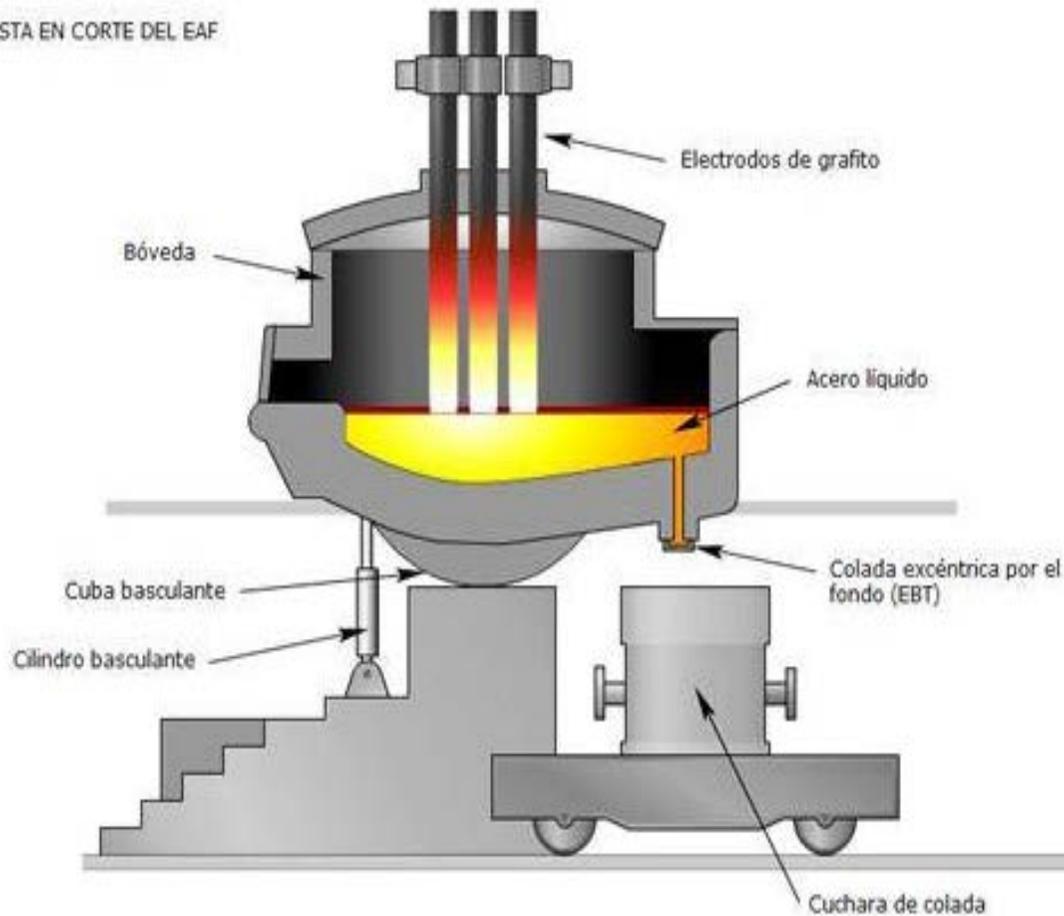


Etapas	Proceso
1	Inspección de recepción de barras laminadas para calibras
2	Preparación de parrillas, lavado, decapado, encalado y secado
3	Apuntado mecánico
4	Apuntado hidráulico y calibrado de barras redondas y hexagonales
5	Corte a medida específica
6	Enderezado y/o pulido de barras
7	Empaquetado, pesaje , almacenaje y despacho del producto calibrado

## ANEXO 2. Descripción de Equipos

### Horno de Arco Eléctrico EBT

VISTA EN CORTE DEL EAF



Fabricante: Danieli

Capacidad: 80tn

Potencia Aparente: 100 MVA

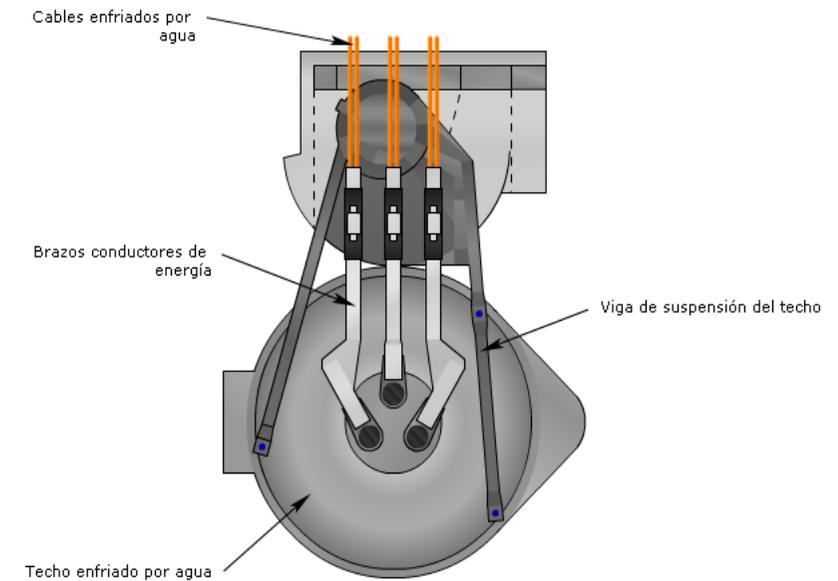
Potencia Activa: 77MW

Tipo de Colada: Excéntrica (EBT)

