

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



**“OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE CALENTAMIENTO PREVIO A LA
FORJA PARA GRANDES LINGOTES DE ACERO”**

PRESENTA

LUIS FERNANDO ROMANO ACOSTA

**EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA MECÁNICA CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES**

ENERO, 2016

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



TESIS

**“OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE CALENTAMIENTO PREVIO A LA
FORJA PARA GRANDES LINGOTES DE ACERO”**

**QUE PRESENTA EL
ING. LUIS FERNANDO ROMANO ACOSTA**


**EN OPCION AL GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA MECÁNICA CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES**

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN

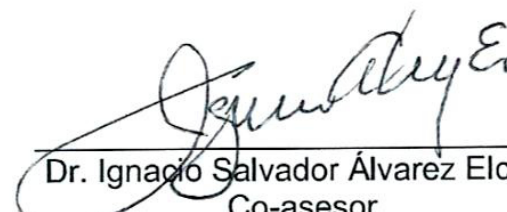
ENERO, 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO


Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la tesis **“Optimización del ciclo de calentamiento previo a la forja para grandes lingotes de acero”** realizada por el alumno Luis Fernando Romano Acosta con número de matrícula 1424553 sea aceptado para su defensa como opción al grado de Maestra en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Materiales



Dr. Luis Adolfo Leduc Lezama
Asesor

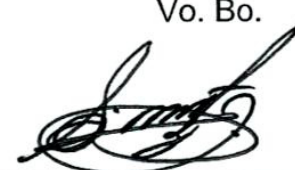


Dr. Ignacio Salvador Álvarez Elcoro
Co-asesor



Dr. Florentino Fernández Guzmán
Co-asesor

El comité de tesis
Vo. Bo.



Dr. Simón Martínez Martínez
Subdirector de estudios de posgrado

San Nicolás de los Garza, Nuevo León, Enero de 2016.

Dedicatoria

Especialmente a mi familia

Mi madre, Rosy Acosta, gracias por todo el amor, la enseñanza y por estar conmigo y apoyarme en todo lo que hago además de inculcarme desde pequeño los buenos valores.

A mi hermana Rosy García y a mi sobrina Andrea Rangel

Agradecimientos

Le doy gracias a Dios por permitirme llegar hasta esta etapa de mi vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo económico durante la maestría.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME) por darme la oportunidad de integrarme a su programa y recibir una excelente formación académica.

Al Dr. Luis Leduc por brindarme su excelente asesoría y por el gran apoyo e impulso desde que comencé con mis estudios de maestría, además de proporcionarme su conocimiento, confianza y amistad para poder realizar este trabajo.

Al Dr. Ignacio Álvarez por la orientación y ayuda que me brindo para la realización de esta tesis, por su apoyo y amistad que me permitieron aprender mucho más que lo estudiado en el proyecto.

Al Dr. Florentino por darme la confianza y permitirme trabajar en conjunto con la empresa Frisa Forjados y por su valiosa participación en este proyecto.

Al Dr. Oscar Zapata por su gran participación en el proyecto, además de brindarme siempre su apoyo, consejos y amistad.

Al Dr. Rene Cerda por su gran participación en el proyecto, además de brindarme su apoyo, consejos y amistad.

A las diferentes personas que me ayudaron a utilizar los equipos para la realización de este trabajo: María Lara (SEM), Dr. Edgar García y M.C. Lizangela Guerra (DSC), Dr. Nelson Garza y M.C. Gabriela (DRX), personal de Frisa, Vicente, Saúl, Raúl, Pepe, Iván, Julián, Hugo. Gracias a todos los que de alguna forma me ayudaron, enseñaron y aconsejaron para realizar este trabajo

A mis amigos de FIME que alguna vez necesité de sus conocimientos, así como de algunos doctores que me proporcionaron su apoyo. A esa persona especial que me demostró paciencia, confianza y apoyo, Diana.

Tabla de contenido

Resumen	1
Capítulo 1	3
Introducción	3
1.1. Descripción del problema	4
1.2. Justificación	4
1.3. Objetivo.....	4
1.3.1. Objetivos específicos.....	4
1.4. Hipótesis	5
Capítulo 2	6
Marco Teórico	6
2.1. Transferencia de calor	7
2.2. Estructura inicial de colada y segregación.....	10
2.3. Transformaciones de fase	14
2.4. Antecedentes.....	15
Capítulo 3	18
Metodología	18
3.1 Selección y preparación de material	18
3.2 . Curvas de calentamiento	22
3.2.1. Mediciones en la planta.....	22
3.2.2. Simulaciones.....	26
3.3. Fases presentes	30
3.3.1. JMatPro.....	30
3.3.2. Pruebas de laboratorio	31
3.4. Disolución de los precipitados	37
3.4.1. Calorimetría Diferencial de Barrido	37
Capítulo 4	44
Resultados.....	44
4.1 Pruebas de calentamiento en planta	44
4.2 Simulaciones	46

4.2.1	Lingote “A”	46
4.2.2	Lingote “B”	50
4.2.3	Lingote “C”	52
4.3	Fases presentes	56
4.3.1	JmatPro	56
4.3.2	Pruebas de laboratorio	57
Capítulo 5	.....	70
Discusión	.....	70
5.1	Introducción	70
5.2	Homogeneidad de temperatura en la pieza	70
5.2.1	Pruebas de calentamiento en planta	70
5.2.2	Simulación de calentamiento	74
5.3	Microestructura para forja	75
5.4	Esfuerzos durante el calentamiento	82
5.5	Optimización de los ciclos de calentamiento	91
5.5.1	Calentamiento del lingote “A”	91
5.5.2	Calentamiento del lingote “B”	96
5.5.3	Calentamiento del lingote “C”	99
Capítulo 6	Conclusiones	105
Capítulo 7	.....	107
Bibliografía	.....	107
Índice de Figuras	.....	109
Índice de Tablas	.....	115
Anexo I	.....	116
Anexo II	.....	158
Anexo III	.....	162
Anexo IV	.....	182

Resumen

La energía usada en el proceso de forja es un factor importante en la economía de la industria y los costos del calentamiento de lingotes previo a la deformación representan una proporción considerable. Debido a esto se busca desarrollar estrategias óptimas de calentamiento de lingotes para reducir el consumo de combustible. El objetivo del procedimiento de optimización es minimizar los costos de calentamiento que son dependientes del tiempo total de calentamiento de los lingotes.

Los componentes estructurales con los que trabajamos están fabricados a partir de lingotes de acero (los cuales contienen elementos de aleación como el cromo, cobalto, níquel, etc.) producidos mediante procesos de fusión-vaciado, los cuales, en la mayoría de los casos contienen defectos metalúrgicos internos como poros, segregación, grietas y/u óxidos que si no se eliminan pueden afectar a la pieza.

El objetivo de este proyecto es determinar las curvas de calentamiento previo al proceso de forja con tiempos menores a los establecidos actualmente. Para lograrlo se hizo un estudio de la transferencia de calor dentro del horno y de la disolución de precipitados para determinar el tiempo de empape para homogeneizar química (minimizar segregación) y térmicamente el material, en este caso se tomaron en cuenta distintos factores como el tamaño y geometría de la pieza, el tipo de horno donde se calentó el lingote, la posición de la pieza dentro del horno y la composición química del acero.

Los aspectos importantes que se deben considerar al momento de diseñar una curva de calentamiento son: el consumo de energía y el tiempo de calentamiento considerando los efectos adversos de los esfuerzos residuales en el lingote, así como completar las transformaciones de fase y disolución de carburos que se llevan a cabo durante el calentamiento.

La optimización de los ciclos de calentamiento de lingotes antes de la forja debe cumplir con los siguientes objetivos: minimizar el tiempo total de calentamiento y maximizar los esfuerzos térmicos dentro del lingote sin superar el máximo permitido, teniendo como resultado un ahorro en energía y un incremento en productividad manteniendo la calidad del producto.

Para poder determinar los niveles de esfuerzos térmicos en un lingote cuando la temperatura está cambiando, fue necesario conocer la distribución de temperatura dentro del lingote a través del tiempo de calentamiento.

Para el análisis sobre el tiempo de calentamiento de lingotes, fue necesario la estimación del coeficiente de transferencia de calor del horno. Así, después de conectar los termopares en los lingotes y usando el método de ensayo y error, el valor del coeficiente de transferencia de calor se consiguió a partir del resultado de la temperatura obtenida. [1] Estas mediciones de temperatura fueron los datos para generar un modelo de simulación que nos ayudó a conocer la distribución de temperaturas y así mismo los niveles de esfuerzos dentro del lingote durante el calentamiento.

Como parte de este trabajo se hicieron pruebas de laboratorio en una parte del lingote en su forma as cast para conocer los tipos de precipitados que estaban presentes, donde se llegó a la conclusión de que los tiempos y temperaturas del ciclo de calentamiento de calentamiento son mayores a los tiempos de disolución de estos precipitados.

Se optimizaron 3 ciclos de calentamiento para 3 diferentes lingotes, donde se obtuvo una reducción en tiempo de aproximadamente el 27% del tiempo total para cada una.

Capítulo 1

Introducción

En la actualidad existe una mayor necesidad de producir grandes componentes forjados para las industrias: petrolera, de vehículos aeroespaciales y algunas otras aplicaciones. La forja de lingotes de fundición de gran tamaño es el proceso principal que se utiliza para producir componentes de alta calidad.

Para garantizar las propiedades mecánicas deseadas dentro de la pieza de trabajo, es de gran interés poder predecir la microestructura durante el proceso de forja. Un aspecto importante durante la forja abierta de grandes piezas de trabajo es perseguir la estrategia correcta de forja de modo que la microestructura deseada se pueda lograr y los posibles defectos de fundición disminuyan en el centro de la pieza de trabajo con el mínimo consumo de energía y tiempo de calentamiento previo a la deformación. Para esto se requiere que se cumplan principalmente 3 factores: homogeneidad de temperatura en el lingote al momento de deformar en la prensa, que los lingotes tengan la microestructura adecuada para ser forjados, y que los esfuerzos internos generados durante el calentamiento sean menores a los esfuerzos de fractura del lingote.

Recientemente el método de elementos finitos es el que se utiliza más frecuentemente para predecir como un objeto real reaccionara a fuerzas, calor, flujo de fluidos, etc. El análisis por elementos finitos proporciona oportunidades más amplias para la investigación numérica en los procesos de forja que algún otro método utilizado. [2]

En estos días, el tiempo de calentamiento óptimo para forja es calculado usando simulación. El estado ideal de calentamiento es el tiempo cuando la temperatura del centro y la superficie del lingote son idénticas, pero esto no es económico. Por lo tanto, se debe calcular el momento en que la diferencia de

temperatura entre el centro del lingote y de la superficie alcanza la cantidad adecuada. [3]

1.1. Descripción del problema

Las grandes piezas forjadas son cada vez más necesarias para satisfacer la demanda en las industrias. El tiempo de calentamiento actual de los lingotes antes de la forja es muy extenso, lo cual genera grandes costos de operación de los hornos y gran cantidad de consumo de combustible.

1.2. Justificación

Este trabajo de investigación nació a partir del interés de la empresa para poder saber si es factible reducir los ciclos de calentamiento previo al proceso de forja de grandes lingotes de acero con el fin de ahorrar gas y tiempo en el proceso; además de contribuir al desarrollo científico y tecnológico.

1.3. Objetivo

Determinar las curvas de calentamiento previas al proceso de forja abierta con tiempos menores a los establecidos actualmente, considerando la transferencia de calor y la disolución de precipitados para determinar el tiempo de empape para homogeneizar química y térmicamente el material, resultando en ahorro de energía manteniendo la calidad del producto.

1.3.1. Objetivos específicos

- 1.- Conocer el nivel de esfuerzos generados en la pieza durante el calentamiento del material.
- 2.- Investigar cuales son los precipitados posibles en los aceros estudiados, y conocer las fases, el tiempo y la temperatura de disolución de éstos.

1.4. Hipótesis

Los ciclos de calentamiento previo a la forja en grandes lingotes de acero se pueden optimizar a través del conocimiento de la cinética de solubilidad de precipitados y cálculos de transferencia de calor.

Capítulo 2

Marco Teórico

La distribución de temperaturas o la velocidad de calentamiento dentro del lingote (la cual se puede controlar programando los hornos de manera adecuada), la estructura metálica del material, y los esfuerzos internos son los principales efectos que debemos de considerar al momento de calentar un material debido a que cambian en una manera complicada durante el calentamiento. En la Figura 2. 1 se muestra una representación esquemática de estos efectos con los fenómenos que se generan. Cuando la temperatura en el acero varía, la estructura metálica se reduce (1) por la transformación de fase, mientras que la generación de calor latente (2) produce, debido a la transformación de fase, un cambio de volumen afectando a la distribución de la temperatura. Los cambios locales de temperatura y volumen resultan en una dilatación volumétrica no uniforme del cuerpo para resultar en esfuerzos térmicos (3) y el esfuerzo de transformación (4), respectivamente. Las flechas con líneas discontinuas en esta figura, (5) y (6), representarán a la generación de calor debido al trabajo mecánico y el esfuerzo inducido por la transformación que son más bien reacciones triviales en los casos normales de tratamiento térmico. Estos efectos de acoplamiento complican el análisis de la distribución adecuada de esfuerzo durante el ciclo de calentamiento del acero. [4]

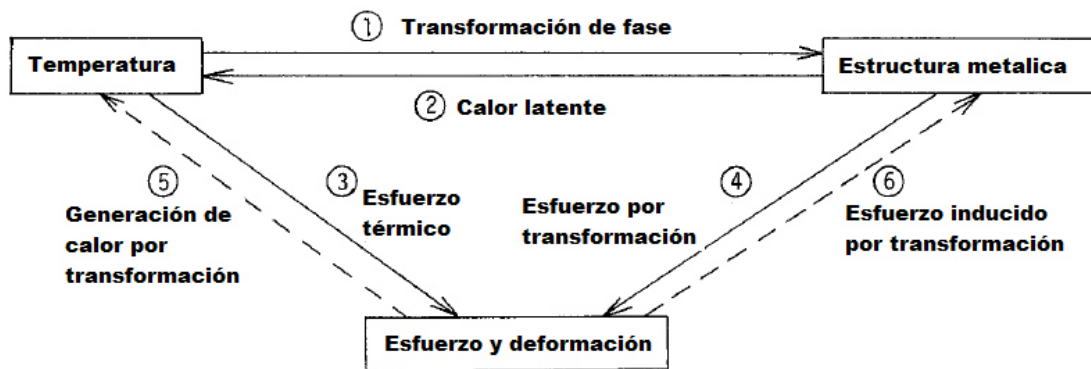


Figura 2. 1 Tres tipos de características durante los tratamientos térmicos y de acoplamiento entre ellos.

El tiempo y la velocidad de calentamiento son los factores más importantes para calentar un lingote y dependen principalmente de la composición química, geometría y tamaño del lingote. Para cada grado de acero existe una temperatura de austenización la cual está determinada por la composición química, sin embargo, en la industria el rango de temperaturas a la cual el lingote debe de calentarse ha sido establecido por la práctica.

2.1. Transferencia de calor

Para elevar la temperatura del material utilizamos un horno de combustión de gas, transfiriendo calor al material que está en el interior. El calor se transfiere al metal básicamente por dos mecanismos. Radiación por parte de la flama, paredes y techo, y convección por el movimiento de gases sobre la superficie del lingote.

La transferencia de calor hacia el lingote se realiza por tres mecanismos físicos: conducción, convección y radiación como se muestra en la Figura 2. 2 [5].

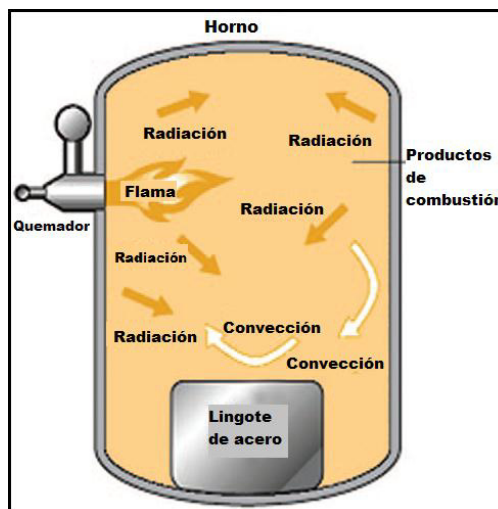


Figura 2. 2 Mecanismos de transferencia de calor hacia el lingote dentro del horno

La conducción es el mecanismo de transferencia de calor a través de la materia por actividad molecular, solo existe si hay diferencias de temperatura en el interior del material. La conducción está dada por la ley de la conducción de Fourier (1) e indica el flujo de calor a través de la pieza Figura 2. 3.

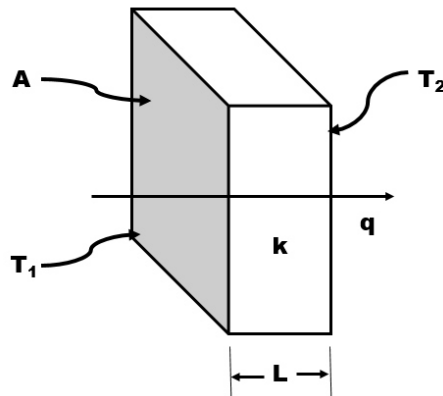


Figura 2. 3 Representación del flujo de calor por conducción

$$q = k A \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (1)$$

Donde “k” es la conductividad térmica ($\frac{W}{m \cdot K}$) que representa la capacidad con la cual una sustancia conduce calor.

La convección es el mecanismo de transferencia de calor por movimiento de un fluido, en este caso, la convección dentro del horno es a través del gas caliente hacia la superficie del lingote (Figura 2. 4). La convección también se conoce como la ley de enfriamiento de Newton y se representa con la fórmula (2).

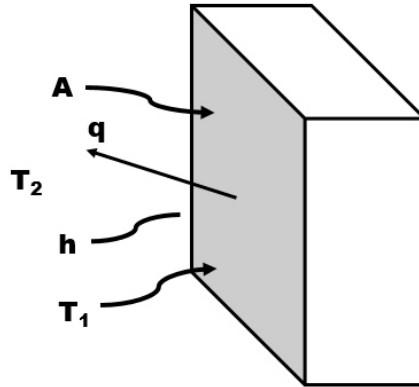


Figura 2. 4 Representación del flujo de calor por convección.

$$q = h A (T_1 - T_2) \quad (2)$$

Donde “h” es el coeficiente de transferencia de calor ($\frac{w}{m^2 \cdot K}$)

Por ultimo tenemos la transferencia de calor por radiación que es energía emitida por la superficie de la materia que se encuentra a alta temperatura, a esta fórmula se conoce como Ley de Stefan. La emisividad es una propiedad radiactiva de la superficie y es la variable principal en el flujo de calor por radiación. La ecuación de Stefan Boltzman (3) introduce la relación entre la capacidad que tiene un cuerpo de absorber o rechazar la energía que alcanza la superficie del lingote

$$q = \varepsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \quad (3)$$

Donde ε es la emisividad en la superficie del lingote, σ es la constante de Stefan Boltzman con un valor de $5.67 \times 10^{-8} \frac{w}{m^2 \cdot K^4}$.

El tiempo necesario para el calentamiento de un lingote incluye 3 pasos:

- 1) Tiempo que tarda la superficie del lingote en alcanzar la temperatura del horno.
- 2) Tiempo necesario para transferir la temperatura a través del lingote hasta que el centro del lingote alcance la temperatura del horno.
- 3) Tiempo de mantenimiento a alta temperatura para preparar la estructura adecuada para forjar.

El modo inicial de transferencia de calor es primeramente por convección y radiación al lingote a partir de la flama y los gases calientes dentro del horno. La superficie del lingote se calienta rápidamente debido a la gran diferencia de temperaturas al inicio del ciclo de calentamiento entre la superficie y la temperatura dentro del horno. El calor absorbido por la superficie, se transfiere hacia el interior del lingote por conducción.

El rendimiento de un horno de forja es dependiente de la facilidad con la que el calor se transfiere desde el horno a la superficie del lingote y de la superficie hacia el centro del lingote.

Durante el calentamiento del lingote se pueden generar esfuerzos internos tan grandes que pudieran romper el lingote, es por eso que se recomienda calentar muy lento para evitar los esfuerzos térmicos, aunque esto implique mayores costos de operación.

2.2. Estructura inicial de colada y segregación

Los lingotes a forjar vienen de un proceso de fundición, esto significa que presentan estructura de colada y, por lo tanto, que existe segregación dentro del material, en la Figura 2. 5 se muestra una estructura general de solidificación donde se distinguen 3 zonas: en la parte cercana al molde se

encuentra la “zona chill” que se forma al momento de vaciar el metal líquido y éste entra en contacto con el molde que está a menor temperatura que el metal líquido y solidifica rápidamente sin dar oportunidad que crezca el grano. Muy pronto después de vaciar el metal, el gradiente de temperatura en las paredes del molde disminuye y los cristales en la zona “chill” comienzan a crecer en forma de dendritas con dirección del flujo de calor, es decir, perpendicular a las paredes del molde por lo cual se forma la segunda zona conocida como “zona columnar”. El centro del lingote es la parte que solidifica al final, esta zona se conoce como la zona “equiaxial” que consiste en granos equiaxiales orientados al azar en el centro del lingote. [6]

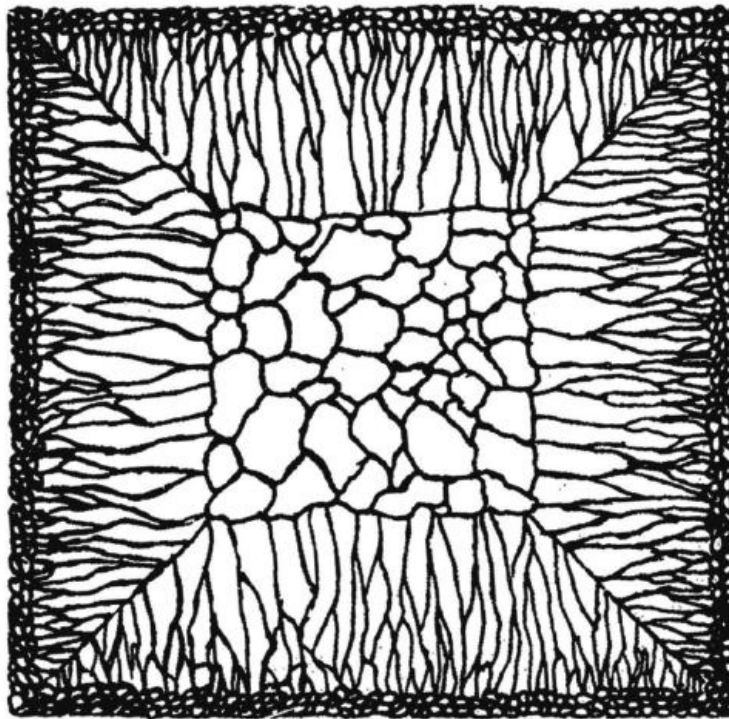


Figura 2. 5 Estructura esquemática general de solidificación de un lingote vaciado

Se da el nombre de segregación a las variaciones de composición química que se dan en las aleaciones metálicas después de la solidificación. En los lingotes de acero siempre hay zonas con variaciones sensibles de composición. La causa de la segregación es que al momento de que el lingote se va

solidificando desde la superficie, el metal sólido rechaza el soluto debido a que este tiene menor límite de solubilidad en comparación con el líquido lo que provoca un acumulamiento de soluto en la parte central del lingote (debido a que es la última zona en solidificar). [7]

En las estructuras solidificadas se pueden distinguir entre dos tipos de segregación: microsegregación y macrosegregación, la diferencia es por el tamaño, se conoce como microsegregación a la variación de composición en los espacios interdendríticos, mientras que la macrosegregación es el conjunto de mucha microsegregación y es un gran defecto en los lingotes de acero.