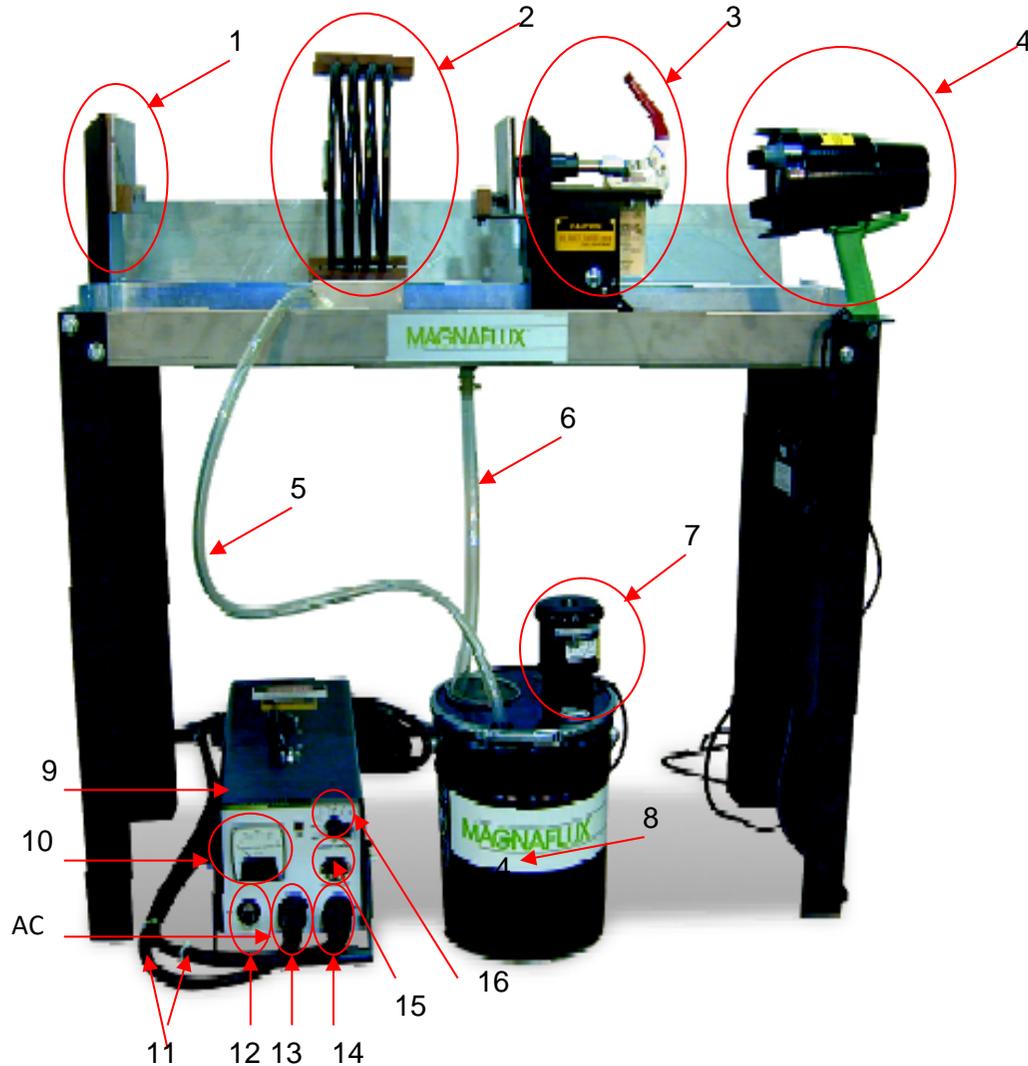
Electrodos: Tensión 440 V

Corriente: Trifásica Alterna

VISTA EN PLANTA DEL EAF



## Equipo de Ensayo por Partículas Magnéticas



**Modelo:** Mag Kit - P-70

**Marca :** Magnaflux

**Método:** Partículas Magnéticas Fluorescentes via Húmeda.

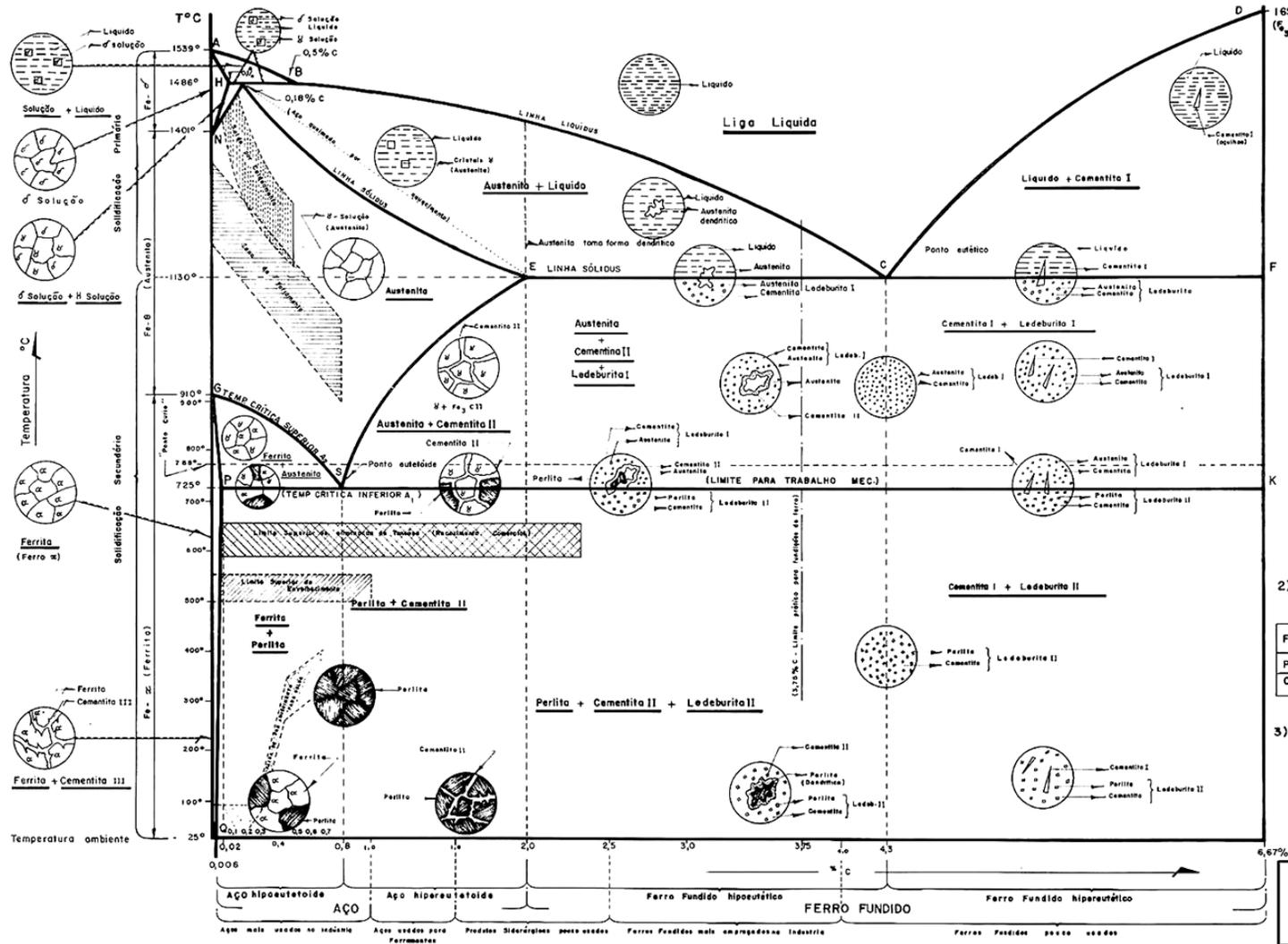
**Partes del equipo de ensayo de partículas Magnéticas:**

- 1. Soporte para muestra y placa de contacto.
- 2. Bobina (magnetización longitudinal).
- 3. Tensador movable.
- 4. Lámpara de luz ultravioleta.
- 5. Manguera de alimentación de fluido.
- 6. Manguera de recirculación de fluido.
- 7. Bomba para trasladar el fluido.
- 8. Tanque de fluido.
- 9. Fuente de poder .
- 10. Reloj de intensidad de corriente (0 a 1000 amperios).
- 11. Cables de conducción de corriente.
- 12. Conexión de salida de corriente alterna.
- 13. Conexión común de corriente.
- 14. Conexión de salida de corriente continua.
- 15. Conexión para botón pulsador
- 16. Perilla múltiple on/off y regulador de intensidad de corriente

# ANEXO 3. Diagramas

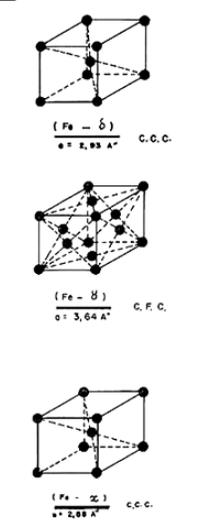
## Diagrama Hierro Carbono

(Ref.: GEsFraM – GRUPO DE ESTUDIOS SOBRE FRACTURA DE MATERIALES)



### NOTAS

1) - Redes Atômicas



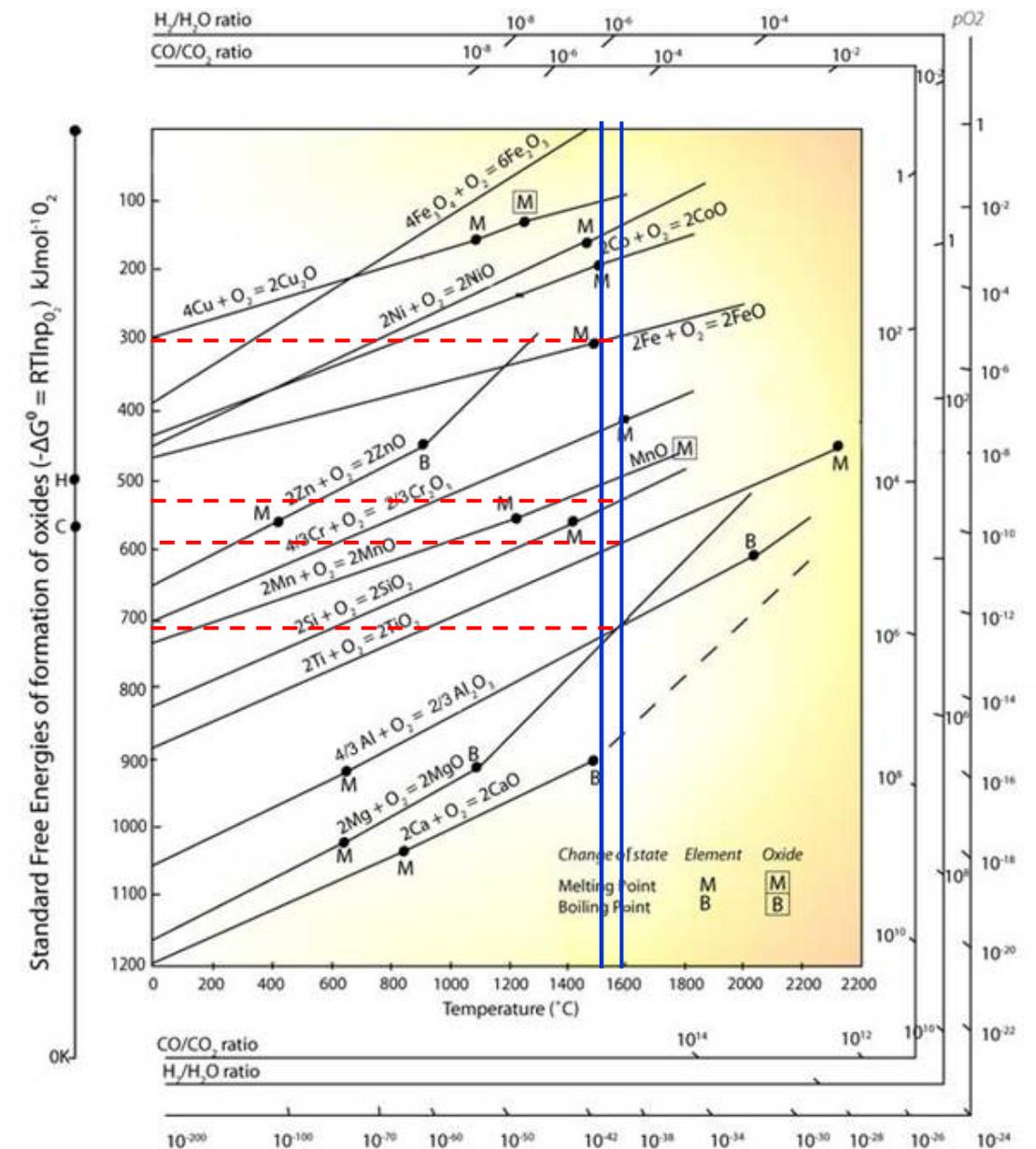
### 2) Propriedades Mecânicas

FERRITA	DUREZA(BR)	ELONGAÇÃO	ALONGAM
	80	30kgf/mm <sup>2</sup>	40%
PERLITA	200	85 "	10%
CEMENTITA	800	100 " "	0%

3) - A dureza da MARTENSITA varia com o % de carbono.

**DIAGRAMA FERRO CARBONO**  
 GEsFraM  
 willyank@uol.com.br

## Diagrama de Ellingham



En el rango de temperatura de colada entre 1550°C a 1600°C, la energía libre de Gibbs para la formación de óxido de aluminio (-710KJmol<sup>-1</sup>) es mucho menor que la de formación de los óxidos de Silicio (595 KJmol<sup>-1</sup>), Manganeso (-635 KJmol<sup>-1</sup>) y Hierro (-210 KJmol<sup>-1</sup>), por lo que la formación de óxido de aluminio se verá favorecida a comparación de los otros óxidos. El oxígeno soluble en el acero líquido es extraído por el Aluminio, generando alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), la cual es removido mecánicamente de los moldes durante el colado. *Ref.: PÁGINA WEB UNIVERSITY OF CAMBRIDGE*  
 “[http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/ellingham\\_diagrams/ellingham.php](http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/ellingham_diagrams/ellingham.php)”

## ANEXO. 4 Normas Técnicas

(Ref.: COMPOSICIÓN QUÍMICA NORMA EN 10277-3:1999)