La macrosegregación en grandes lingotes de acero es uno de los problemas más conocidos y ahora clásicos en el campo de la solidificación. Se origina por el movimiento relativo del soluto o líquido pobre de soluto y las fases sólidas durante la solidificación a través de distancias mucho mayores que los espaciamientos de los brazos dendríticos. Además, la segregación también se puede clasificar dependiendo en la zona del lingote donde se concentra. Los principales tipos de segregación por zonas se presentan en la Figura 2. 6. Los patrones de macrosegregación comúnmente encontrados en lingotes de acero son zonas positivamente segregadas en la parte central superior del lingote, cerca de la mazarota, se forma debido al flujo a través de canales interdendríticos. La segregación negativa en la parte inferior en la zona equiaxial, en la parte del alimentador del lingote y es causada por el agrupamiento de elementos libres, más puros. La segregación inversa cerca de la superficie del lingote, segregación en "V" a lo largo de la línea central en la zona de granos equiaxiales, y segregación "A" en la zona columnar. Estas heterogeneidades pueden limitar gravemente el rendimiento en la fundición de lingotes y causar problemas en el procesamiento posterior y las propiedades finales del acero [8]. Una descripción más detallada de estos tipos de segregaciones se encuentra en el trabajo de Edward Pickering [9].

En el proceso de solidificación, las dendritas columnares crecen de la pared del molde, y el frente columnar se mueve hacia el interior; los granos equiaxiales

nuclean cerca de las paredes del molde. Dendritas columnares son estacionarias, mientras que los granos equiaxiales se asientan en la base del lingote. Los granos equiaxiales se encuentran en la región inferior del lingote, mientras que las estructuras columnares serán predominantes en la región superior del lingote. La segregación positiva se observa en la parte superior y una segregación negativa (causada por la sedimentación equiaxial) en la parte inferior del lingote. Los granos de sedimentación son pobres en elementos de soluto, por tanto, sus resultados de acumulación en la segregación negativa. La segregación positiva en la región superior del lingote es causada por el flujo de líquido enriquecido en soluto. [10]

Cuando en el líquido se encuentra gran cantidad de soluto hay posibilidades de que formen compuestos como carburos que son fases muy duras que se forman al combinarse el Carbono con algunos elementos aleantes como el Cromo, Níquel, Molibdeno, Manganeso, Vanadio. Estas segregaciones pueden causar problemas en el lingote porque presentan diferentes propiedades mecánicas que el resto del lingote.

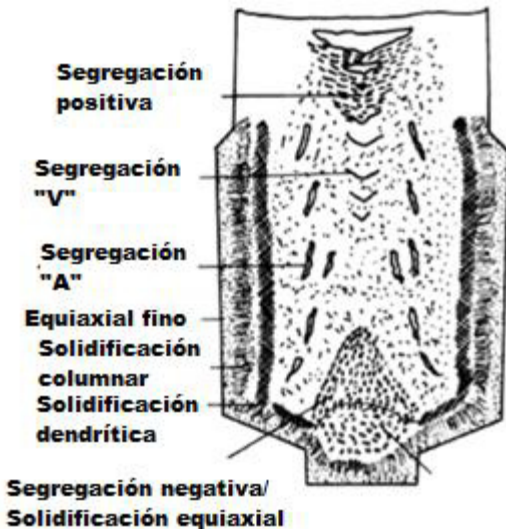


Figura 2. 6 Esquema de defectos de macrosegregación en grandes lingotes de acero.

2.3. Transformaciones de fase

Además de las deformaciones térmicas que son generadas por el calentamiento, las transformaciones de fase en el lingote producen un cambio en el volumen.

El calor latente es la energía necesaria para llevar a cabo una transformación de fase. La liberación de energía debido al calor latente puede prolongar el tiempo de transformación. Los cambios dimensionales durante el calentamiento son principalmente por la transformación austenita-ferrita que produce ($\Delta V < 0$) ya que la estructura cristalina de la ferrita es cubica centrada en el cuerpo y al cambiar a la fase austenita hay un reacomodo de átomos y generan la estructura cristalina cubica centrada en las caras la cual tiene un mayor factor de empaquetamiento.

En piezas grandes es conveniente que el calentamiento sea lento, y lo más uniforme posible, a fin de eliminar riesgos de esfuerzos internos que pudieran producir deformaciones muy altas e incluso fracturas. Los riesgos crecen al sobrepasar la temperatura A_1 , cuando el acero comienza a contraerse por la transformación ferrita α - austenita γ . Es preferible mantener la temperatura del horno a una temperatura cercana e inferior a A_1 , a fin de uniformizar la temperatura de superficie y centro del lingote antes de que se produzca la transformación de fase. En piezas grandes, cuando la superficie llega a la temperatura A_1 empieza a contraerse; en tanto que el centro, por no haber alcanzado aún esa temperatura, se está dilatando en fase ferrita por expansión térmica, por lo que las tensiones resultan aún mayores. Algo similar ocurre cuando la superficie ha sobrepasado la temperatura A_3 (temperatura donde termina la transformación a austenita) austenita comienza a dilatar y el centro, por no haber alcanzado aún esa temperatura, continúa contrayendo. Estos dos casos generan esfuerzos en sentido opuesto que incrementa la probabilidad de fractura del lingote, estos efectos se representan en la Figura 2. 7. Es conveniente una velocidad de calentamiento lenta, entre más grande sea el

tamaño del lingote o tenga una geometría compleja o si la superficie esta oxidada.

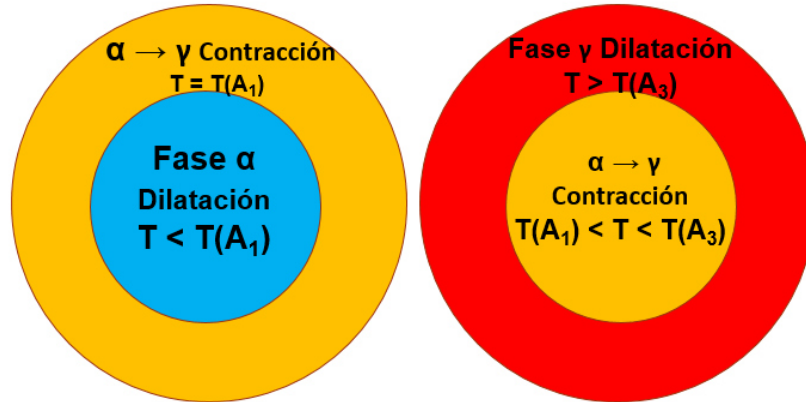


Figura 2. 7 Representación del comportamiento del lingote cuando ocurre una transformación de fase.

2.4. Antecedentes

Brada y sus colegas [11] desarrollaron un modelo computacional para calcular la distribución de temperatura interna en grandes lingotes de acero con el fin de minimizar el tiempo del lingote dentro del horno y ahorrar energía. Dijeron que la máxima diferencia de temperatura entre la superficie y el centro es cuando la temperatura del centro se detiene debido a la energía necesaria para la transformación de fase a austenita. Ellos presentaron cuatro ciclos de calentamiento diferentes y analizaron el tiempo total y la diferencia de temperatura en cada uno de ellos.

En el trabajo de Richard Sun [12] se presentan los resultados donde él simuló la velocidad de transferencia de calor para hacer un análisis de los esfuerzos térmicos que se generan debido al gradiente de temperatura entre la superficie y el centro del lingote, el criterio de fractura que él eligió es que si el esfuerzo calculado supera el 90% del esfuerzo de fluencia 0.2%, el lingote se agrieta. Él muestra que el esfuerzo máximo de tensión está en el centro del lingote.

Teniendo en cuenta esto y controlando la velocidad de calentamiento, él pudo optimizar los ciclos de calentamiento previo a la forja de grandes lingotes.

En la referencia de M.K. Alam [13] se menciona que a medida que el tamaño de los lingotes aumenta, los gradientes de temperatura y los esfuerzos térmicos que se generan son más altos. En algunos casos, los esfuerzos generados pueden ser lo suficientemente grandes como para exceder el esfuerzo de fractura del material que conduce al agrietamiento interno o deformación plástica. El problema de los riesgos de fractura térmica se puede eliminar reduciendo la velocidad de calentamiento del lingote, una práctica que aumenta el tiempo de calentamiento y por lo tanto los costos de producción. Aquí sugieren que la falla está controlada por un criterio de máximo esfuerzo normal y que los lingotes que fallaron mostraron grietas inicialmente en el centro del lingote las cuales se propagaron a las superficies laterales. La falla es causada por los esfuerzos axiales.

En Forging Technologies [14] hacen un análisis del calentamiento de lingotes de acero AISI 8630 usando método de elementos finitos con el software DEFORM donde primero le dan al material una curva de calentamiento para ver el comportamiento de los esfuerzos, y van variando la curva hasta que ningún esfuerzo a ninguna temperatura sobrepase el valor de la resistencia del acero.

Jérémy [15] presenta los resultados de los experimentos in situ de difracción de rayos X de un acero AISI 52100 (mayor porcentaje en peso de carbono y cromo que los aceros estudiados en esta tesis) a diferentes temperaturas entre 800 y 900°C para realizar un estudio de la cinética de disolución de carburos tipo M₃C (cementita). Los carburos se disuelven en el rango de temperatura 740-870°C, y esto conduce a un enriquecimiento de carbono en la austenita. En teoría, todos los carburos se disuelven por encima de 870°C y la microestructura debe consistir sólo en austenita.

J. H. Kang y colaboradores [16] hacen simulaciones de cómo disuelve la cementita en aceros con diferente composición química, tomando como

variables, el tamaño del precipitado, la fracción volumétrica inicial y la energía suministrada para desestabilizar al precipitado para conocer el tiempo de disolución. Considera que la disolución es por medio de difusión del carbono y se puede alterar variando el coeficiente de difusión o la estabilidad del precipitado. Entre más pequeño sea el precipitado tiende a disolverse más rápido.

El objetivo del estudio de G. Fantini [17] fue la determinación de los parámetros de difusión haciendo experimentos de calentamiento en lingotes para diseñar los ciclos térmicos. Ellos en sus experimentos colocaron termopares dentro del lingote para conocer la temperatura en diferentes zonas durante el calentamiento y a diferentes tiempos de calentamiento vieron cómo iba disminuyendo la segregación por medio de microscopía electrónica. Ellos obtuvieron los coeficientes de microsegregación para cada elemento de aleación.

P. Gong junto con su equipo [18] hicieron un estudio en dos aceros con distintos contenidos de Titanio para ver el comportamiento de los carburos tipo MC. Utilizaron microscopía electrónica de transmisión para confirmar precipitados de NbC en forma redonda cuyo tamaño fue menor a 10 nanómetros los cuales de acuerdo a sus resultados se disuelven en un 97% después de 100 segundos a 1200°C mientras que si existe el precipitado TiNb(CN) (debido a mayor contenido de Titanio) estos se disuelven en un 55% en las mismas condiciones ya que la presencia de titanio aumenta la estabilidad termodinámica del este compuesto. El contenido de Niobio en estos aceros es mayor que el contenido que tienen los lingotes que se estudiaron en la presente tesis.

Capítulo 3

Metodología

3.1 Selección y preparación de material

En este trabajo se utilizaron 3 diferentes lingotes de acero de un mismo proveedor, los cuales se nombrarán como lingotes “A”, “B” y “C” respectivamente, cada uno con las siguientes características.

- **Lingote “A”**

Es un lingote cónico de acero ASTM A105 cuya composición se encuentra en la **Tabla 3. 1**. Tiene un peso aproximado de 32.6 toneladas y las dimensiones en pulgadas se enlistan en la **Figura 3. 1**.

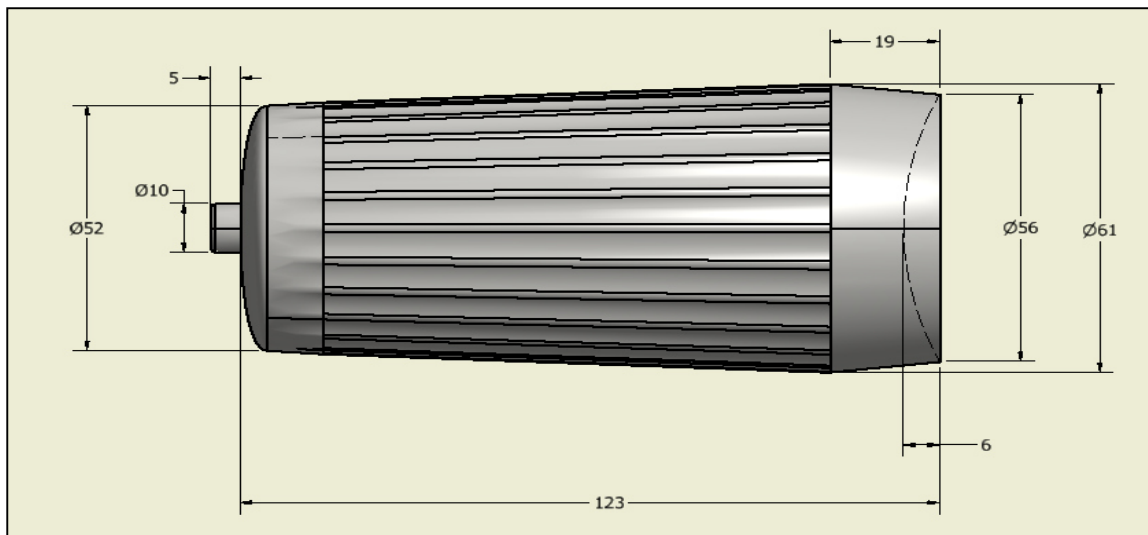


Figura 3. 1 Dimensiones del lingote "A" ASTM A105

Tabla 3. 1 Composición química (% peso) del lingote “A” ASTM A105

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.25	0.25	0.9	0.02	0.03	0.2
Mo	Ni	Cu	Nb	V	Fe
0.1	0.3	0.3	0.01	0.04	97.6

- **Lingote “B”**

Es un lingote cónico de acero AISI 4330 cuya composición se encuentra en la **Tabla 3. 2**. Tiene un peso aproximado de 35.4 toneladas y las dimensiones en pulgadas se enlistan en la Figura 3. 2.

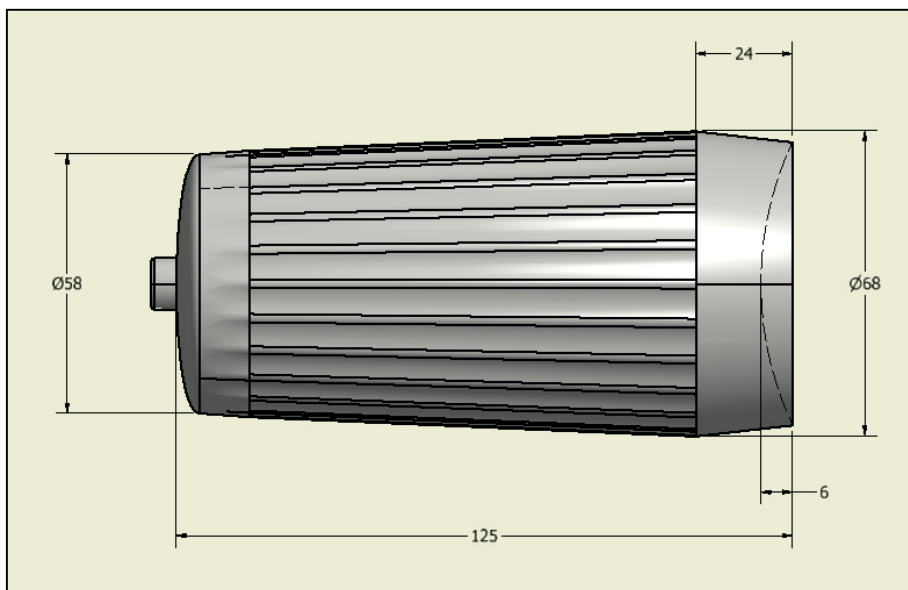


Figura 3. 2 Dimensiones del lingote "B" AISI 4330

Tabla 3. 2 Composición química (% peso) del lingote “B” AISI 4330

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.32	0.18	0.59	0.005	0.001	1.03
Mo	Ni	Cu	Nb	V	Fe
0.52	3.19	0.15	0.004	0.102	93.9

- **Lingote “C”**

Es un lingote cónico de acero AISI 8630 cuya composición se encuentra en la **Tabla 3. 3**. Tiene un peso aproximado de 17.3 toneladas y las dimensiones en pulgadas se enlistan en la **Figura 3. 3**.

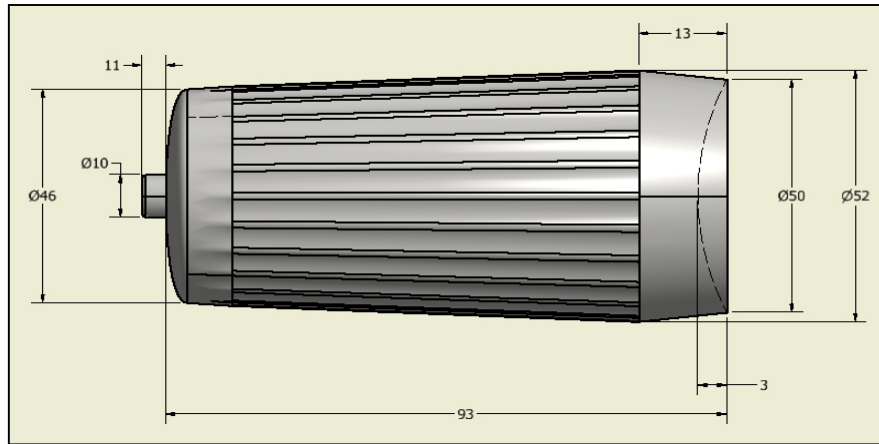


Figura 3. 3 Dimensiones del lingote "C" AISI 8630

Tabla 3. 3 Composición química (% peso) del lingote "C" AISI 8630

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.34	0.31	0.88	0.008	0.003	0.96
Mo	Ni	Cu	Nb	V	Fe
0.42	0.88	0.14	0.001	0.006	95.97

A estos tres lingotes se les soldaron placas de metal en la mazarota para montar el taladro de banco magnético (Figura 3. 4) que se utilizó para realizar los barrenos para poder introducir los termopares con los cuales vamos a obtener una medición de temperatura a la hora de la prueba. Los barrenos se realizaron con brocas de 3/16 pulgadas de diámetro.



Figura 3. 4 Taladro de banco magnético montado para generar el barreno en la mazarota.

En el lingote “A”, se barrenó sobre el centro de la mazarota a una profundidad de 16 pulgadas. En el lingote “B”, fueron 9 pulgadas de profundidad en el centro de la mazarota. En el lingote “C” se realizaron dos barrenos, uno sobre el centro de la mazarota a 13 pulgadas de profundidad y el otro a una distancia de medio radio sobre la mazarota con una profundidad de 14 pulgadas.

Una vez obtenidos los barrenos, se colocaron termopares tipo “K” con un diámetro de 1/8 de pulgada. Para asegurar la estabilidad del termopar a la hora de la prueba o de algún movimiento del lingote, se sujetó con alambre para minimizar el movimiento del termopar dentro del lingote. Al finalizar de fijar el termopar, se recubrió con pasta de fibra cerámica para aislarlo térmicamente.

Además de estos 3 lingotes se cortó una laja cercana a la parte de la mazarota de 2 pulgadas de espesor de un lingote de un acero AISI 8630 de 39 pulgadas de diámetro para poder caracterizar, mediante distintas técnicas, el material de colada. Esta laja se cortó de tal forma que obtendremos muestras del centro, medio radio, y superficie del lingote (zonas verdes) como se muestra en la **Figura 3. 5.**

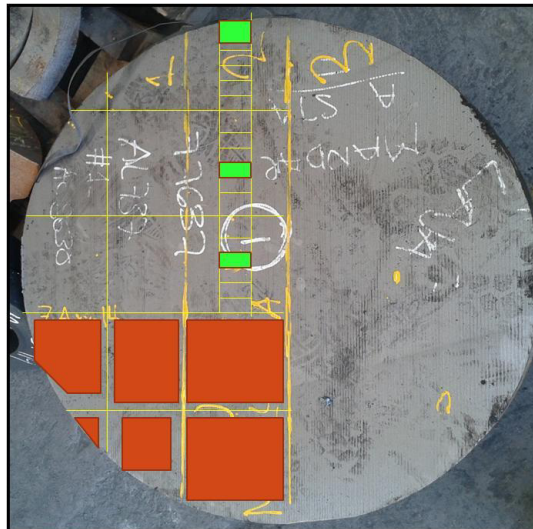


Figura 3. 5 Laja de material AISI 8630 donde muestra las zonas que fueron caracterizadas. Rojo: macroataque, Verde: MO, SEM, DRX

3.2. Curvas de calentamiento

En este paso diseñamos las curvas de calentamiento que, para cada lingote que se preparó, fueron distintas debido a la diferencia en composición química y tamaño de la pieza. La temperatura a la cual se deben calentar los lingotes para la deformación en la prensa de forja es de alrededor de los 1250°C durante cierto tiempo para homogeneizar la pieza.

3.2.1. Mediciones en la planta

Para las pruebas se utilizaron dos hornos de carro con puerta frontal que utilizan quemadores de alta velocidad, utilizan como combustible el gas natural, tienen un control automático/manual, la temperatura máxima que alcanzan es de 1350°C y la diferencia entre un horno y otro son las capacidades (100 y 150 toneladas de capacidad) cuentan con intercambiadores de calor donde se precalienta el aire a una temperatura entre los 200 y 300°C, se utiliza una relación de 10 a 1 en el suministro de aire-gas para una mayor eficiencia en los quemadores. Cada horno cuenta con 8 quemadores (4 de cada lado) ubicados en la parte superior de las paredes laterales donde también se encuentran los termopares para monitorear la temperatura dentro del horno. Los pisos de los hornos están fabricados de concreto refractario para soportar las cargas y las paredes se aíslan con fibra cerámica.

Para el lingote "A", se utilizó el horno de 100Ton el cual se cargó al 93.5% de su capacidad con 3 lingotes colocados horizontalmente como se muestra en la Figura 3. 6. La curva de calentamiento para esta hornada, con un total de 41 horas, fue la siguiente:

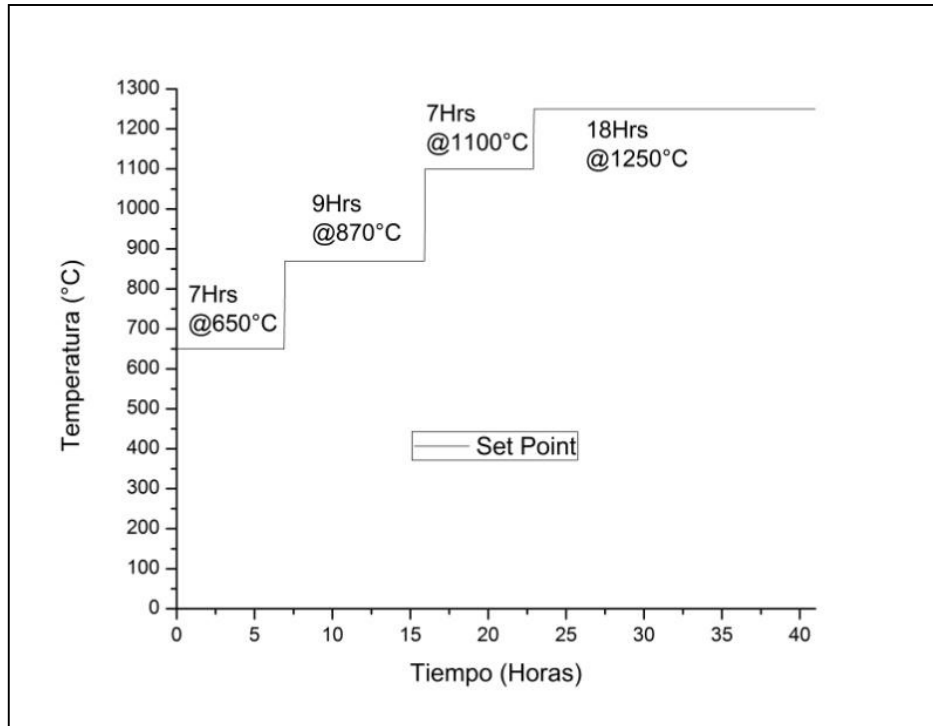


Figura 3. 6 Prueba de calentamiento del lingote "A"

Para el lingote "B", se utilizó el horno de 150Ton el cual se cargó al 90.3% de su capacidad donde el lingote a evaluar se colocó en la zona delantera del horno como se muestra en la Figura 3. 7. En esta prueba el horno no se encontraba a temperatura ambiente. La curva de calentamiento para esta hornada, con un total de 51 horas, fue la siguiente:

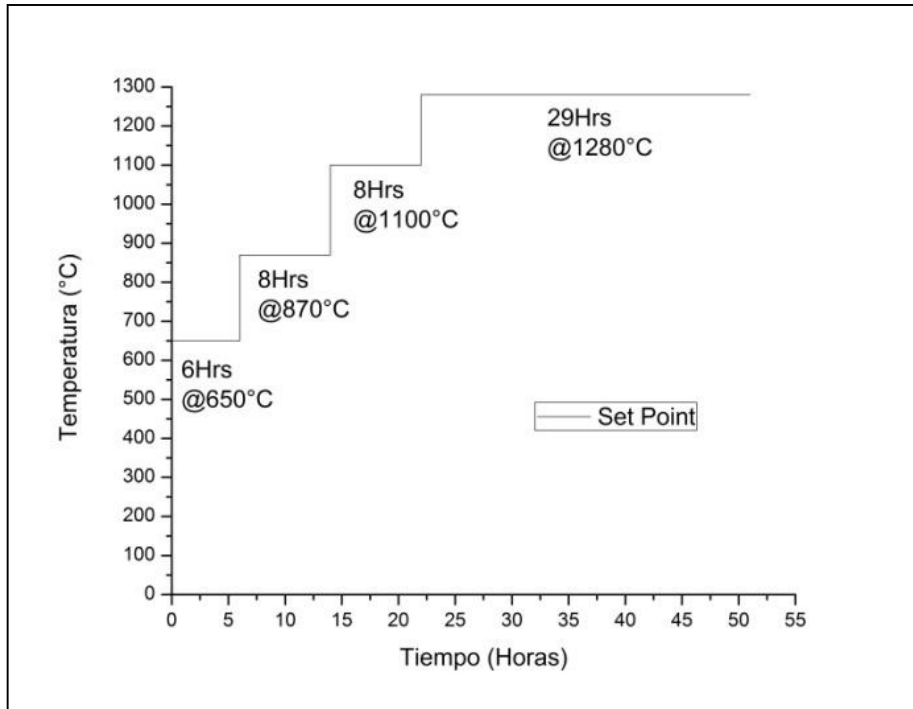


Figura 3. 7 Prueba de calentamiento del lingote "B"

Para el lingote "C", se utilizó nuevamente el horno de 100Ton el cual se cargó al 97.5% de su capacidad donde el lingote a evaluar se colocó horizontalmente en la zona delantera del horno como se muestra en la Figura 3. 8. La curva de calentamiento para esta hornada, con un total de 38 horas, fue la siguiente:

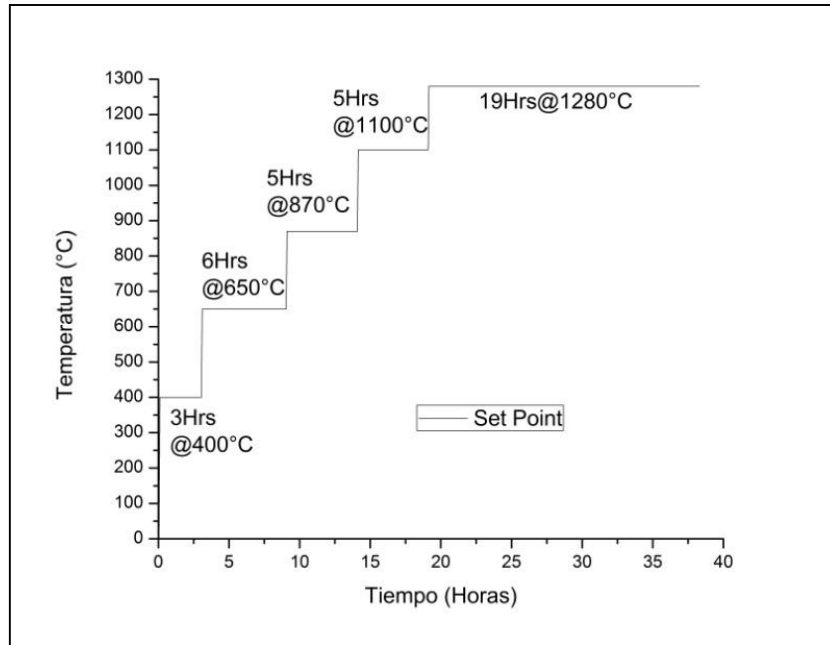


Figura 3. 8 Prueba de calentamiento del lingote "C"

Al inicio de cada una de las pruebas de calentamiento, los termopares se conectaron en el graficador "Eurotherm" donde se registran las lecturas de temperatura programada cada 3 minutos.

3.2.2. Simulaciones

La predicción de temperaturas durante el proceso de calentamiento es muy importante ya que nos ayuda a saber el tiempo necesario para obtener las condiciones requeridas en el lingote para que sea deformado.

El calentamiento se simuló por el método de elementos finitos utilizando el software “DEFORM” en el cual se dibujaron las geometrías de los lingotes conforme a las medidas ya mencionadas, las propiedades térmicas para cada material fueron calculadas con la ayuda del software JMatPro.

Se creó un modelo base con el objetivo de obtener valores de coeficiente de transferencia de calor y de emisividad, comparando la temperatura calculada con el modelo y los resultados del termopar de la primera prueba física real (lingote “A”).

El coeficiente de transferencia de calor fue calculado por el método de prueba y error a partir de los resultados reales de temperatura obtenidos en la prueba de calentamiento.

Los datos requeridos del material para un análisis de este tipo son: conductividad térmica, capacidad calorífica, densidad, módulo de Young, coeficiente de expansión, coeficiente de Poisson, curvas de fluencia, calor latente de transformación de fase, la emisividad y el coeficiente de transferencia de calor. Se tomaron estas propiedades en función de la temperatura para las fases de ferrita, austenita y perlita de cada acero.

Para comprobar que el modelo base funcionaba, se modificó en el modelo el material, el tamaño del lingote y las curvas de calentamiento programadas (pruebas de los lingotes “B” y “C”).

Una vez generado el modelo base de simulación correcto, nos ayudó a predecir la temperatura en cualquier punto del lingote en cualquier grado y perfil de acero. A partir del modelo base se modificaron las curvas de calentamiento de

las pruebas reales y se diseñaron unas curvas de calentamiento con un menor tiempo total, asegurando que tanto la temperatura calculada llegue a la temperatura que se requiere para forjar y que los valores de esfuerzos durante el calentamiento no superen los valores que se tenían con la curva de calentamiento original.

El modelo base de simulación para el lingote “A” fue creado 2D elasto-plástico con un plano de simetría en el centro del lingote para reducir el tiempo computacional. Consta de una malla con 3981 elementos con el mismo tamaño, cuenta con 4142 nodos y consiste en 14760 steps con un control del tiempo para aumentar el step de 10 segundos/step. En este modelo base se utilizó la curva de 41 horas. (Figura 3. 9)

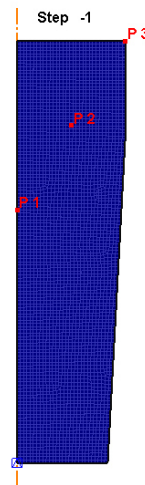


Figura 3. 9 Malla del modelo base de simulación.

Las bases para las simulaciones en DEFORM fueron las siguientes: el lingote a analizar es una pieza sólida, es decir, no se consideró la porosidad que pudiera presentar en su forma de as cast, que el lingote tiene un perfil circular y volumen en forma cónica con la superficie lisa, además, se considera que el lingote no tiene esfuerzos residuales antes del calentamiento.

Al modelo se le introducen valores de cambio de volumen debido a la transformación y el coeficiente de expansión térmica para calcular la deformación en el lingote en función de la temperatura.

El coeficiente de expansión térmica, es una propiedad del material que nos indica cuanto se deforma con el cambio en la temperatura, los valores de expansión térmica para los diferentes aceros se muestran en el anexo I, además, en la Figura 3. 10 se muestra el comportamiento de esta propiedad en función de la temperatura para el acero 4330 obtenido en JMatPro considerando el cambio de volumen por transformación de fase a 610°C aproximadamente.

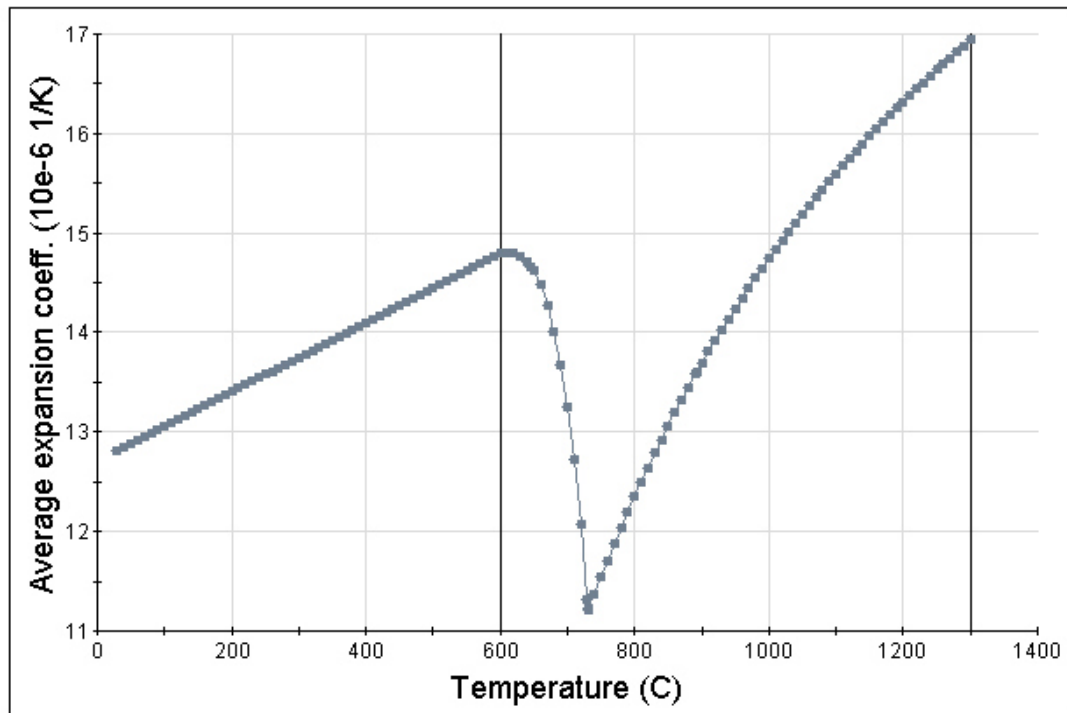


Figura 3. 10 Comportamiento del coeficiente de expansión térmica en función de la temperatura para el acero 4330 obtenido por JMatPro.

Con los datos de las curvas de fluencia en función de la velocidad de deformación y la temperatura podemos conocer la fuerza y energía requerida para que un elemento se deformara.

Para calcular los niveles de esfuerzos generados durante el calentamiento del lingote, es necesario conocer la distribución de temperatura dentro del lingote en función del tiempo. La transferencia de calor en la superficie del lingote es calculada por la combinación de los mecanismos de convección y radiación. La distribución de la temperatura hacia el interior del lingote se obtiene de la solución de una ecuación diferencial de transferencia de calor por conducción asumiendo que las propiedades térmicas no tienen una relación lineal con la temperatura. Al momento de llegar a la transformación de fase se tomó en cuenta el calor latente de transformación que es la energía que tiene que superar el material para llevar a cabo la transformación, por lo que, al momento de la transformación, el cambio en la temperatura es más lento.

Se consideró un modelo elastoplástico por lo cual se toma en cuenta la deformación plástica, aunque sea muy pequeña, disminuye considerablemente los esfuerzos dentro del lingote a comparación de un modelo elástico. Se toma en cuenta el cambio de volumen por transformación de fase, que en este caso es una contracción en el volumen debido a que la estructura cristalina de la ferrita es cúbica centrada en el cuerpo y transforma a austenita y su estructura cristalina es cubica centrada en las caras.

DEFORM [19] utiliza el esfuerzo de Von Mises para definir el esfuerzo efectivo y se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (4)$$

Donde σ_1 , σ_2 and σ_3 son los esfuerzos principales. Para la mayoría de los metales, el esfuerzo efectivo indica el comienzo de la deformación plástica.

El esfuerzo máximo principal se usa para saber en las diferentes zonas del lingote si están en tensión o en compresión. El esfuerzo máximo principal es importante para determinar si un lingote se romperá o no.

El esfuerzo hidrostático o esfuerzo principal está dado por la siguiente ecuación:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (5)$$

3.3. Fases presentes

3.3.1. JMatPro

JMatPro software [20] (Propiedades de los materiales basado en Java) es un programa que se utiliza para el cálculo de propiedades y el comportamiento de aleaciones. JMatPro puede calcular propiedades termofísicas, físicas, desde temperatura ambiente hasta temperaturas en el estado líquido. JMatPro tiene la sensibilidad para calcular propiedades en cada fase de la aleación como el volumen molar, conductividad térmica, el módulo de Young y el coeficiente de Poisson.

Una vez que la propiedad de cada fase individual se define, la propiedad de la aleación final se puede calcular utilizando modelos mixtos que puede predecir la microestructura final. Estos modelos, también permiten los cálculos para materiales multifásicos.

JMatPro ha desarrollado una extensa base de datos para el cálculo de las propiedades físicas en estado termodinámico.

Utilizando relaciones bien establecidas entre ciertas propiedades permite calcular otras propiedades sin usar más bases de datos, por ejemplo: volumen, densidad, coeficiente de dilatación módulo de Young.

Para calcular las propiedades de las fases de los materiales, fue necesario introducir la composición química de las aleaciones, así como el rango de temperatura en las cuales queremos resultados. En la Figura 3. 11 se muestra el ejemplo para el lingote “A” (A105).

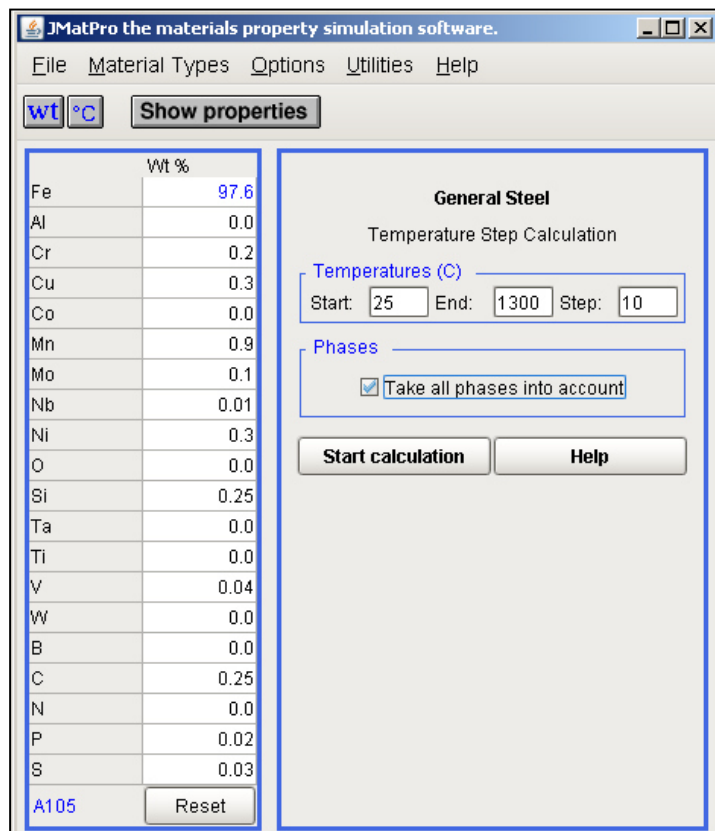


Figura 3. 11 Pantalla de JMatPro para el cálculo de propiedades en el acero ASTM A105.

3.3.2. Pruebas de laboratorio

Se realizaron distintas pruebas de laboratorio para caracterizar la laja que fue mencionada en la sección 3.1.

Para sacar las muestras, primero, se utilizó una cortadora de sierra cinta por las dimensiones iniciales de la laja, de la cual se obtuvieron las piezas para el macroataque (zonas rojas en la **Figura 3. 5**) y después se cortaron 3 muestras de aproximadamente de 6 x 6 x 4 cm en el centro, medio radio y superficie (zonas verdes en la **Figura 3. 5**), las cuales se analizaron por espectroscopia de chispa para comparar la composición química y la posible segregación a través de la sección radial del lingote. Se realizaron 3 análisis químico por muestra, cuidando que las marcas del análisis no se empalmaran una con otra como se observa en la Figura 3. 12.

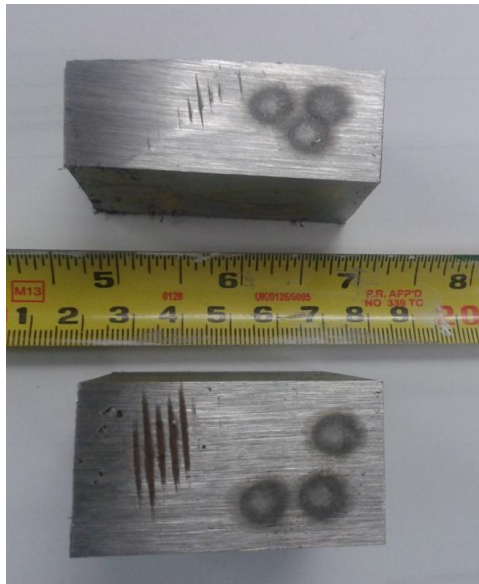


Figura 3. 12 Muestras de la superficie y medio radio donde fue realizado el análisis químico por espectroscopia de chispa.

Después estas 3 muestras se pasaron a una cortadora de disco abrasivo para obtener muestras de dimensiones más pequeñas (2x2x1 cm aproximadamente) que fueran adecuadas para los equipos que fueron utilizados posteriormente.

3.3.2.1. Macroataque

El objetivo del macroataque es revelar la estructura, en este caso de colada, o la heterogeneidad del lingote, así como el tamaño y la orientación de crecimiento de los granos.

Para esta prueba se obtuvieron 6 piezas que formaban aproximadamente un cuarto del área radial de la laja para facilitar su manipulación, estas fueron pulidas con un esmeril para generar una superficie suficientemente plana. El reactivo de ataque químico que se utilizó fue una mezcla de ácido clorhídrico y etanol (50 y 50% en volumen) donde las superficies de las piezas fueron sumergidas durante 5 a 10 minutos a temperatura ambiente y una vez completado el tiempo de inmersión se limpiaron con alcohol.

3.3.2.2. Microscopia óptica

El microscopio óptico se utilizó para observar la microestructura a diferentes aumentos, desde 50X hasta 1000X, de las distintas zonas que se estudian (centro, medio radio y superficie).

Para esta técnica se requiere que la muestra tenga una superficie plana por lo cual se llevó a cabo una preparación especial que comprende los siguientes pasos:

- Desbaste de la superficie con lijas de carburo de silicio (SiC) colocadas en platos giratorios empezando por la lija número de grano 80, 120, 220, 320, 500, 800 hasta la 1200 enfriando con chorro de agua.
- Pulido mecánico con un paño y pasta de diamante de 3 micras hasta remover todas las rayas que dejaron las lijas y obtener un acabado espejo.
- Ataque químico: sirve para revelar la microestructura y consiste en cubrir la superficie de la cara pulida con el reactivo durante 5 a 10 segundos. Para este grado de acero se utilizó picral saturado como reactivo que se forma al mezclar ácido pícrico, ácido clorhídrico y etanol.