Page 6  
EN 10277-3 : 1999

**Table: 1: Types of steel, chemical composition (applicable to cast analysis)<sup>1)</sup>**

Designation		Steel grade according to	Chemical composition (% by mass)					
Steel name	Steel number		C	Si max.	Mn	P max.	S	Pb
<b>Steels not intended for heat treatment</b>								
11SMn30	1.0715	EN 10087:1998	≤ 0,14	0,05 <sup>2)</sup>	0,90 to 1,30	0,11	0,27 to 0,33	-
11SMnPb30	1.0718	EN 10087:1998	≤ 0,14	0,05	0,90 to 1,30	0,11	0,27 to 0,33	0,20 to 0,35
11SMn37	1.0736	EN 10087:1998	≤ 0,14	0,05 <sup>2)</sup>	1,00 to 1,50	0,11	0,34 to 0,40	-
11SMnPb37	1.0737	EN 10087:1998	≤ 0,14	0,05	1,00 to 1,50	0,11	0,34 to 0,40	0,20 to 0,35
<b>Case-hardening steels</b>								
10S20	1.0721	EN 10087:1998	0,07 to 0,13	0,40	0,70 to 1,10	0,06	0,15 to 0,25	-
10SPb20	1.0722	EN 10087:1998	0,07 to 0,13	0,40	0,70 to 1,10	0,06	0,15 to 0,25	0,20 to 0,35
15SMn13	1.0725	EN 10087:1998	0,12 to 0,18	0,40	0,90 to 1,30	0,06	0,08 to 0,18	-
<b>Direct-hardening steels</b>								
35S20	1.0726	EN 10087:1998	0,32 to 0,39	0,40	0,70 to 1,10	0,06	0,15 to 0,25	-
35SPb20	1.0756	EN 10087:1998	0,32 to 0,39	0,40	0,70 to 1,10	0,06	0,15 to 0,25	0,15 to 0,35
36SMn14	1.0764	EN 10087:1998	0,32 to 0,39	0,40	1,30 to 1,70	0,06	0,10 to 0,18	-
36SMnPb14	1.0765	EN 10087:1998	0,32 to 0,39	0,40	1,30 to 1,70	0,06	0,10 to 0,18	0,15 to 0,35
38SMn28	1.0760	EN 10087:1998	0,35 to 0,40	0,40	1,20 to 1,50	0,06	0,24 to 0,33	-
38SMnPb28	1.0761	EN 10087:1998	0,35 to 0,40	0,40	1,20 to 1,50	0,06	0,24 to 0,33	0,15 to 0,35
44SMn28	1.0762	EN 10087:1998	0,40 to 0,48	0,40	1,30 to 1,70	0,06	0,24 to 0,33	-
44SMnPb28	1.0763	EN 10087:1998	0,40 to 0,48	0,40	1,30 to 1,70	0,06	0,24 to 0,33	0,15 to 0,35
46S20	1.0727	EN 10087:1998	0,42 to 0,50	0,40	0,70 to 1,10	0,06	0,15 to 0,25	-
46SPb20	1.0757	EN 10087:1998	0,42 to 0,50	0,40	0,70 to 1,10	0,06	0,15 to 0,25	0,15 to 0,35
<sup>1)</sup> Elements not quoted in this table shall not be intentionally added to the steel without the agreement of the purchaser, other than for the purpose of finishing the heat. However, elements such as Te, Bi etc., may be added by the manufacturer for improving the machinability, if this has been agreed at the time of enquiry and order.								
<sup>2)</sup> If, by metallurgical techniques, the formation of special oxides is guaranteed, a Si-content of 0,10 to 0,40% can be agreed.								

|

Propiedades Mecánicas Estimadas

Norma SAE 1397 – Mayo 1992

SAE J1397 Revised MAY92										
TABLE 1—ESTIMATED MECHANICAL PROPERTIES AND MACHINABILITY RATINGS OF NONRESULFURIZED CARBON STEEL BARS, MANGANESE 1.00% MAXIMUM										
UNS No.	SAE and/or AISI No.	Type of Processing	Tensile Strength MPa	Tensile Strength psi	Estimated Minimum Yield Strength MPa	Estimated Minimum Yield Strength psi	Estimated Minimum Values Elongation in 2 in, %	Reduction in Area %	Brinell Hardness	Average Machinability Rating (Cold Drawn) 1212=100%
G10060	1006	Hot Rolled	300	43 000	170	24 000	30	55	86	50
		Cold Drawn	330	48 000	280	41 000	20	45	95	
G10080	1008	Hot Rolled	303	44 000	170	24 500	30	55	86	55
		Cold Drawn	340	49 000	290	41 500	20	45	95	
G10100	1010	Hot Rolled	320	47 000	180	26 000	28	50	95	55
		Cold Drawn	370	53 000	300	44 000	20	40	105	
G10120	1012	Hot Rolled	330	48 000	180	26 500	28	50	95	55
		Cold Drawn	370	54 000	310	45 000	19	40	105	
G10150	1015	Hot Rolled	340	50 000	190	27 500	28	50	101	60
		Cold Drawn	390	56 000	320	47 000	18	40	111	
G10160	1016	Hot Rolled	380	55 000	210	30 000	25	50	111	70
		Cold Drawn	420	61 000	350	51 000	18	40	121	
G10170	1017	Hot Rolled	370	53 000	200	29 000	26	50	105	65
		Cold Drawn	410	59 000	340	49 000	18	40	116	
G10180	1018	Hot Rolled	400	58 000	220	32 000	25	50	116	70
		Cold Drawn	440	64 000	370	54 000	15	40	126	
G10190	1019	Hot Rolled	410	59 000	220	32 500	25	50	116	70
		Cold Drawn	460	66 000	380	55 000	15	40	131	
G10200	1020	Hot Rolled	380	55 000	210	30 000	25	50	111	65
		Cold Drawn	420	61 000	350	51 000	15	40	121	
G10210	1021	Hot Rolled	420	61 000	230	33 000	24	48	116	70
		Cold Drawn	470	68 000	390	57 000	15	40	131	
G10220	1022	Hot Rolled	430	62 000	230	34 000	23	47	121	70
		Cold Drawn	480	69 000	400	58 000	15	40	137	
G10230	1023	Hot Rolled	370	56 000	210	31 000	25	50	111	65
		Cold Drawn	430	62 000	360	52 500	15	40	121	
G10250	1025	Hot Rolled	400	58 000	220	32 000	25	50	116	65
		Cold Drawn	440	64 000	370	54 000	15	40	126	
G10260	1026	Hot Rolled	440	64 000	240	35 000	24	49	126	75
		Cold Drawn	490	71 000	410	60 000	15	40	143	

SAE J1397 Revised MAY92

TABLE 1—ESTIMATED MECHANICAL PROPERTIES AND MACHINABILITY RATINGS  
OF NONRESULFURIZED CARBON STEEL BARS, MANGANESE 1.00% MAXIMUM (CONTINUED)

UNS No.	SAE and/or AISI No.	Type of Processing	Tensile Strength MPa	Tensile Strength psi	Estimated Minimum Values Yield Strength MPa	Estimated Minimum Values Yield Strength psi	Estimated Minimum Values Elongation in 2 in, %	Reduction in Area %	Brinell Hardness	Average Machinability Rating (Cold Drawn) 1212=100%
G10300	1030	Hot Rolled	470	68 000	260	37 500	20	42	137	70
		Cold Drawn	520	76 000	440	64 000	12	35	149	
G10350	1035	Hot Rolled	500	72 000	270	39 500	18	40	143	65
		Cold Drawn	550	80 000	460	67 000	12	35	163	
G10370	1037	Hot Rolled	510	74 000	280	40 500	18	40	143	65
		Cold Drawn	570	82 000	480	69 000	12	35	167	
G10380	1038	Hot Rolled	520	75 000	280	41 000	18	40	149	65
		Cold Drawn	570	83 000	480	70 000	12	35	163	
G10390	1039	Hot Rolled	540	79 000	300	43 500	16	40	156	60
		Cold Drawn	610	88 000	510	74 000	12	35	179	
G10400	1040	Hot Rolled	520	76 000	290	42 000	18	40	149	60
		Cold Drawn	590	85 000	490	71 000	12	35	170	
G10420	1042	Hot Rolled	550	80 000	300	44 000	16	40	163	60
		Cold Drawn	610	89 000	520	75 000	12	35	179	
		NCD <sup>(1)</sup>	590	85 000	500	73 000	12	45	179	
G10430	1043	Hot Rolled	570	82 000	310	45 000	16	40	163	60
		Cold Drawn	630	91 000	530	77 000	12	35	179	
		NCD <sup>(1)</sup>	600	87 000	520	75 000	12	45	179	
G10440	1044	Hot Rolled	550	80 000	300	44 000	16	40	163	
G10450	1045	Hot Rolled	570	82 000	310	45 000	16	40	163	55
		Cold Drawn	630	91 000	530	77 000	12	35	179	
		ACD <sup>(2)</sup>	590	85 000	500	73 000	12	45	170	
G10460	1046	Hot Rolled	590	85 000	320	47 000	15	40	170	55
		Cold Drawn	650	94 000	540	79 000	12	35	187	
		ACD <sup>(2)</sup>	620	90 000	520	75 000	12	45	179	
G10490	1049	Hot Rolled	600	87 000	330	48 000	15	35	179	45
		Cold Drawn	670	97 000	560	81 500	10	30	197	
		ACD <sup>(2)</sup>	630	92 000	530	77 000	10	40	187	
G10500	1050	Hot Rolled	620	90 000	340	49 500	15	35	179	45
		Cold Drawn	690	100 000	580	84 000	10	30	197	
		ACD <sup>(2)</sup>	660	95 000	550	80 000	10	40	189	