3.3.2.3. Microscopía electrónica de barrido

El microscopio electrónico de barrido, SEM por sus siglas en inglés, es un instrumento que permite la observación y caracterización superficial de materiales

La principal ventaja de la microscopía electrónica de barrido es que alcanza una mayor amplificación y resolución (de hasta aproximadamente 100 Angstroms) de la imagen de la muestra que el microscopio óptico. Esto se debe a que la fuente de iluminación usada en este equipo es un haz de electrones en lugar de luz.

El objetivo de esta técnica en el proyecto es la interacción de los electrones con la muestra ya que puede dar información como la composición química, el tamaño y la morfología de las fases que están presentes en la muestra, que tienen una relación con las propiedades.

El microscopio electrónico de barrido que fue utilizado para estas pruebas cuenta con un filamento que genera un haz de electrones para iluminar la muestra, además, está equipado con diversos detectores: un detector de electrones secundarios para obtener imágenes de alta resolución (SEI), un detector de electrones retrodispersados que permite la obtención de imágenes de composición y topografía de la superficie (BEI) y un detector de energía dispersiva (EDS) que permite detectar los rayos X generados por la muestra y realizar análisis de distribución de elementos en superficie.

Los electrones secundarios son aquellos que se producen del átomo al chocar con él un electrón primario, son de baja energía por lo que sólo dan información acerca de la topografía de la superficie. Los electrones retrodispersados son los que cambian su trayectoria al atravesar un átomo, tienen mayor energía que los secundarios por lo que dan información de regiones más profundas de la muestra. Son sensibles a la composición química de la muestra, y en la imagen, las áreas con elementos pesados aparecen más brillantes.

Los diferentes detectores recolectan los electrones generados después de la interacción con la superficie de la muestra y crean una imagen que refleja las características.

Las muestras que se utilizaron en esta prueba fueron las mismas que se observaron en el microscopio óptico, ya que los únicos requisitos eran que fueran conductoras y que cupieran dentro del porta muestras del equipo, así que, se volvieron a pulir acabado espejo siguiendo el mismo procedimiento y después fueron atacadas con el mismo agente químico picral saturado. Las 3 muestras se observaron a magnificaciones de 100x, 300x, 1000x, 2000x y 3000x para obtener imágenes de los detectores de electrones secundarios (SEI) y de electrones retrodispersados (BES), además, dentro del SEM se encuentra integrado el EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) que utiliza la difracción de rayos X para hacer un microanálisis tanto puntual y de mapeo de la composición química de los elementos que se encuentran en las muestras.

3.3.2.4. Difracción de rayos X

El difractómetro de rayos X es el instrumento que permite la identificación de las estructuras cristalinas, fundamentado en la difracción de Bragg.

La técnica de difracción de rayos X consistió en incidir un haz de rayos X, de una determinada longitud de onda sobre las 3 muestras cristalinas. Los átomos ordenados tienen una separación entre planos, conocida como distancia interplanar. Los rayos X son electrones en movimiento, la longitud de onda de este haz de electrones es parecido al tamaño de los átomos, entonces, cuando una onda incidente choca con un átomo en el cristal, esta onda es difractada, pero como al mismo tiempo se están incidiendo muchísimas ondas, algunas chocan con los átomos que están en la superficie del cristal, y algunos otros chocan con átomos que están en el siguiente plano de átomos más profundo a la superficie del material; en este caso, debido a que la distancia que recorre cada haz es diferente, este puede generar una interferencia constructiva o

destruccion, para que se genere una señal en el detector, se requiere una interferencia constructiva, o bien, que las ondas salgan en fase, para esto es necesario que las ondas recorran una misma distancia o una distancia extra que sea equivalente a un múltiplo de la longitud de onda con la que el haz fue incidido, o bien, que cumpla la ley de Bragg (Figura 3. 13)

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

Dónde: n es un número entero,

λ es la longitud de onda de los rayos X,

d es la distancia entre los planos de la red cristalina y,

θ es el ángulo entre los rayos incidentes y los planos de dispersión.

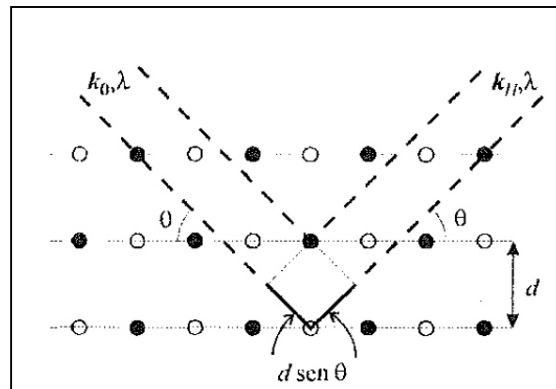


Figura 3. 13 Difracción de rayos X

Con el patrón de difracción de rayos X podemos determinar el tipo de estructura cristalina que presenta la muestra, una fase cristalina dada siempre produce un patrón de difracción característico,

Un difractograma de rayos X nos da los valores de intensidad (eje Y) en función del ángulo de difracción (2θ) obteniendo una serie de picos en diferentes ángulos.

Para nuestras pruebas se utilizó un difractómetro de rayos-X (Bruker D8 Advance) equipado con una fuente de cobre con una longitud de onda de 1.5418 Angstroms, operado con un voltaje de 40 KV y corriente de 30 mA. Los

datos se recolectaron en un intervalo de 2θ de 20 a 100° cada 0.02° con un tiempo de análisis de 30 minutos por muestra. La muestra se mantuvo rotando a una velocidad de 15 revoluciones por minuto para minimizar los efectos de orientación preferente y favorecer la orientación de los cristales al azar.

Las muestras analizadas fueron las mismas 3 que se utilizaron para microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido (centro, medio radio y superficie), por lo que se volvieron a pulir acabado espejo, para esta técnica no se requirió ataque químico.

Se realizó un análisis cualitativo mediante la identificación del patrón de cada fase donde se utilizó el software “diffrac.suite EVA” que cuenta con una base de datos que contiene información cristalográfica y bibliográfica para gran cantidad de fases en diferentes materiales.

3.4. Disolución de los precipitados

Uno de los requerimientos para forjar un lingote que viene de un proceso de vaciado, es tener una estructura tan homogénea como sea posible, y para conseguirlo es necesario suministrar energía (calor) al lingote para disolver en la matriz todo tipo de precipitados que se generaron al momento de la solidificación, principalmente, los carburos.

3.4.1. Calorimetría Diferencial de Barrido

La calorimetría diferencial de barrido, o DSC, es una técnica experimental usada para estudiar la cinética en las transformaciones de fase y permite determinar la cantidad de calor que absorbe o libera un material, cuando se lleva a cierta temperatura, durante un tiempo determinado.

Para esta prueba se necesitan dos crisoles, uno donde se pone la muestra y el otro es de referencia, que está vacío.

El equipo DSC se encarga de medir y compensar la energía suministrada (proceso exotérmico) o absorbida (proceso endotérmico) por la muestra para mantener el crisol de la muestra y el crisol de referencia a la misma temperatura durante la curva de calentamiento establecida.

En este proyecto se utilizó calorimetría diferencial de barrido para analizar el comportamiento de la muestra del lingote durante el calentamiento, y así, observar los procesos endotérmicos o exotérmicos que suceden al disolver o precipitar algún compuesto, como algún tipo de carburo, presente en el material a cierta temperatura, y la transformación de fase a austenita.

El DSC que fue utilizado es de modelo DSC 404 F3 Pegasus (Figura 3. 14), capaz de trabajar en temperaturas desde -150 a 2000°C , y calentar a velocidades desde $.001$ $^{\circ}\text{K}/\text{min}$ a 50 $^{\circ}\text{K}/\text{min}$ en atmosferas inertes, generando un vacío de 10^{-4} milibares. Cuenta con el software “Proteus” que incluye lo necesario para evaluar los resultados.

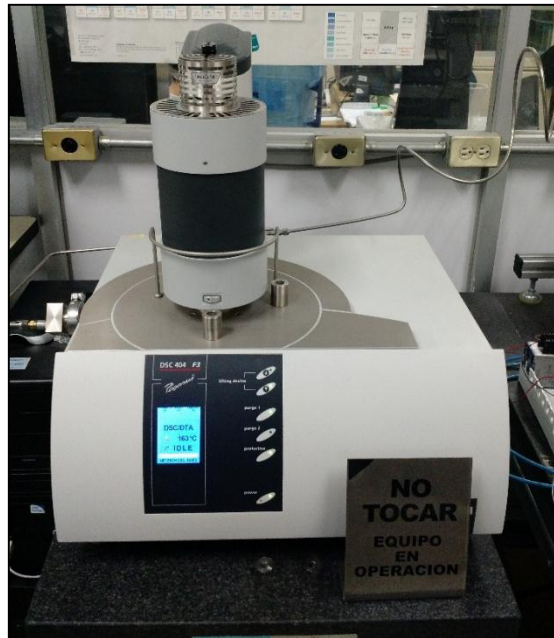


Figura 3. 14 Equipo de calorimetría diferencial de barrido

El crisol de alúmina con 99.6% de pureza fue el seleccionado ya que puede

trabajar en temperaturas de hasta 1750°C en atmosferas inertes, se caracterizan por mantener buena resistencia química a altas temperaturas y tener buena resistencia al desgaste. El tamaño de estos crisoles es de 6.8 milímetros de diámetro y 4 milímetros de altura con un volumen de 145 micro litros. El crisol que se utilizó para colocar las muestras tiene una masa de 297.9 miligramos, el crisol que se utilizó como referencia para las pruebas es de 316.9 miligramos.

En esta técnica se utilizaron muestras solamente de la parte del centro de la laja del lingote 8630. Antes de poner las muestras en el DSC fue necesario hacer pruebas con los crisoles vacíos como línea base para conocer el flujo de calor del DSC cuando opera en vacío. Las líneas base se llevaron a cabo con los parámetros en los cuales se iban a someter las muestras, los cuales se muestran en la Tabla 3. 4.

Tabla 3. 4 Condiciones a las que se sometieron las muestras para análisis térmico DSC.

Prueba de Calorimetría Diferencial de Barrido			
Número de Muestra	Temperatura (°C)	Velocidad de calentamiento (°K/min)	Tiempo de permanencia
1	1200	20	0
2	1200	15	0
3	1200	10	0
4	1200	35	0
5	1200	50	0
6	700	20	1 hora
7	750	20	1 hora
8	850	20	1 hora

Una vez obtenidas las líneas base para cada muestra, se siguió con las pruebas con muestra.

Las muestras de DSC deben ser tan pequeñas para que entren en el crisol de alúmina. La masa y la geometría de las muestras debe ser lo más parecida

posible para tener una mayor exactitud en los resultados por lo que deben estar en un rango de 15 a 30 miligramos.

Para las pruebas de DSC se utilizó un par de guantes de nitrilo y unas pinzas de acero inoxidable para el manejo de la muestra y los crisoles para evitar contaminarlos. Se colocó la muestra ya preparada dentro del crisol y una vez listo, se colocaron ambos crisoles (muestra y referencia) en una pequeña plataforma dentro del DSC que tiene los termopares por debajo (Figura 3. 15). Se tuvo cuidado para que los crisoles siempre estuvieran colocados en la misma posición, es decir, que el crisol de referencia siempre fue el crisol de referencia para todas las pruebas y estuvo colocado en el mismo lugar de la plataforma (crisol de referencia en la parte de atrás siempre), esto para evitar las variables que pudieran existir.



Figura 3. 15 Plataforma para colocar los crisoles dentro del DSC.

Después de colocar los crisoles, se cerró el horno y se purgó encendiendo la bomba de vacío hasta un 94%, para abrir la llave e introducir argón hasta 4% para una atmosfera inerte. Se introducen los parámetros en el software para

cada prueba (masas de los crisoles, masa de la muestra, velocidad y temperatura de calentamiento).

3.4.1.1. Preparación de la muestra

La preparación de una muestra para análisis por calorimetría diferencial de barrido es un poco más compleja que las otras técnicas utilizadas en este proyecto debido al tamaño y geometría en que se requiere.

Las muestras fueron obtenidas del centro del lingote que caracterizamos y se maquinaron barras de 5 milímetros de diámetro y el largo de la barra fue el espesor de la laja. Se tomó una barra maquinada y con la ayuda de la cortadora programable de disco de diamante, a una velocidad de avance de .015 milímetros por segundo, se obtuvieron cortes de 1 milímetro de espesor para obtener la masa de la muestra requerida para nuestras pruebas que debiera ser entre 15 y 30 miligramos.

Se empezó por medir la masa inicial de la muestra con una báscula digital y para tener la muestra en el rango de masa que deseamos, la muestra se pegaba con kolaloka a una pastilla de baquelita (de masa conocida) para desbastar la muestra mecánicamente con lijas de grano 800 y más finas hasta obtener la masa indicada. Para desprender la muestra de la pastilla de baquelita se depositaba en un vaso de precipitado con acetona pura hasta cubrir la baquelita y la muestra juntas, después se metía al ultrasonido durante 10 a 15 minutos.

La muestra requiere de un electropulido para tener una superficie uniforme minimizando la micro rugosidad y relajar tensiones que dejó el trabajo mecánico.

El electropulido consiste en eliminar metal de la superficie mediante la aplicación de una corriente eléctrica con la ayuda de la fuente de poder y sumergiendo la muestra en un electrolito.

El electrolito a utilizar tiene una composición de 800 mililitros de etanol, 140 mililitros de agua destilada (H₂O) y 60 mililitros de ácido perclórico (HClO₄) al 60%.

Se conectó la fuente de poder al recipiente metálico donde fue depositado el electrolito, y por otro lado a las pinzas de acero inoxidable con las cuales se sujetó la muestra como se muestra en la Figura 3. 16.



Figura 3. 16 Fuente de poder conectada al recipiente con electrolito y a las pinzas de acero inoxidable

La fuente de poder se programó para trabajar a 10 Volts. Las muestras se sumergieron en el baño químico por aproximadamente 10 segundos, se limpiaron con etanol y nuevamente se registró la masa de la muestra (Figura 3. 17, Tabla 3. 5).

Tabla 3. 5 Masa de las muestras después del electropulido

Número de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Masa (miligramos)	19.5	25.4	24.0	22.3	27.3	24.7	19.0	19.8

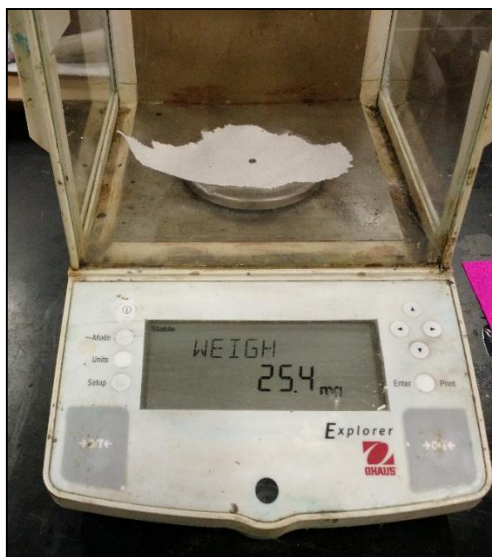


Figura 3. 17 Bascula digital para obtener la masa de las muestras

Capítulo 4

Resultados

4.1 Pruebas de calentamiento en planta

La temperatura registrada por el termopar del lingote "A" y la temperatura ambiente medida dentro del horno se graficaron durante el ciclo de calentamiento establecido como se muestra en la Figura 4. 1. Se observa que la temperatura del termopar del lingote "A" presenta un retraso de aproximadamente 7 horas comparado con el termopar del horno; este retraso disminuye al alcanzar el escalón de 1250°C. La temperatura registrada por el termopar tardó aproximadamente 10 horas para igualar a la temperatura del horno una vez que está estable a la temperatura de forja (1250°C).

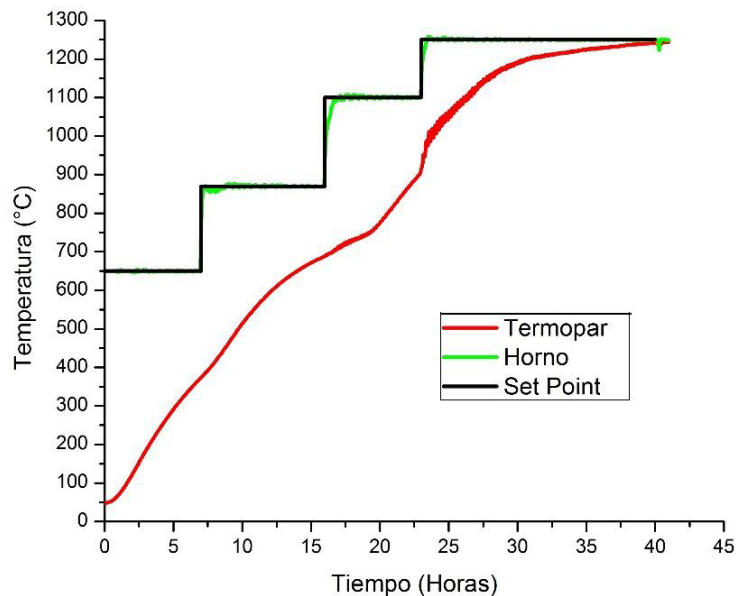


Figura 4. 1 Registro de los termopares del horno y de la pieza para la prueba del lingote "A".

El lingote “B” se calentó usando el ciclo de calentamiento mencionado en la Figura 3.7 y los resultados de las mediciones del termopar que fue colocado en el interior del lingote junto con la temperatura medida dentro del horno durante el ciclo de calentamiento se pueden apreciar en la Figura 4. 2. En esta prueba, el horno no se encontraba a temperatura ambiente cuando el lingote fue colocado dentro de él, es por eso que cuando inició la curva de calentamiento establecida, el lingote ya se encontraba por encima de la temperatura ambiente. Además, se observan dos eventos con problemas operativos en los que los quemadores del horno se apagan. El primero de ellos, cuando el set point cambia a 870°C la temperatura del horno cae a 550°C, el operador enciende el horno rápidamente y este recupera su temperatura, sin embargo en el segundo, cuando el set point cambia a 1100°C, hay un retraso de aproximadamente 3 horas para reencender el horno y la temperatura cae hasta 700°C. La temperatura registrada por el termopar tardó aproximadamente 13 horas para alcanzar la temperatura del horno una vez que este está estable a la temperatura de forja.

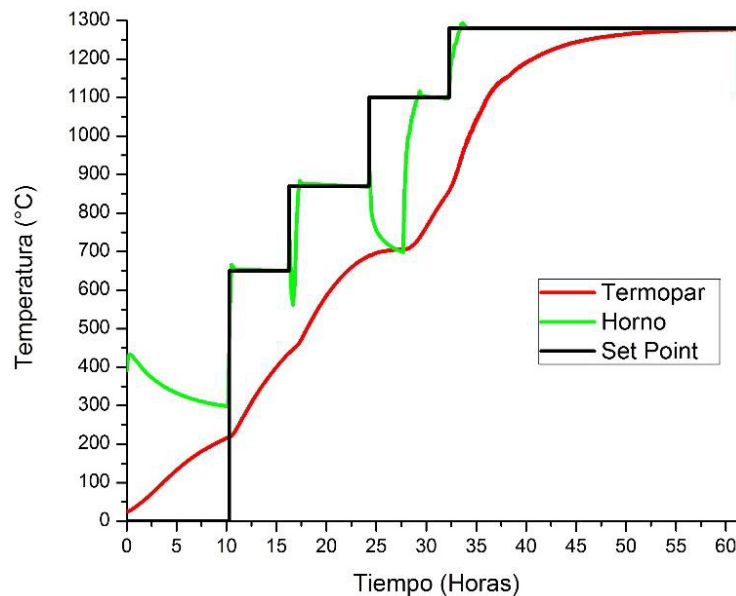


Figura 4. 2 Registro de los termopares del horno y de la pieza para la prueba del lingote “B”.

La Figura 4. 3 muestra los resultados de las mediciones de los dos termopares que fueron colocados en el lingote “C” en el centro y medio radio respectivamente. En esta prueba se presentó el caso contrario a la prueba del lingote “B”, ya que la temperatura del horno sobrepasó la temperatura programada en el intervalo de tiempo donde la temperatura debiera estar a 650°C y alcanzó valores de 700°C. En cuanto a los termopares dentro del lingote se observa que, durante la mayor parte del ciclo de calentamiento, la temperatura del termopar al centro del lingote se mantiene por debajo de la temperatura del termopar situado a ½ radio. La temperatura registrada por los termopares tardó aproximadamente 10 horas para igualar a la temperatura del horno una vez que el horno se estabiliza a la temperatura de forja.

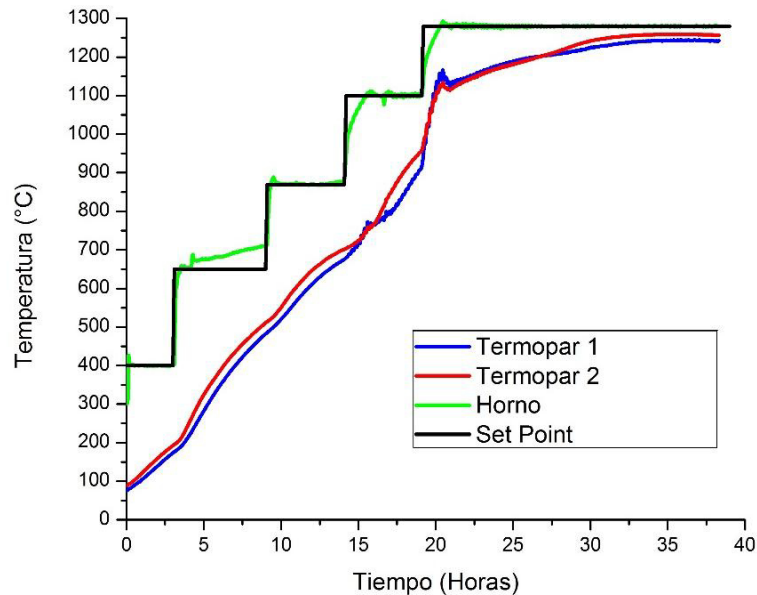


Figura 4. 3 Registro de los termopares del horno y de la pieza para la prueba del lingote “C”.

4.2 Simulaciones

4.2.1 Lingote “A”

El modelo de simulación, descrito en la sección 3.2.2, con las características del lingote “A”, se corrió repetidas veces usando diferentes valores para el

coeficiente de transferencia de calor por convección y para la emisividad, la comparación entre las temperaturas calculadas y las mediciones del centro del lingote se muestran en la Figura 4. 4; los valores que dieron el mejor resultado se presentan en la Tabla 4. 1. La emisividad se tomó en dos rangos de temperaturas debido a la oxidación que presenta la superficie del lingote y la diferencia en las fases que existen en esos rangos de temperaturas.

Tabla 4. 1 Valores de emisividad y coeficiente de transferencia de calor en función de la temperatura utilizados para el modelo de simulación.

Temperatura (°C)	Emisividad	Coeficiente de transferencia de calor $\frac{N}{s \cdot mm \cdot ^\circ C}$
25-700	.5	0.015
701-1250	.8	

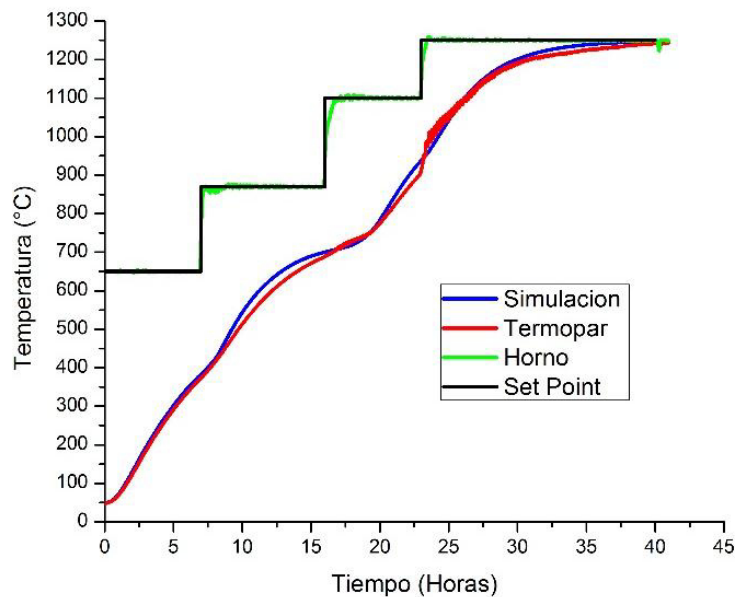


Figura 4. 4 Comparación de los resultados experimentales contra simulación del lingote “A”.

La diferencia de temperatura entre los resultados de la simulación y la

temperatura medida por el termopar tiene un promedio de 13.86°C durante todo el ciclo de calentamiento.

Ya con el modelo validado, se calculó la distribución de temperatura dentro del lingote durante el calentamiento donde se observó un gradiente máximo de temperatura entre el centro y la superficie de 526°C después de 23 horas y 13 minutos de calentamiento justo cuando el centro del lingote se encuentra transformando a la fase austenita como se muestra en la Figura 4. 5.

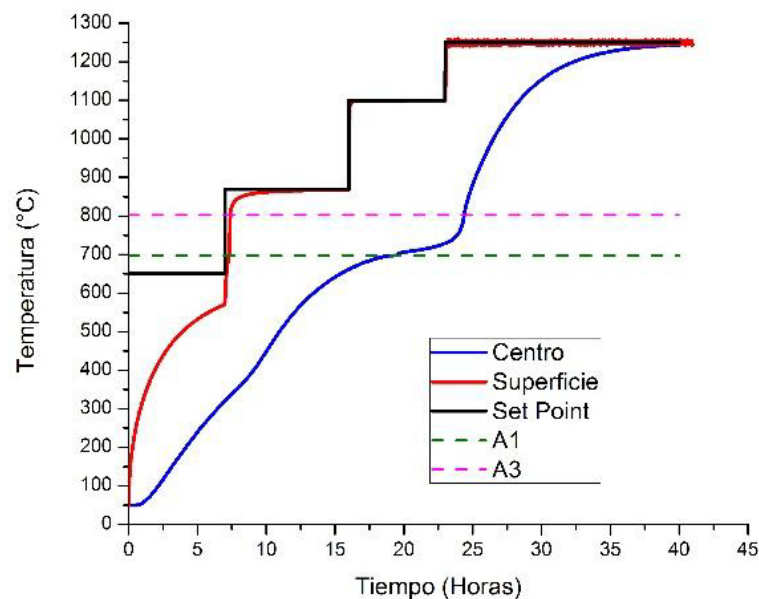


Figura 4. 5 Resultados por simulación de temperatura del punto más frío y el punto más caliente durante el ciclo de calentamiento en el lingote “A”.

Se calcularon también los valores de esfuerzos hidrostáticos, efectivos y máximos principales para el centro (parte más fría), $\frac{1}{2}$ radio, y superficie (parte más caliente) del lingote (puntos señalados como 1, 2 y 3 en la Figura 3. 9). Los resultados se muestran en las siguientes figuras.

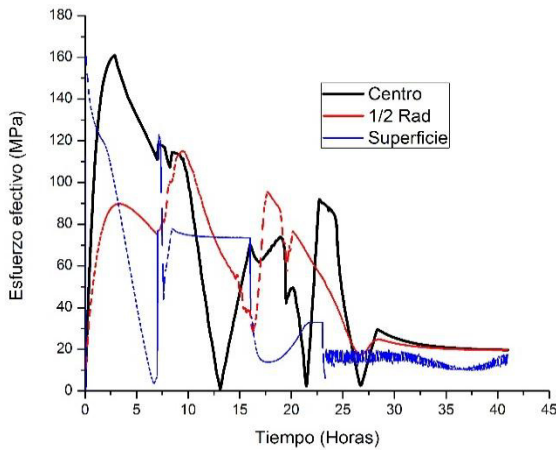


Figura 4. 6 Esfuerzo efectivo en centro, medio radio y superficie durante el ciclo de calentamiento del lingote "A".

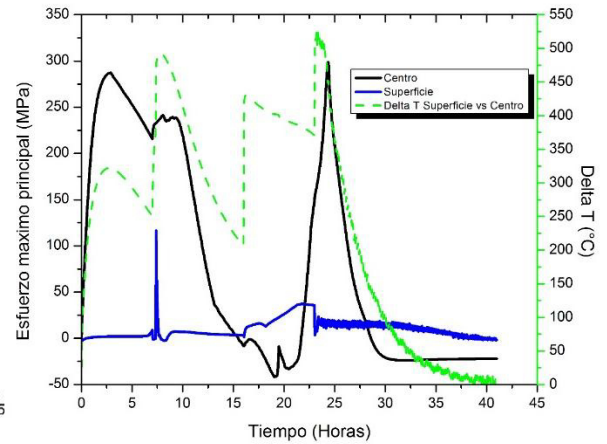


Figura 4. 8 Esfuerzo máximo principal y gradiente de temperatura entre el centro y la superficie del lingote "A".

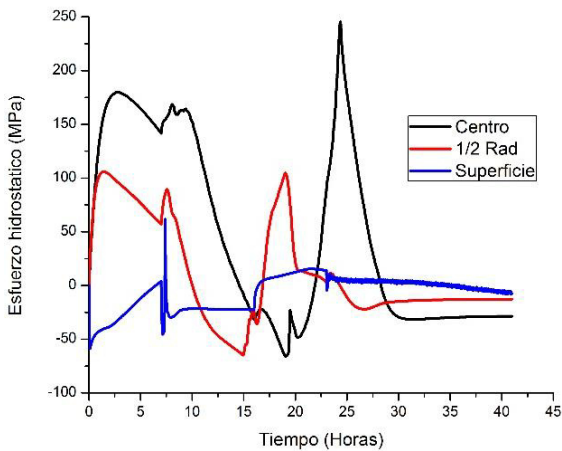


Figura 4. 7 Esfuerzo hidrostático en centro, medio radio y superficie durante el ciclo de calentamiento del lingote "A".

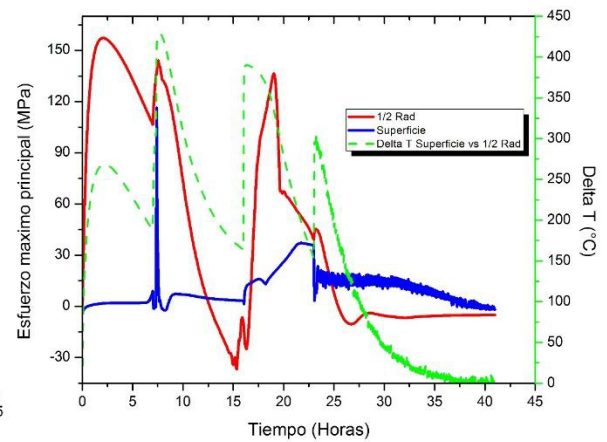


Figura 4. 9 Esfuerzo máximo principal y gradiente de temperatura entre el medio radio y la superficie del lingote "A".

El esfuerzo efectivo presenta su valor máximo de 161 MPa en el centro del lingote después de 3 horas del ciclo de calentamiento como se muestra en la Figura 4. 6. El esfuerzo hidrostático (Figura 4. 7) tiene su valor máximo en tensión de 245 MPa en el centro del lingote después de 24 horas y 23 minutos de calentamiento. El máximo esfuerzo hidrostático en compresión también se presenta en el centro del lingote con un valor de 66 MPa después de 19 horas

de calentamiento. El esfuerzo máximo principal calculado tiene un comportamiento similar al gradiente de temperatura durante el ciclo de calentamiento como se muestra en la Figura 4. 8 donde se grafica la diferencia de temperatura entre el centro y la superficie del lingote y se compara el esfuerzo máximo principal en el centro el cual sigue el mismo comportamiento. En la Figura 4. 9, se muestra la diferencia de temperatura entre el medio radio y la superficie comparada con el esfuerzo máximo en el medio radio durante el ciclo de calentamiento el cual también presenta un comportamiento similar al gradiente de temperatura; el valor máximo de esfuerzo principal se presenta en el centro del lingote después de 24 horas con 20 minutos de calentamiento con un valor de 298 MPa.

4.2.2 Lingote “B”

El lingote “B” fue simulado usando el mismo modelo que se utilizó para el lingote “A”, con la temperatura medida dentro del horno en la prueba B, obteniendo resultados de la simulación muy cercanos a las mediciones de temperatura en el termopar como se muestra en la Figura 4. 10.

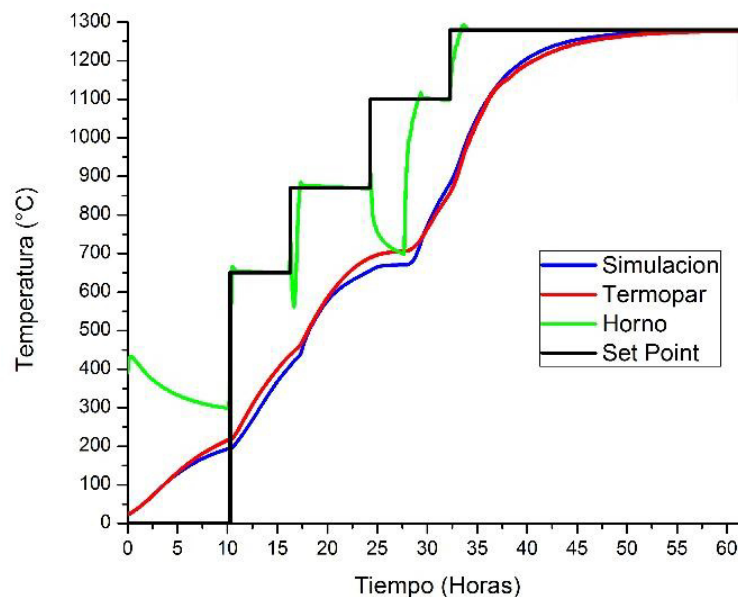


Figura 4. 10 Comparación de los resultados experimentales contra simulación del lingote “B”.

En esta prueba, el promedio en la diferencia de temperaturas entre la simulación y termopar fue de 14°C durante el ciclo completo de calentamiento. Las temperaturas de la superficie y del centro del lingote presentan su mayor diferencia con un valor de 641°C después de 34 horas y 30 minutos, cuando el centro está terminando su transformación a austenita, Figura 4. 11.

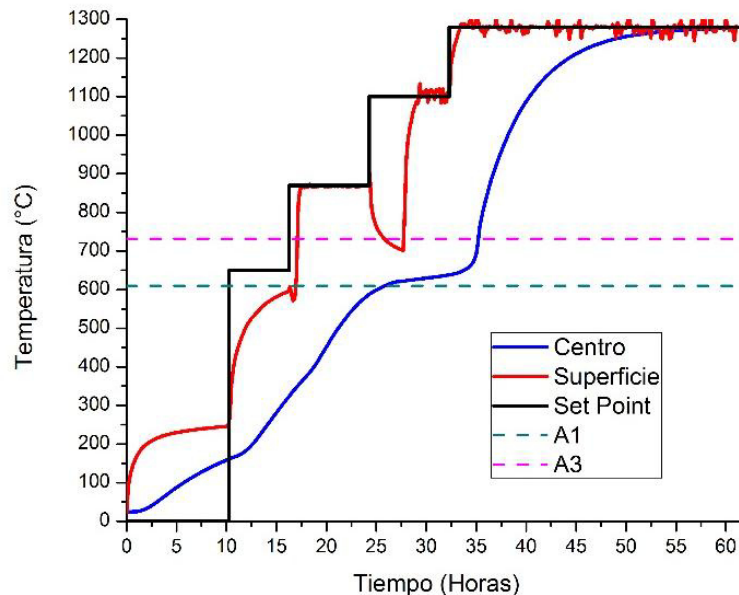


Figura 4. 11 Resultados por simulación de temperatura del punto más frío y el punto más caliente durante el ciclo de calentamiento en el lingote “B”.

También se calcularon los esfuerzos hidrostático, efectivo y máximo principal para el centro, $\frac{1}{2}$ radio y superficie del lingote, y los resultados se muestran en las siguientes figuras. El esfuerzo hidrostático presentó un valor máximo en tensión de 329 MPa en el centro del lingote después de 35 horas y 10 minutos de calentamiento como se muestra en la Figura 4. 13. El esfuerzo efectivo (Figura 4. 12) alcanzó su valor máximo de 204 MPa en la superficie del lingote después de 1 hora con 20 minutos de calentamiento, mientras que el esfuerzo máximo principal alcanzó un valor de 396 MPa en tensión en el centro del lingote 35 horas y 10 minutos después de haber empezado el ciclo de calentamiento, efecto del máximo gradiente de temperatura entre el centro y superficie (Figura 4. 14), mientras que el esfuerzo máximo principal en el medio

radio se presentó al final de su transformación a austenita con un valor de 257 MPa, mostrado en la Figura 4. 15.

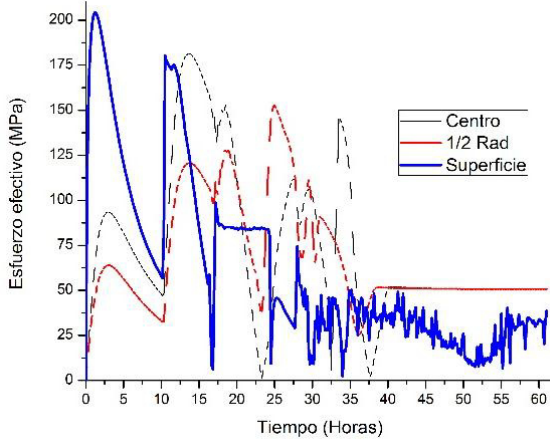


Figura 4. 12 Esfuerzo efectivo en centro, medio radio y superficie durante el ciclo de calentamiento del lingote "B".

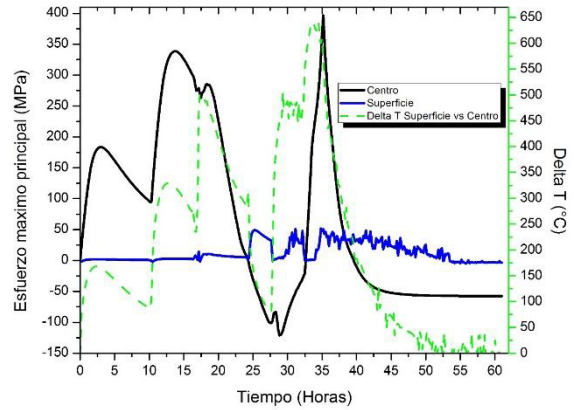


Figura 4. 14 Esfuerzo máximo principal y gradiente de temperatura entre el centro y la superficie del lingote "B".

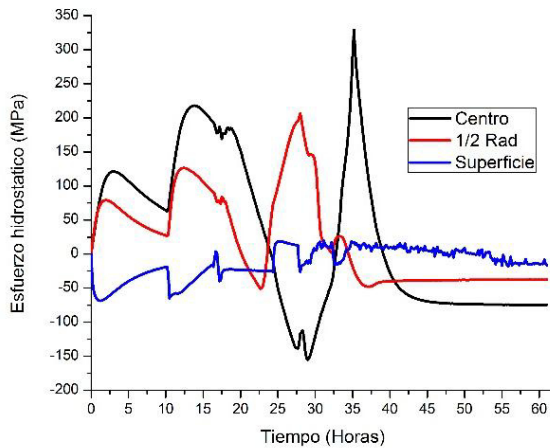


Figura 4. 13 Esfuerzo hidrostático en centro, medio radio y superficie durante el ciclo de calentamiento del lingote "B".

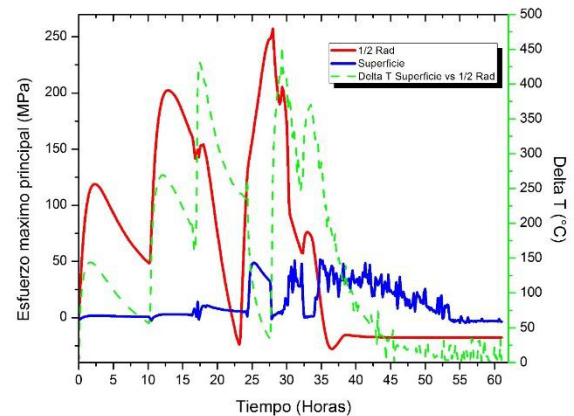


Figura 4. 15 Esfuerzo máximo principal y gradiente de temperatura entre el medio radio y la superficie del lingote "B".

4.2.3 Lingote "C"

La Figura 4. 16 muestra la comparación de los resultados experimentales y los valores de temperatura calculados para el centro (termopar 1) y medio radio del lingote (termopar 2).

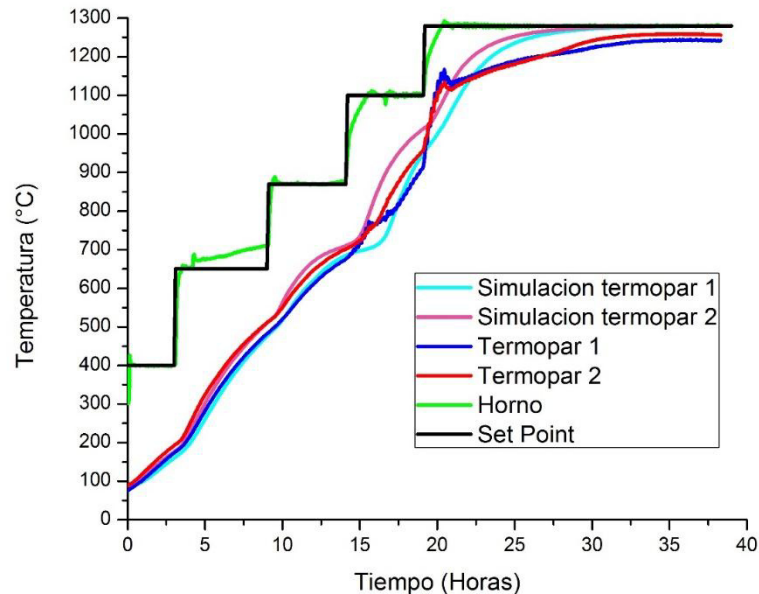


Figura 4. 16 Comparación de los resultados experimentales contra simulación del lingote “C”.

Estos resultados no fueron tan precisos como los lingotes “A” y “B”, ya que el promedio en la diferencia de temperatura entre la temperatura calculada y medida en el termopar 1 (centro del lingote) fue de 30°C y para el termopar 2 (al medio radio del lingote) fue de 31°C. La máxima diferencia de temperatura entre los termopares y la temperatura calculada en ambos casos fue de 80°C. La temperatura del centro y la superficie se graficó (Figura 4. 17) y se obtuvo el máximo gradiente de temperatura entre el centro y la superficie de 422°C después de 15 horas y 45 minutos de calentamiento cuando el centro estaba en la transformación a austenita como sucedió en las primeras pruebas.

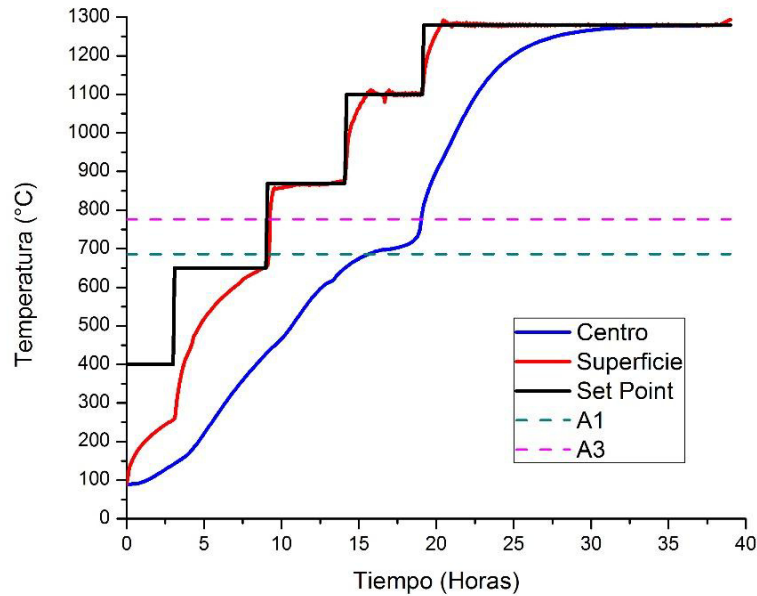


Figura 4. 17 Resultados por simulación de temperatura del punto más frío y el punto más caliente durante el ciclo de calentamiento en el lingote “C”.