## SAE J1397 Revised MAY92

TABLE 2—ESTIMATED MECHANICAL PROPERTIES AND MACHINABILITY RATINGS OF RESULTURIZED CARBON STEEL BARS<sup>(1)</sup>

UNS No.	SAE and/or AISI No.	Type of Processing	Tensile Strength MPa	Tensile Strength psi	Estimated Minimum Values Yield Strength MPa	Estimated Minimum Values Yield Strength psi	Estimated Minimum Values Elongation In 2 In. %	Reduction In Area %	Brinell Hardness	Average Machinability Rating (Cold Drawn) 1212=100%
G11080	1108	Hot Rolled	340	50 000	190	27 500	30	50	101	80
		Cold Drawn	390	56 000	320	47 000	20	40	121	
G11170	1117	Hot Rolled	430	62 000	230	34 000	23	47	121	90
		Cold Drawn	480	69 000	400	58 000	15	40	137	
G11320	1132	Hot Rolled	570	83 000	310	45 500	16	40	167	75
		Cold Drawn	630	92 000	530	77 000	12	35	183	
G11370	1137	Hot Rolled	610	88 000	330	48 000	15	35	179	70
		Cold Drawn	680	98 000	570	82 000	10	30	197	
G11400	1140	Hot Rolled	540	79 000	300	43 500	16	40	156	70
		Cold Drawn	610	88 000	510	74 000	12	35	170	
G11410	1141	Hot Rolled	650	94 000	360	51 500	15	35	187	70
		Cold Drawn	720	105 100	610	88 000	10	30	212	
G11440	1144	Hot Rolled	670	97 000	370	53 000	15	35	197	80
		Cold Drawn	740	108 000	620	90 000	10	30	217	
G11460	1146	Hot Rolled	590	85 000	320	47 000	15	40	170	70
		Cold Drawn	650	94 000	550	80 000	12	35	187	
G11510	1151	Hot Rolled	630	92 000	340	50 500	15	35	187	65
		Cold Drawn	700	102 000	590	86 000	10	30	207	
G12110	1211	Hot Rolled	380	55 000	230	33 000	25	45	121	95
		Cold Drawn	520	75 000	400	58 000	10	35	163	
G12120	1212	Hot Rolled	390	56 000	230	33 500	25	45	121	100
		Cold Drawn	540	78 000	410	60 000	10	35	167	
G12130	1213	Hot Rolled	390	56 000	230	33 500	25	45	121	135
		Cold Drawn	540	78 000	410	60 000	10	35	167	
G12144	12L14	Hot Rolled	390	57 000	230	34 000	22	45	121	160
		Cold Drawn	540	78 000	410	60 000	10	35	163	

1. All 1100 and 1200 series steels are rated on the basis of 0.10% maximum silicon or coarse grain melting practice.

## Composición Química Norma ASTM J403 - 2001

SAE J403 Revised NOV2001

**TABLE 1—NONRELFURIZED CARBON STEEL COMPOSITIONS APPLICABLE TO SEMIFINISHED PRODUCTS FOR FORGING, TO HOT-ROLLED AND COLD-FINISHED BARS, TO WIRE RODS, PLATES, STRIP, SHEETS, WELDED TUBING, AND TO SEAMLESS TUBING CAST OR HEAT CHEMICAL RANGES AND LIMITS**

UNS No.	SAE No.	Chemical Composition	Chemical Composition	Chemical Composition	Chemical Composition
		Limits, % <sup>(1)(2)</sup>	Limits, % <sup>(1)</sup>	Limits, % <sup>(1)</sup>	Limits, % <sup>(1)</sup>
		C	Mn	P, Max	S, Max
G10050	1005	0.06 Max	0.35 Max	0.030	0.050
G10060*	1006	0.08 Max	0.25-0.40	0.030	0.050
G10080*	1008	0.10 Max	0.30-0.50	0.030	0.050
G10090	1009	0.15 Max	0.60 Max	0.030	0.050
G10100	1010	0.08-0.13	0.30-0.60	0.030	0.050
G10120	1012	0.10-0.15	0.30-0.60	0.030	0.050
G10130	1013	0.11-0.16	0.30-0.60	0.030	0.050
G10150	1015	0.13-0.18	0.30-0.60	0.030	0.050
G10160	1016	0.13-0.18	0.60-0.90	0.030	0.050
G10170	1017	0.15-0.20	0.30-0.60	0.030	0.050
G10180	1018	0.15-0.20	0.60-0.90	0.030	0.050
G10190	1019	0.15-0.20	0.70-1.00	0.030	0.050
G10200	1020	0.18-0.23	0.30-0.60	0.030	0.050
G10210	1021	0.18-0.23	0.60-0.90	0.030	0.050
G10220	1022	0.18-0.23	0.70-1.00	0.030	0.050
G10230	1023	0.20-0.25	0.30-0.60	0.030	0.050
G10250	1025	0.22-0.28	0.30-0.60	0.030	0.050
G10260	1026	0.22-0.28	0.60-0.90	0.030	0.050
G10290	1029	0.25-0.31	0.60-0.90	0.030	0.050
G10300	1030	0.28-0.34	0.60-0.90	0.030	0.050
G10330	1033	0.30-0.36	0.70-1.00	0.030	0.050
G10350	1035	0.32-0.38	0.60-0.90	0.030	0.050
G10370	1037	0.32-0.38	0.70-1.00	0.030	0.050
G10380	1038	0.35-0.42	0.60-0.90	0.030	0.050
G10390	1039	0.37-0.44	0.70-1.00	0.030	0.050
G10400	1040	0.37-0.44	0.60-0.90	0.030	0.050
G10420	1042	0.40-0.47	0.60-0.90	0.030	0.050
G10430	1043	0.40-0.47	0.70-1.00	0.030	0.050
G10440	1044	0.43-0.50	0.30-0.60	0.030	0.050
G10450	1045	0.43-0.50	0.60-0.90	0.030	0.050
G10460	1046	0.43-0.50	0.70-1.00	0.030	0.050
G10490	1049	0.46-0.53	0.60-0.90	0.030	0.050
G10500	1050	0.48-0.55	0.60-0.90	0.030	0.050
G10530	1053	0.48-0.55	0.70-1.00	0.030	0.050
G10550	1055	0.50-0.60	0.60-0.90	0.030	0.050
G10600	1060	0.55-0.65	0.60-0.90	0.030	0.050
G10650	1065	0.60-0.70	0.60-0.90	0.030	0.050
G10700	1070	0.65-0.75	0.60-0.90	0.030	0.050
G10740	1074	0.70-0.80	0.50-0.80	0.030	0.050
G10750	1075	0.70-0.80	0.40-0.70	0.030	0.050
G10780	1078	0.72-0.85	0.30-0.60	0.030	0.050
G10800	1080	0.75-0.88	0.60-0.90	0.030	0.050
G10840	1084	0.80-0.93	0.60-0.90	0.030	0.050
G10850	1085	0.80-0.93	0.70-1.00	0.030	0.050
G10860	1086	0.80-0.93	0.30-0.50	0.030	0.050
G10900	1090	0.85-0.98	0.60-0.90	0.030	0.050
G10950	1095	0.90-1.03	0.30-0.50	0.030	0.050