Los esfuerzos calculados para este lingote se muestran en las siguientes figuras donde el esfuerzo hidrostático (Figura 4. 19) presentó un valor máximo en tensión de 578 MPa en el centro del lingote después de 19 horas de calentamiento. El esfuerzo efectivo (Figura 4. 18) alcanzó su valor máximo de 182 MPa en el medio radio del lingote después de 18 horas de calentamiento, mientras que el esfuerzo máximo principal alcanzó un valor de 687 MPa en tensión en el centro del lingote 19 horas después de haber empezado el ciclo de calentamiento como se muestra en la Figura 4. 20. La diferencia de temperatura entre el medio radio y la superficie se graficó en la Figura 4. 21 donde se observa un comportamiento similar al esfuerzo máximo principal en el medio radio el cual tiene un valor máximo de 298 MPa después de 17 horas de calentamiento.

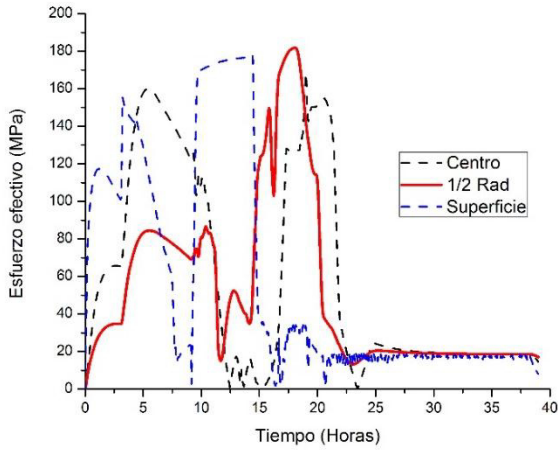


Figura 4. 18 Esfuerzo efectivo en centro, medio radio y superficie durante el ciclo de calentamiento del lingote "C".

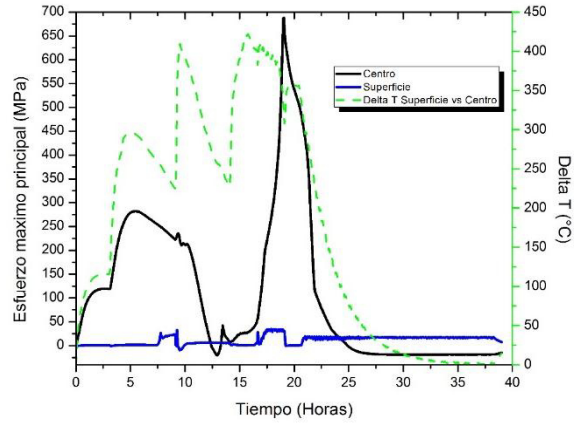


Figura 4. 20 Esfuerzo máximo principal y gradiente de temperatura entre el centro y la superficie del lingote "C".

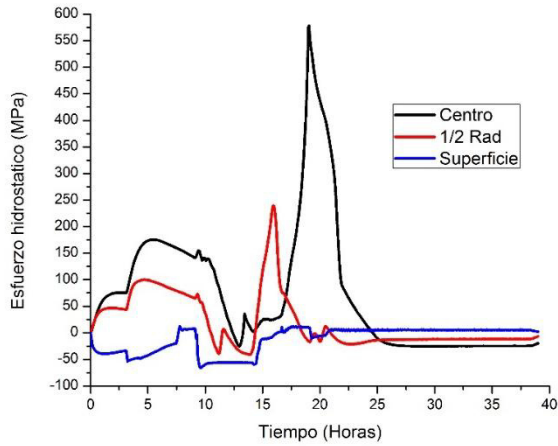


Figura 4. 19 Esfuerzo hidrostático en centro, medio radio y superficie durante el ciclo de calentamiento del lingote "C".

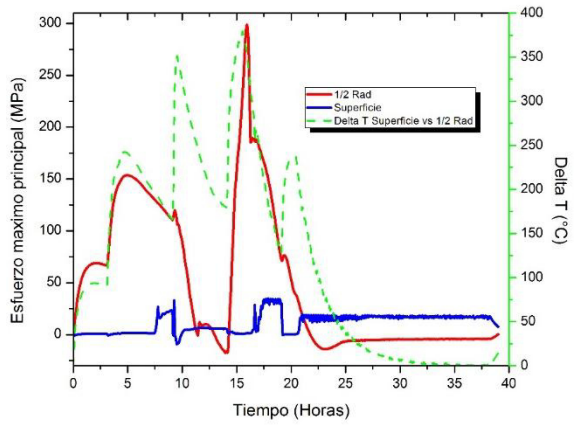


Figura 4. 21 Esfuerzo máximo principal y gradiente de temperatura entre el medio radio y la superficie del lingote "C".

4.3 Fases presentes

4.3.1 JmatPro

Se obtuvieron todos los datos de las fases presentes y las propiedades de los 3 aceros que se están estudiando en este trabajo con el software JMatPro, encontrándose las temperaturas de inicio y fin de la transformación en el acero ASTM A105 que son 697°C y 802°C respectivamente y además se observa que la cementita se disuelve por completo a 714°C. En el material AISI 4330, A₁ se encuentra a 610°C y A₃ a 731°C, y muestra que la cementita está completamente disuelta a 646°C. Para el acero AISI 8630, la temperatura de inicio de transformación de la ferrita es 686°C y la temperatura del final de la transformación es 776°C, la cementita se encuentra disuelta a 705°C, además, se observa que ningún tipo de carburo en ninguno de estos 3 aceros se encuentra estable por encima de 1150°C. En el anexo I se muestra con más detalle toda la información obtenida del cálculo termodinámico en JMatPro en función de la temperatura. En la Figura 4. 22 se muestra un ejemplo de las fases que marca JMatPro para la aleación AISI 4330.

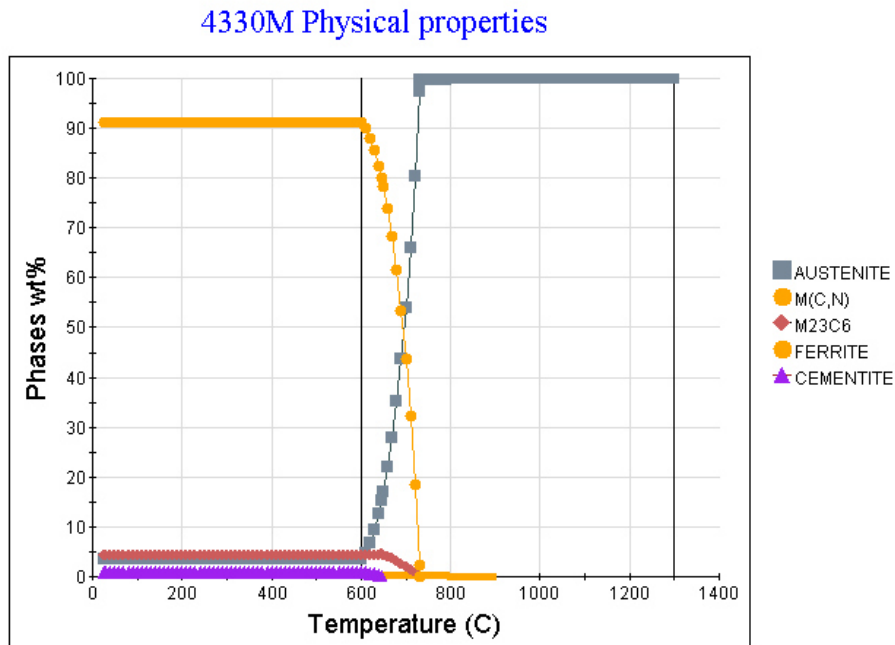


Figura 4. 22 Fases que están presentes termodinámicamente en la aleación AISI 4330 en función de la temperatura.

4.3.2 Pruebas de laboratorio

Los resultados del análisis químico por espectroscopia de chispa de la laja se muestran en la Tabla 4. 2 para las muestras del centro, 1/2 radio y superficie. Se realizaron 3 análisis por muestra obteniendo el promedio del porcentaje en peso de cada elemento de cada medición. Para la muestra de la superficie el laboratorio solo reportó el promedio de los 3 análisis.

Tabla 4. 2 Análisis de composición química (% peso) por espectroscopia de chispa en la superficie, medio radio y centro de la laja.

Superficie																
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	V	Nb	Ti	Al	Co	Pb	Fe
Promedio	0.346	0.887	0.009	0.003	0.31	0.89	0.96	0.433	0.15	0.006	0.001	0.002	0.022	0.012	0.001	95.97
1/2 Rad																
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	V	Nb	Ti	Al	Co	Pb	Fe
Medicion 1	0.358	0.906	0.009	0.003	0.32	0.91	0.98	0.442	0.151	0.006	0.001	0.002	0.022	0.012	0.001	95.88
Medicion 2	0.338	0.883	0.008	0.003	0.31	0.89	0.96	0.42	0.146	0.006	0.001	0.002	0.023	0.012	0.001	96
Medicion 3	0.36	0.884	0.008	0.003	0.31	0.89	0.96	0.417	0.147	0.006	0.001	0.002	0.022	0.012	0.001	95.98
Promedio	0.352	0.891	0.008	0.003	0.313	0.897	0.967	0.426	0.148	0.006	0.001	0.002	0.022	0.012	0.001	95.95
Centro																
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	V	Nb	Ti	Al	Co	Pb	Fe
Medicion 1	0.344	0.884	0.009	0.003	0.31	0.9	0.96	0.425	0.148	0.006	0.001	0.002	0.023	0.013	0.002	95.97
Medicion 2	0.319	0.85	0.007	0.002	0.3	0.87	0.93	0.39	0.144	0.006	0.002	0.002	0.023	0.013	0.002	96.14
Medicion 3	0.342	0.854	0.008	0.003	0.3	0.87	0.93	0.396	0.143	0.006	0.001	0.001	0.023	0.012	0.001	96.11
Promedio	0.335	0.863	0.008	0.003	0.303	0.88	0.94	0.404	0.145	0.006	0.001	0.002	0.023	0.013	0.002	96.07

4.3.2.1 Macroataque

En el macroataque realizado sobre la laja se observaron las distintas zonas representativas de una estructura de colada, teniendo una zona chill que se presenta en la superficie del lingote y se caracteriza por tener granos muy pequeños debido al rápido enfriamiento durante la solidificación, la zona chill se observó en el microscopio óptico y tiene un espesor de 400 micras aproximadamente de la superficie hacia el centro y se observa en la Figura 4. 24. Después se presenta una zona de granos columnares donde el crecimiento de grano se observa en el sentido del flujo de calor es decir en dirección radial con espesor de 2 pulgadas aproximadamente y se aprecia en Figura 4. 23 a) y

d), por ultimo tenemos la zona de granos equiaxiales que en este caso se observa que es la zona de mayor volumen por lo que podemos decir que tenemos un lingote homogéneo en la parte central Figura 4. 23 c).

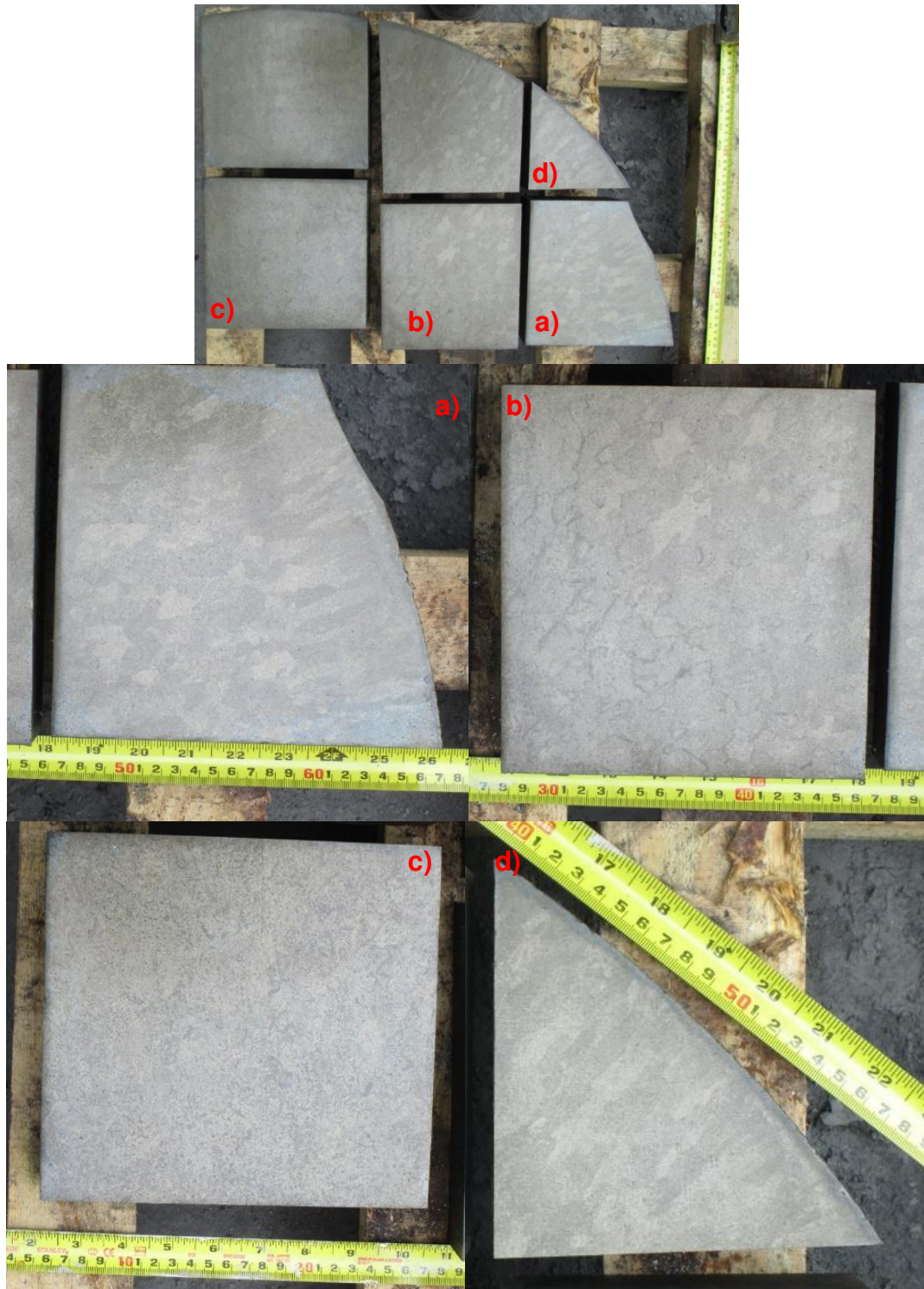


Figura 4. 23 Macroataque realizado a $\frac{1}{4}$ de la laja AISI 8630 donde se muestra la estructura de colada del lingote de 39 pulgadas de diámetro.

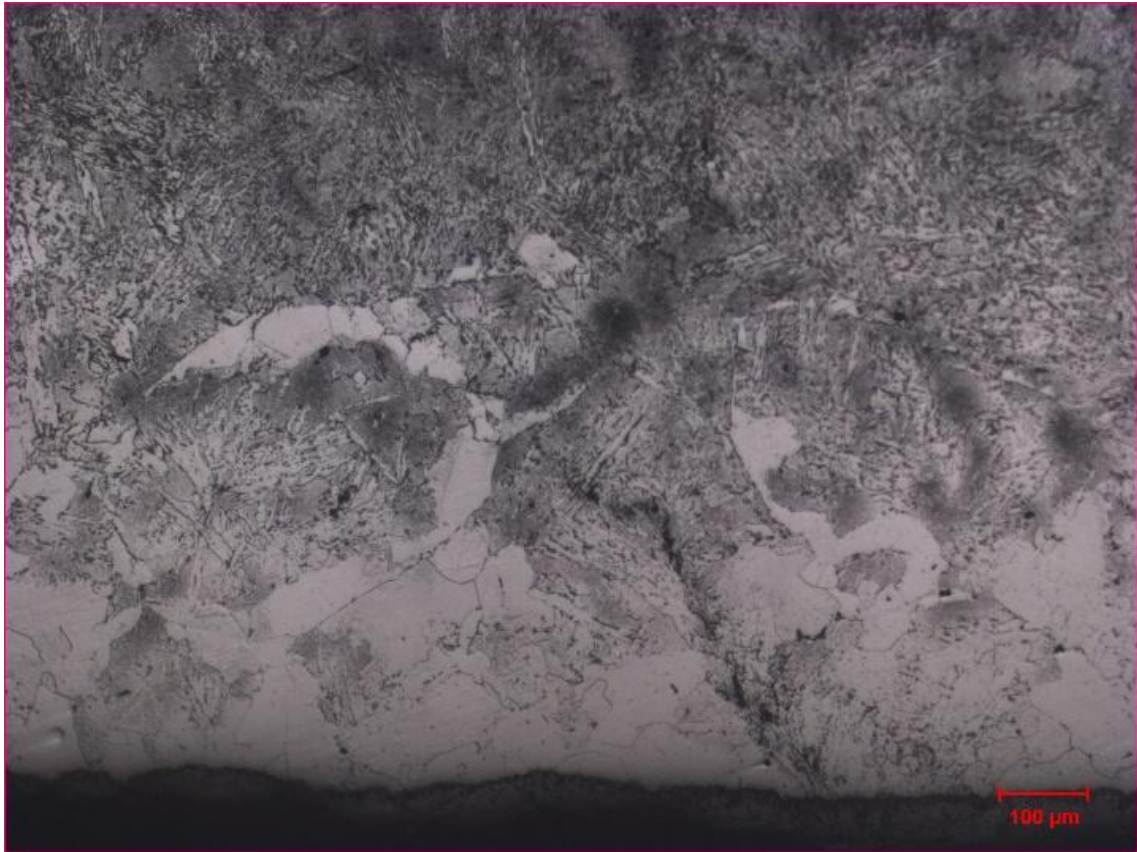


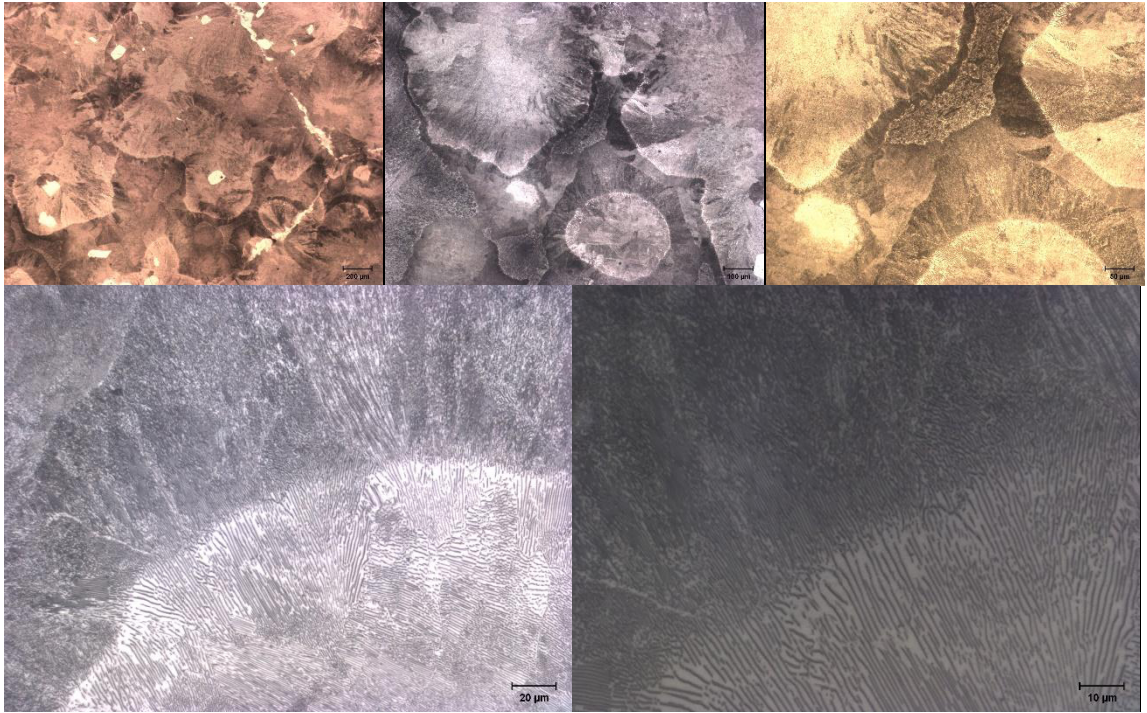
Figura 4. 24 Zona chill en la superficie de la laja. 100X

4.3.2.2 Microscopia óptica.

En la Figura 4. 25 se observan las micrografías tomadas con el microscopio óptico para la muestra del centro, se capturaron 2 zonas distintas por muestra donde se hicieron aumentos de 50X, 100X, 200X, 500X y 1000X a cada una. Las micrografías de las muestras de la superficie y el medio radio las encontramos en el anexo II.