**TABLE 3B—FREE CUTTING CARBON STEEL COMPOSITIONS APPLICABLE TO SEMIFINISHED PRODUCTS FOR FORGING, HOT-ROLLED AND COLD-FINISHED BARS, WIRE RODS, AND SEAMLESS TUBING—REPHOSPHORIZED AND RELFURIZED CARBON STEELS CAST OR HEAT CHEMICAL RANGES AND LIMITS**

UNS No.	SAE No.	Chemical Composition				
		Limits, %				
		C, Max	Mn	P	S	Pb
G12120	1212	0.13	0.70-1.00	0.07-0.12	0.16-0.23	—
G12130	1213	0.13	0.70-1.00	0.07-0.12	0.24-0.33	—
G12150	1215	0.09	0.75-1.05	0.04-0.09	0.26-0.35	—
G12144	12L14	0.15	0.85-1.15	0.04-0.09	0.26-0.35	0.15-0.35

LEAD—See footnote under Table 1.

SILICON—It is not common practice to produce the 12xx series of steels to specified silicon because of its adverse effect on machinability.

## ANEXO 5. Tolerancias Dimensionales y Propiedades Mecánicas Reales.

DIÁMETRO NOMINAL		Variación del diámetro (mm), conforme a ISO h11(*)		Ovalización máxima (mm)
Pulgadas	Mm	Min	máx.	
¼"	6.350	6.260	6.350	0.045
5/16"	7.938	7.848	7.938	0.045
3/8"	9.525	9.435	9.525	0.045
7/16"	11.113	11.003	11.113	0.055
½"	12.700	12.590	12.700	0.055
9/16"	14.288	14.178	14.288	0.055
5/8"	15.875	15.765	15.875	0.055
11/16"	17.463	17.353	17.463	0.055
¾"	19.050	18.920	19.050	0.065
13/16	20.638	20.508	20.638	0.065
7/8"	22.225	22.095	22.225	0.065
15/16"	23.813	23.683	23.813	0.065
1"	25.400	25.270	25.400	0.065
1. 1/16"	26.988	26.858	26.988	0.065
1 1/8"	28.575	28.445	28.575	0.065
1. 3/16"	30.163	30.002	30.162	0.080
1 ¼"	31.750	31.590	31.750	0.080
1 3/8"	34.925	34.765	34.925	0.080
1 ½"	38.100	37.940	38.100	0.080
1 5/8"	41.275	41.115	41.275	0.080
1 ¾"	44.450	44.290	44.450	0.080
1 7/8"	47.625	47.465	47.625	0.080
2"	50.800	50.610	50.800	0.095
2 ¼"	57.150	56.960	57.150	0.095
2 ½"	63.500	63.310	63.500	0.095

### Propiedades Mecánicas en Barras Calibradas

*(Ref.: ELABORADO EN BASE A ESTADÍSTICA DE ENSAYOS REALIZADOS A BARRAS CALIBRAS EN CORPORACIÓN ACEROS AREQUIPA S.A.)*

CALIDAD	LIMITE DE FLUENCIA (Kg/mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Kg/mm <sup>2</sup> )	ALARGAMIENTO, (%)		DUREZA (HRb)	ÍNDICE DE MAQUINABILIDAD (Según SAE J1397)
			200 mm	50 mm		
SAE 1018	45 - 75	50 - 80	2 - 15	10 - 25	75 a 95	70
SAE 1045	65 - 85	70 - 90	2 - 10	6 - 12	85 a 100	55
DIN 9SMn28	45 - 70	50 - 72	75 - 95	2 - 15	10 - 25	135