Muestra del centro

Zona 1



Zona 2

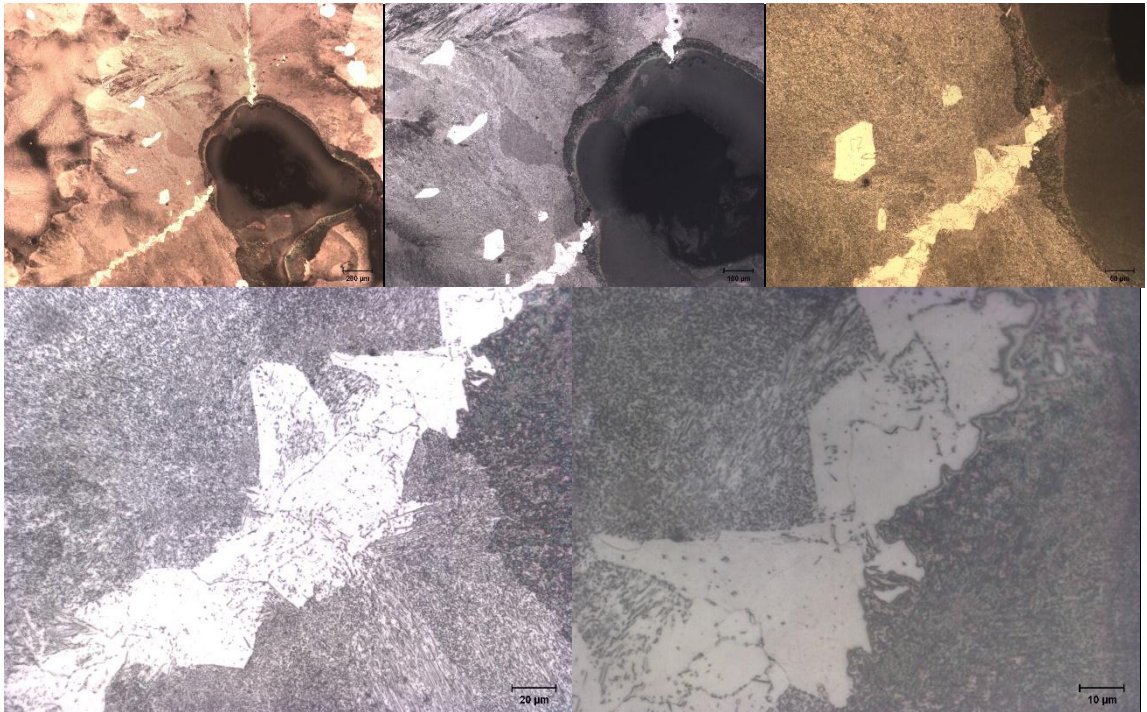
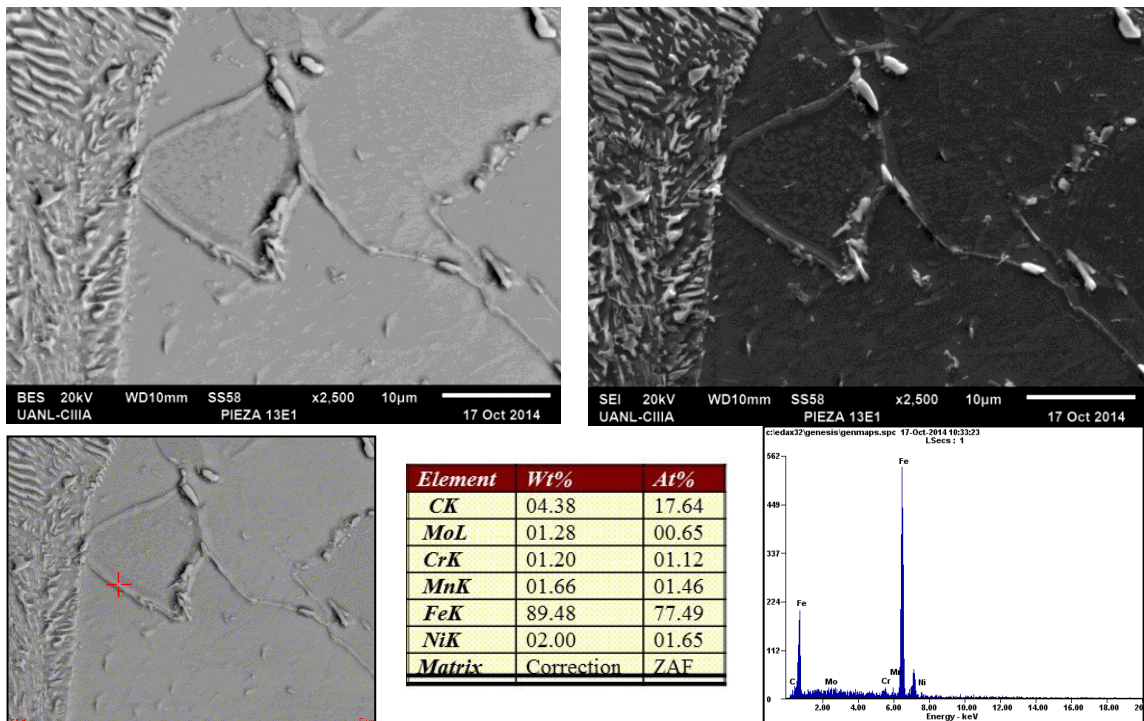
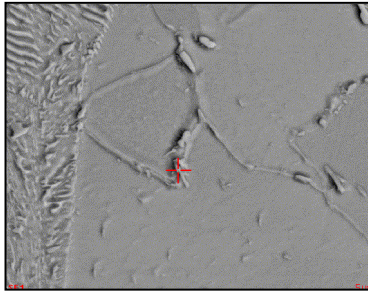


Figura 4. 25 Micrografías tomadas en el microscopio óptico en la muestra del centro de la laja a 50X, 100X, 200X, 500X y 1000X.

4.3.2.3 Microscopia electrónica de barrido

Se obtuvieron imágenes de los detectores de electrones secundarios (SEI), de electrones retrodispersados (BES) y el patrón de R_x por EDS para obtener la composición química que contiene principalmente elementos como Fe, C, Cr, Mo, Ni, Mn, Si. En la Figura 4. 26 observamos la muestra de la parte del centro del lingote, vista a 2500 aumentos, donde podemos ver un carburo de cromo que se observa en un color más claro que la matriz de aproximadamente 3 micras de longitud. En la Figura 4. 27 se muestra una parte de la superficie a 2000 aumentos donde se observan granos alargados y pequeños carburos en el borde de grano con una morfología distinta al centro del lingote. En el anexo III encontramos más imágenes detalladas de la superficie, medio radio y centro del lingote observadas a diferentes aumentos en el microscopio electrónico de barrido.





Element	Wt%	At%
CK	09.96	34.00
MoL	01.57	00.67
CrK	06.32	04.98
MnK	03.69	02.76
FeK	77.34	56.80
NiK	01.12	00.78
Matrix	Correction	ZAF

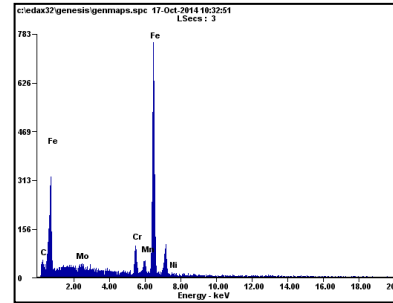
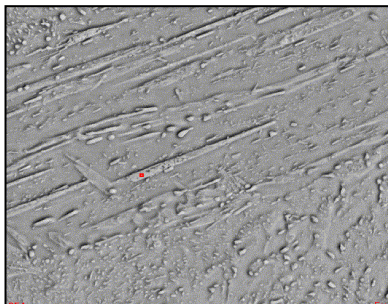
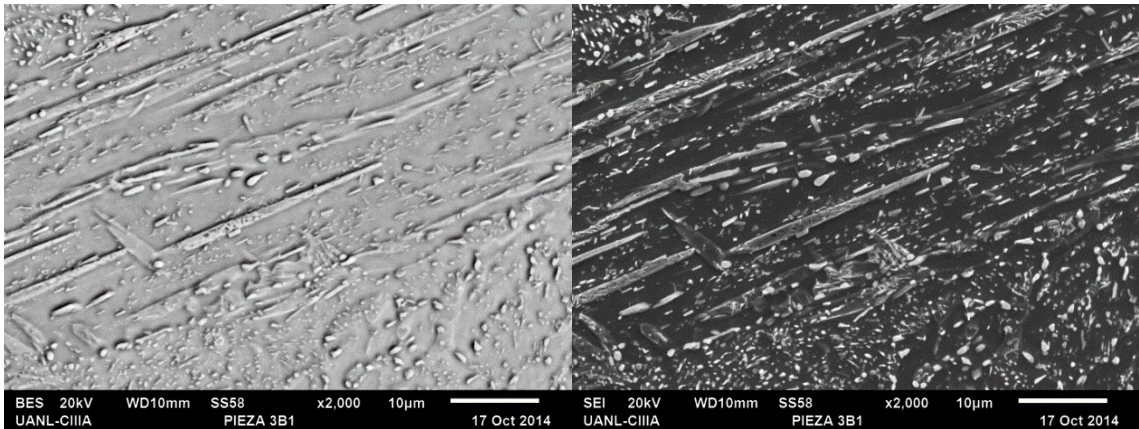
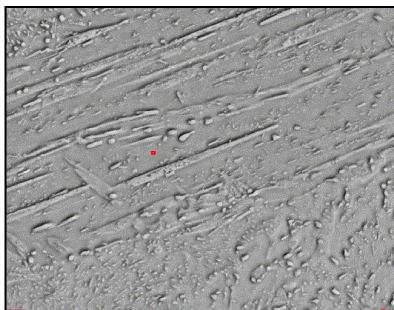
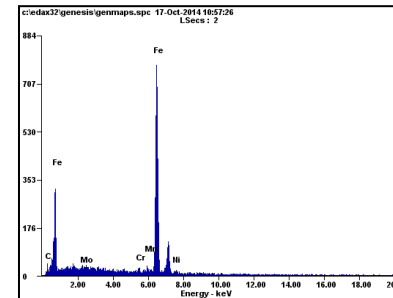


Figura 4. 26 Imágenes del centro del lingote a 2500X generadas por los detectores de electrones retrodispersados (BES) y electrones secundarios (SEI), donde se muestra la composición química y el patrón de difracción en cada punto marcado con una cruz roja.



Element	Wt%	At%
CK	07.20	26.59
MoL	00.98	00.45
CrK	01.12	00.95
MnK	01.93	01.56
FeK	87.14	69.21
NiK	01.63	01.23
Matrix	Correction	ZAF



Element	Wt%	At%
CK	03.07	12.85
MoL	00.85	00.45
CrK	01.20	01.16
MnK	01.24	01.14
FeK	92.19	83.15
NiK	01.45	01.24
Matrix	Correction	ZAF

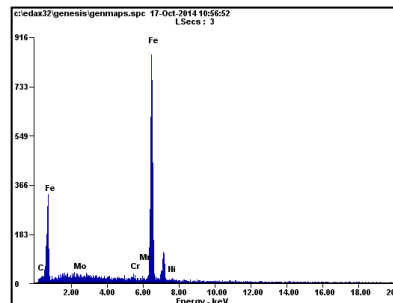


Figura 4. 27 Imágenes de la superficie del lingote a 2000X generadas por los detectores de electrones retrodispersados (BES) y electrones secundarios (SEI), donde se muestra la composición química y el patrón de difracción en cada punto marcado con un punto rojo.

Adicionalmente, en la muestra del centro se realizó un mapa del análisis químico a una magnificación de 250X donde se observa que los elementos que se analizaron están repartidos uniformemente, el silicio está representado en puntos rojos, cromo en color verde, manganeso en color azul, hierro en color amarillo y el níquel en color morado, como se observa Figura 4. 28.

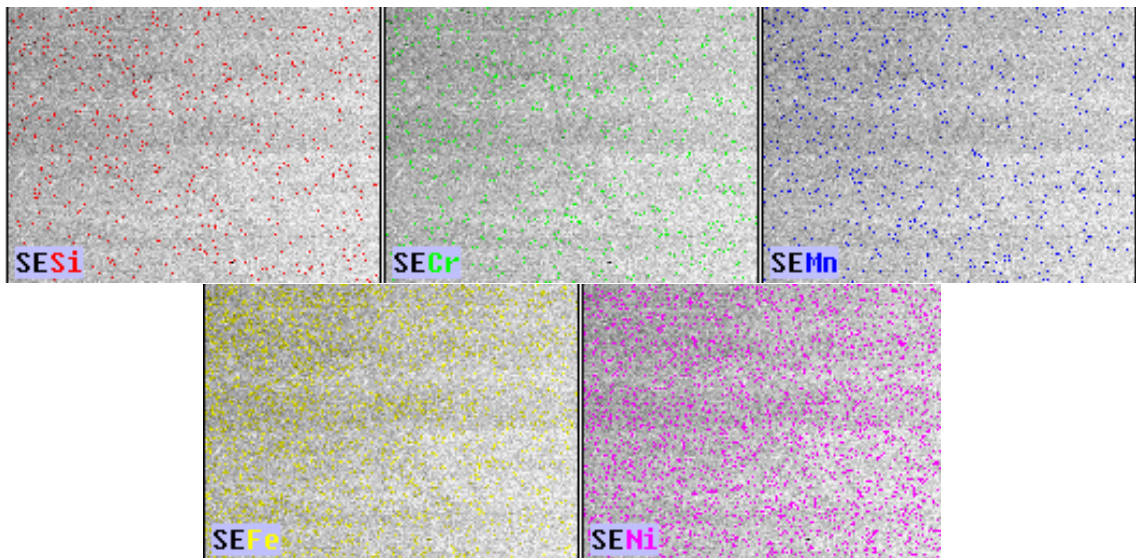


Figura 4. 28 Mapa del análisis químico utilizando EDS para el Silicio, Cromo, Manganeso, Hierro y Níquel. Imagen a 250X.

4.3.2.4 Difracción de rayos X

Como fue mencionado en la sección 3.3.2.4. se obtuvo un difractograma para cada sección: superficie (Figura 4. 29), medio radio (Figura 4. 30) y centro (Figura 4. 31) donde se observa que hay 3 picos principales que se presentan en los mismos ángulos para las 3 muestras, estos ángulos son 45, 65 y 82 aproximadamente.

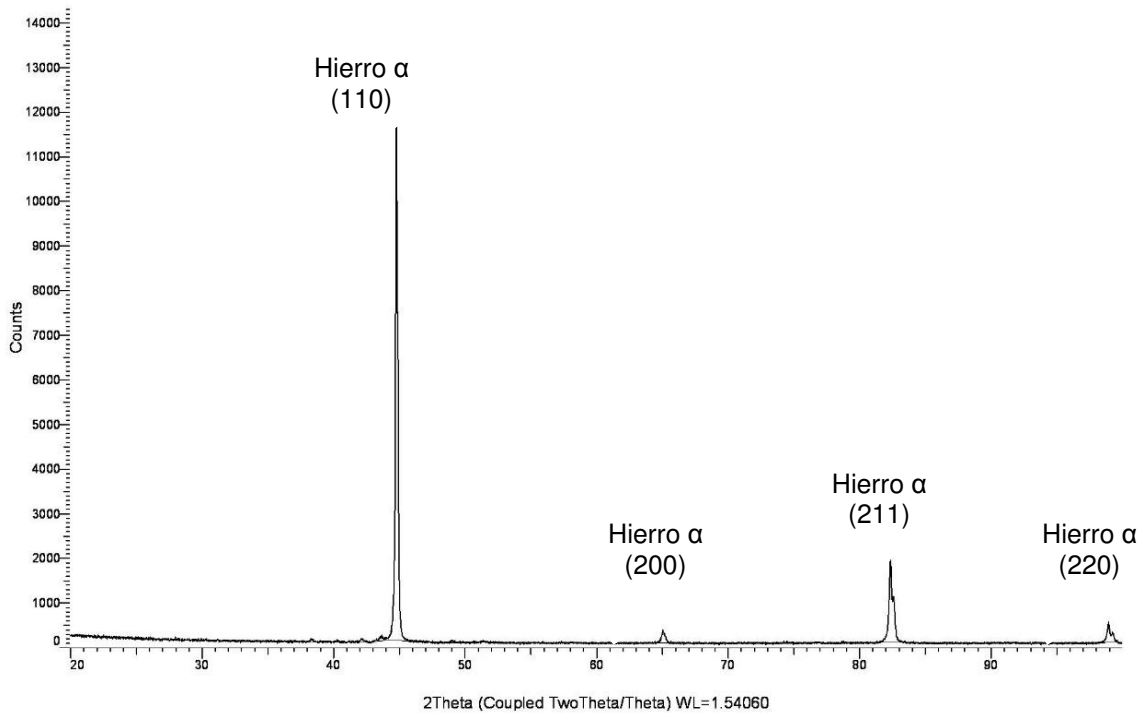


Figura 4. 29 Difractograma general de la muestra de la superficie.

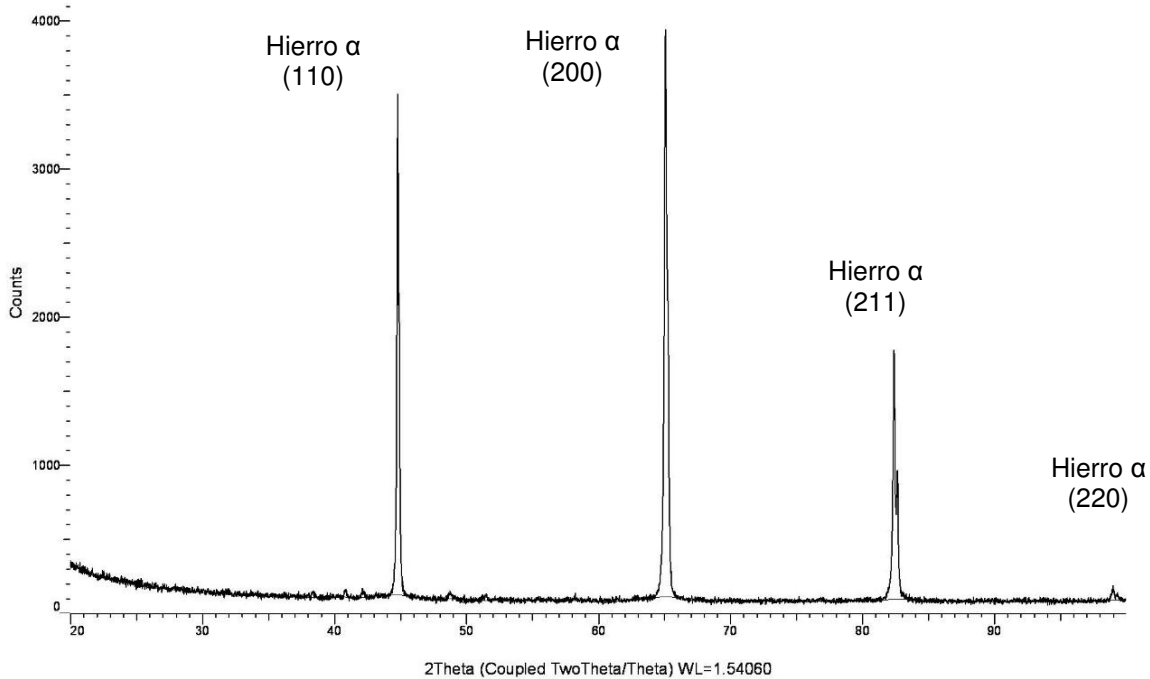


Figura 4. 30 Difractograma general de la muestra del medio radio.

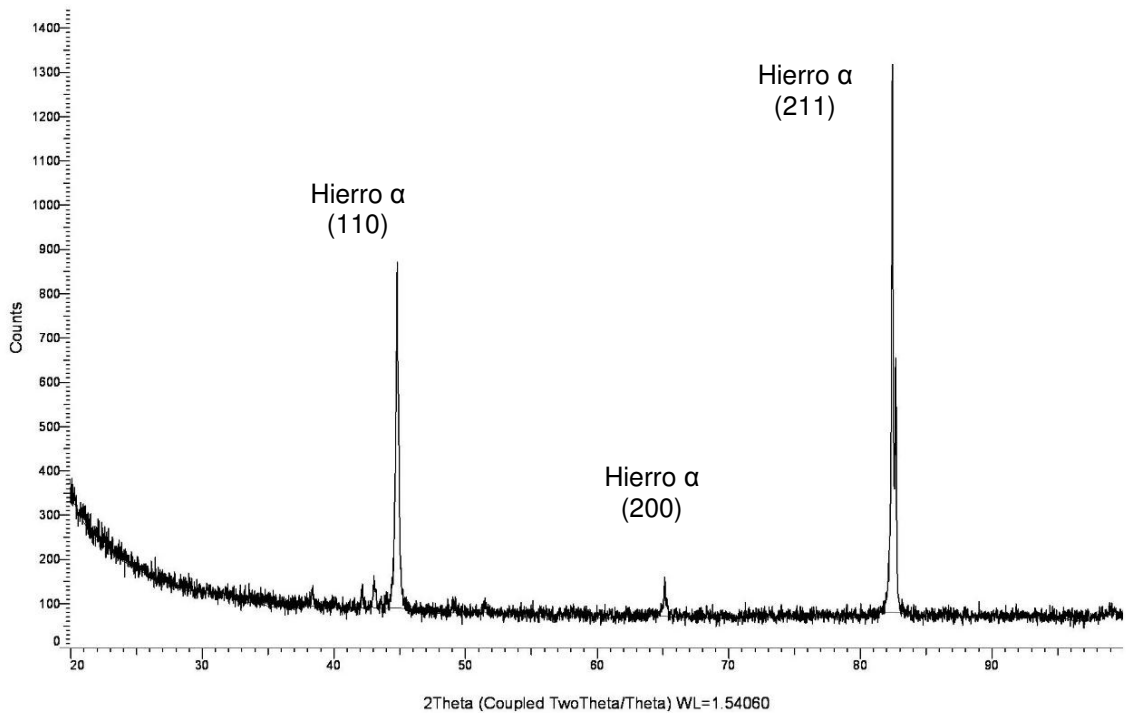


Figura 4. 31 Difractograma general de la muestra del centro.

Las mismas muestras se analizaron seleccionando específicamente los rangos de ángulos 2θ de 37-44, 43-46, y de 46-53 para ampliar esa zona debido a que en el difractograma general (ángulos 2θ de 20-100) de la muestra del centro se pudo observar pequeños picos en esos rangos. En la muestra de la superficie se observan picos a los ángulos 2θ de 38.4, 40.4 y 42.2 para el difractograma de 37-44 de la superficie, un pico a 44.9 en el difractograma de 43-46 y de 49.1 y 50.5 para el difractograma de 46-53, mostrados en la Figura 4. 32.

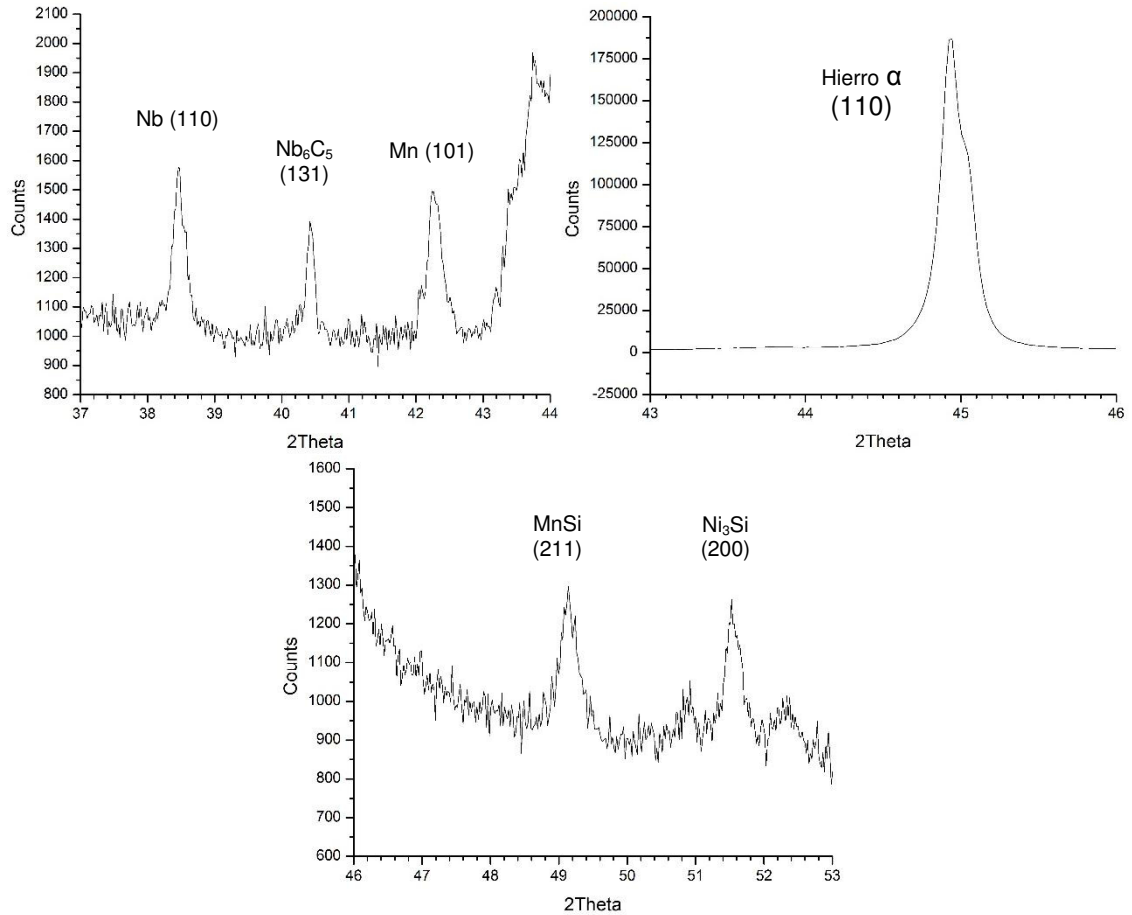


Figura 4. 32 Difractogramas de la muestra de la superficie analizada en rangos de ángulos 2θ de 37-44, 43-46 y 46-53.

En la muestra del medio radio los picos se presentan a los ángulos 2θ de 38.4, 40.9 y 42.2 para el difractograma de 37-44 en medio radio, un pico a 44.9 en el difractograma de 43-46 y de 48.9 y 51.6 para el difractograma de 46-53, como se puede observar en la Figura 4. 33.

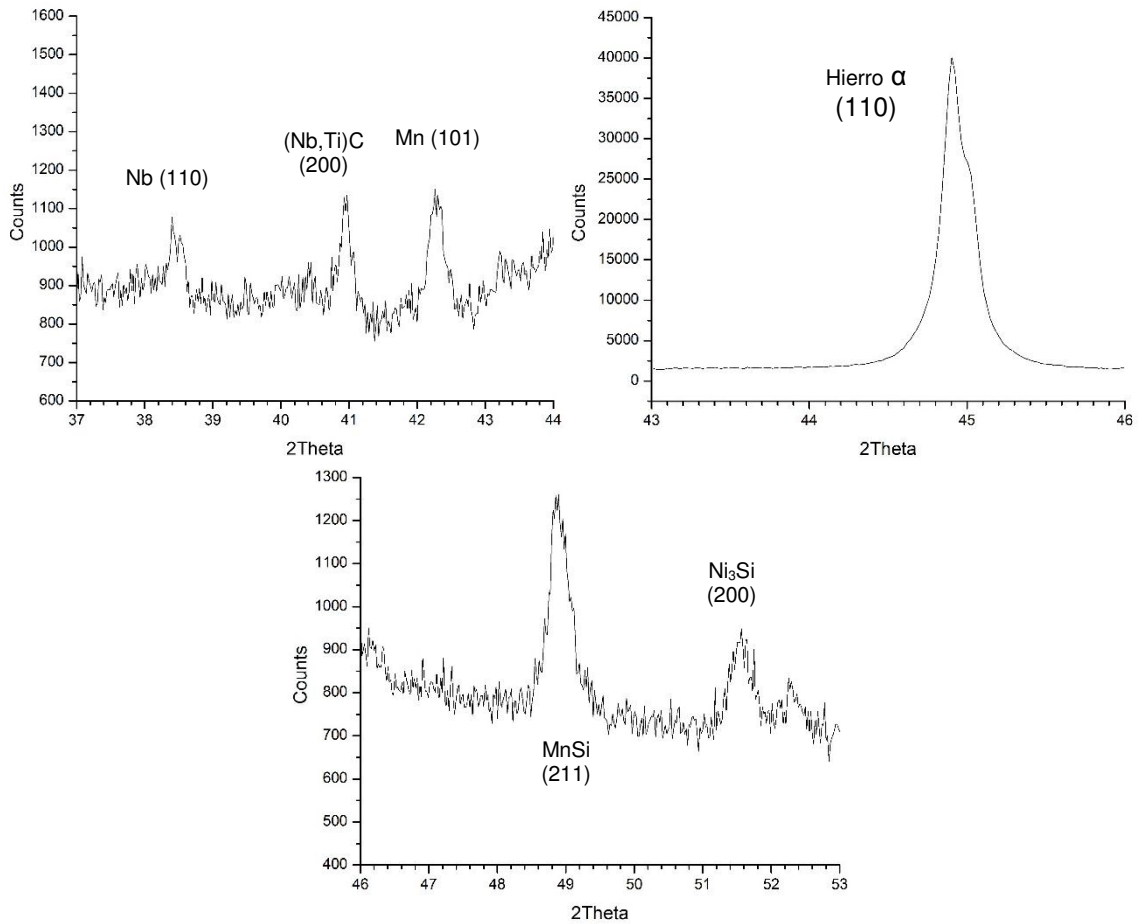


Figura 4. 33 Difractogramas de la muestra del medio radio analizada en rangos de ángulos 2θ de 37-44, 43-46 y 46-53.

Los resultados de la muestra del centro tienen picos a los ángulos 2θ de 38.4, 42.1 y 43.1 para el difractograma de 37-44, un pico a 44.8 en el difractograma de 43-46 y de 49.1 y 51.5 para el difractograma de 46-53, como se muestra en la Figura 4. 34.

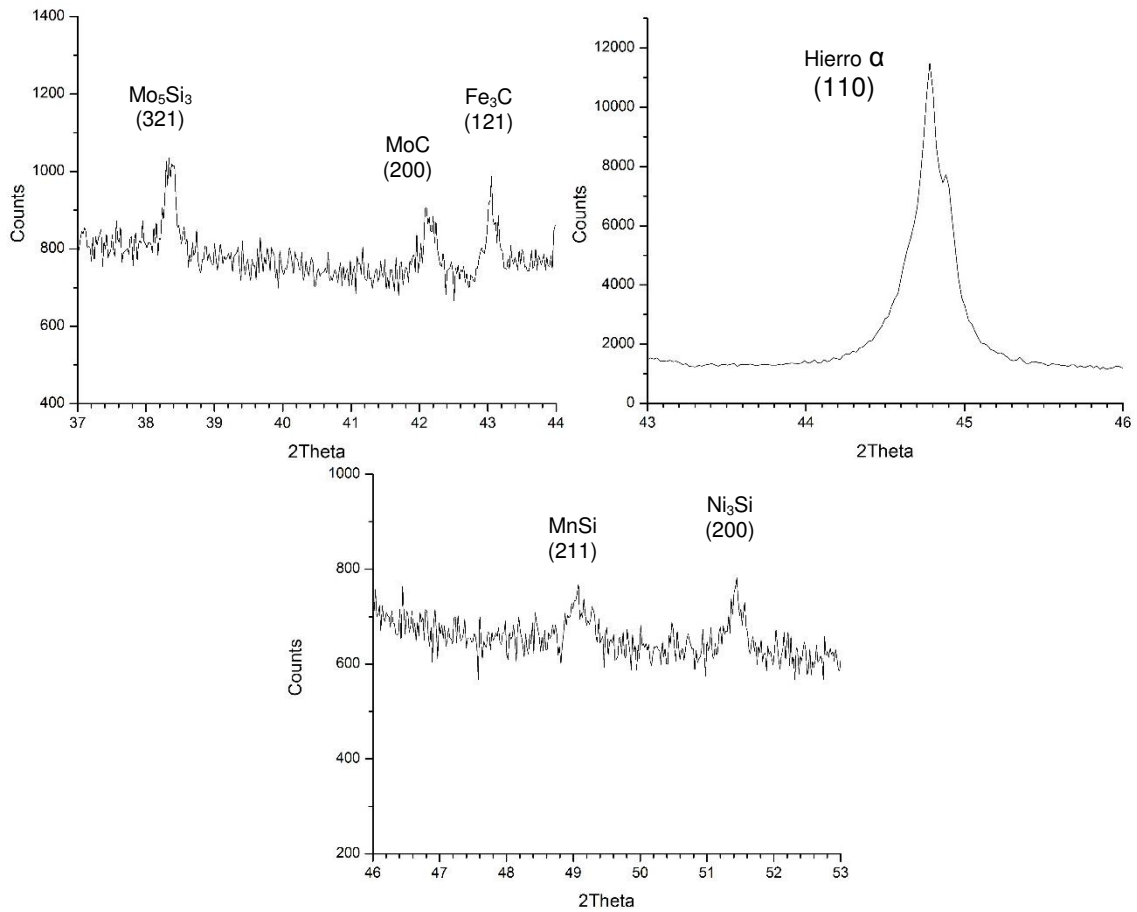


Figura 4. 34 Difractogramas de la muestra del centro analizada en rangos de ángulos 2θ de 37-44, 43-46 y 46-53.

Estos patrones de difracción arrojados por el equipo fueron analizados en el software “diffrac.suite EVA”, donde se obtuvo la información de la base de datos.

4.3.2.5 Calorimetría diferencial de barrido.

En la Figura 4. 35 se encuentran los resultados obtenidos de la prueba de calorimetría diferencial de barrido para la muestra 1. En la Figura 4. 35 (a) se grafica el cambio en la entalpía del sistema por unidad de masa que es igual a la cantidad de energía que la muestra intercambia con el ambiente dentro del horno durante la prueba, en la misma gráfica está sobrepuesta la temperatura medida por el termopar del equipo en función del tiempo. En la Figura 4. 35 (b)

se grafican: el cambio en la entalpía durante el calentamiento (en color verde) y durante el enfriamiento de la muestra (en color rojo) en función de la temperatura y mostrando que las curvas con el pico hacia abajo indica que es un proceso exotérmico, y las curvas con el pico hacia arriba, es un proceso endotérmico. En el anexo IV encontramos los resultados de las 8 muestras que fueron sometidas a distintas velocidades y tiempos de calentamiento, mencionados en la Tabla 3. 4.

Muestra 1

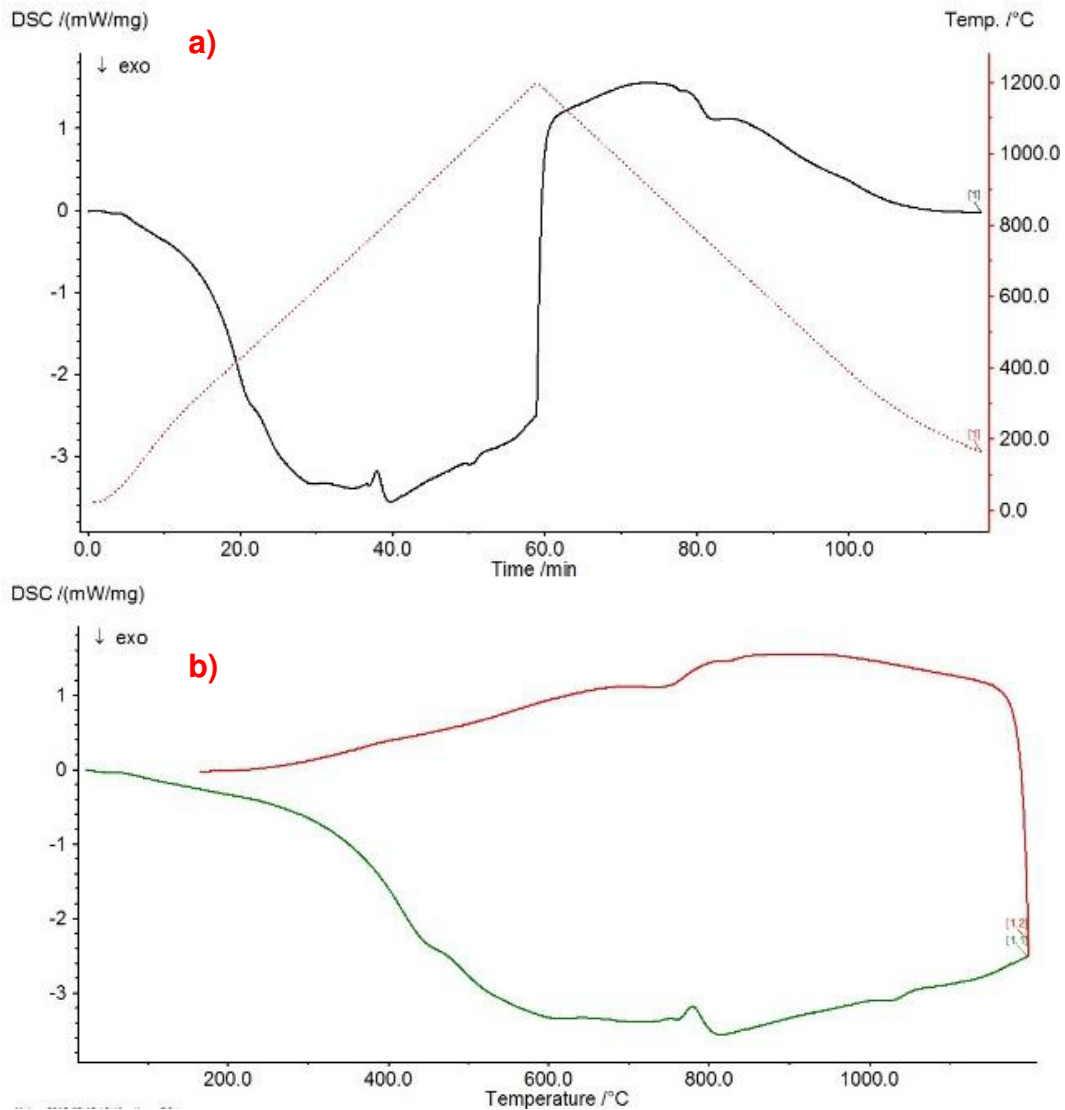


Figura 4. 35 Resultados del análisis de calorimetría diferencial de barrido, mostrando el set point del horno y el cambio en la entalpía durante el calentamiento y el enfriamiento en función del tiempo (a) y en función de la temperatura (b) para la muestra 1.

Capítulo 5

Discusión

5.1 Introducción

Este capítulo analiza la posibilidad de reducir los ciclos de calentamiento previo al proceso de forja de lingotes de acero que como ya se mencionó anteriormente deben cumplir con 3 condiciones: lingotes sin altos gradientes de temperatura al llegar a temperatura de forja, lingotes con una microestructura homogénea para ser forjados y lingotes con esfuerzos internos menores a los esfuerzos de fractura del lingote.

5.2 Homogeneidad de temperatura en la pieza

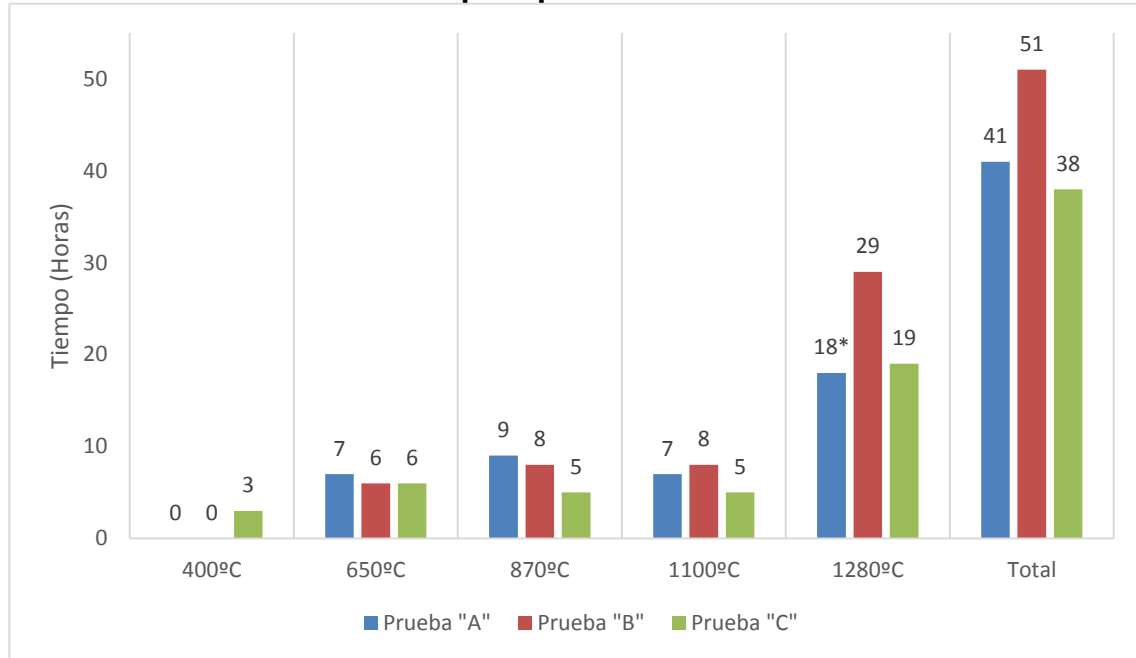
Para asegurar la temperatura de forja homogénea en el lingote, fue necesario hacer un cálculo de la distribución de temperaturas durante todo el ciclo de calentamiento mediante un modelo de simulación que reproduce los resultados experimentales en la ubicación específica del termopar dentro del lingote. Este modelo es capaz de calcular las temperaturas el centro (punto más frío del lingote) y de la superficie (punto más caliente del lingote) durante el ciclo de calentamiento.

5.2.1 Pruebas de calentamiento en planta

El tamaño de la pieza a tratar puede influir sobre el tiempo de empape, pero no sobre la temperatura. Los sets point de los lingotes “A” y “B” son similares en las temperaturas de los escalones los cuales comienzan en 650°C, siguiendo a 870°C, después 1100°C, finalizando con el escalón a la temperatura que no debe cambiar debido a que es la temperatura a la que se desea llevar el lingote que es 1280°C, aunque en el lingote “A” el escalón final se fijó a 1250°C.

El lingote “B” es el que tiene un diámetro de perfil más grande de los 3 lingotes estudiados, es por eso que fue el que requirió más tiempo para finalizar su ciclo de calentamiento con un total de 61 horas (Figura 4.2), cabe mencionar que el ciclo de calentamiento programado para el lingote “B” constaba de un total de 51 horas y debido a que el horno no se encontraba a temperatura ambiente cuando el lingote fue introducido dentro del horno, se le sumaron al ciclo de calentamiento las 10 horas previas que estuvo hasta que el horno se encendió para iniciar el ciclo programado. Al finalizar el ciclo de calentamiento se observa una caída de temperatura en el termopar lo que probablemente indica que la puerta del horno se abrió para sacar el lingote y llevarlo a la prensa por lo que la superficie del lingote interactuó con el medio ambiente y perdió temperatura muy rápidamente. En la prueba “B” el set point inició a una temperatura de 400°C que es lo que fue diferente a los demás, así como los tiempos de permanencia en cada escalón para cada prueba. En la Tabla 5. 1 se muestra una comparativa de los set point de cada prueba mostrando los tiempos de permanencia para cada escalón donde vemos que el tiempo de permanencia en el último escalón (1280°C) en la prueba “B” es mucho mayor (29 horas) comparándolas con las otras dos pruebas. El tiempo total del ciclo de calentamiento está relacionado con el tamaño del lingote, entre más grande el diámetro del lingote, más largo será el ciclo de calentamiento.

Tabla 5. 1 Comparación de los set point de las distintas pruebas de calentamiento. *Escalón final para prueba "A" es de 1250°C.



En las 3 pruebas de calentamiento (figuras 4.1 a 4.3) se puede notar una dificultad para elevar la temperatura en ambos hornos de 870°C a 1100°C y de 1100°C a 1280°C, es posible que a estas temperaturas se esté alcanzando el límite en la potencia de los quemadores cada horno. En la prueba "B" donde se utilizó el horno con mayor capacidad, se tuvo el mayor problema debido a que en lugar de elevarse, la temperatura bajó, la sobredemanda en el control posiblemente apago temporalmente los quemadores, en esta misma prueba "B" también se observó esta dificultad en el escalón de 650°C a 870°C. Para las pruebas "A" y "C" se utilizó el horno con capacidad de 100Ton. En la prueba "C", la temperatura del horno tardó aproximadamente 1 hora en alcanzar la temperatura programada en los escalones a 1100°C y 1280°C, mientras que en la prueba "A" fue la que se comportó mejor ya que fue donde se notó menos este detalle alcanzando la temperatura programada en menos de media hora debido a que el horno, en esta prueba, tuvo una carga menor que para la prueba "C" como se mencionó en la sección 3.2.1.

En las 3 pruebas de calentamiento que se hicieron en la planta, podemos observar que la temperatura que registra el termopar durante el ciclo de

calentamiento va aumentando con una pendiente prácticamente constante desde temperatura ambiente hasta que existe un momento en el cual la velocidad de calentamiento disminuye en ese punto, por ejemplo, veamos el caso para el lingote “A” (Figura 4.1), que a partir de 700°C y hasta 800°C la temperatura se va elevando lentamente debido a que ocurren las transformaciones ferrita-perlita a austenita dentro del lingote en ese intervalo de temperaturas y estas transformaciones consumen energía, lo que provoca el retraso para seguir aumentando la temperatura. Sin embargo, a partir de 900°C, existe un incremento rápido de la temperatura que coincide en tiempo con el último escalón del ciclo de calentamiento programado (1250°C), este efecto no se aprecia en los primeros escalones del ciclo de calentamiento por lo cual este rápido incremento de temperatura en el último escalón se puede atribuir a que existe una diferencia menor entre la temperatura del horno y el termopar al momento del escalón de 1100°C a 1250°C que en el de 650°C a 870°C.

En el lingote “B”, después de 25 horas de calentamiento, cuando el set point debiera subir a 1100°C los quemadores del horno se apagan provocando una caída de temperatura en el interior del horno y lo que causo que dos horas después, aproximadamente 27 horas de calentamiento, la temperatura del termopar en el centro del lingote se igualara a la temperatura en el horno, sin embargo, cuando los quemadores se vuelven a encender, la temperatura del horno se eleva rápidamente a 1100°C y el centro continua calentándose lentamente. A partir de 48 horas, el termopar ha alcanzado la temperatura final del ciclo (1280°C).

En la prueba de calentamiento del lingote “C” existe un error en las mediciones de los termopares durante la prueba industrial, probablemente por la mala colocación o movimiento del termopar y/o la mala colocación de la fibra cerámica como aislante, ya que existen momentos en el ciclo de calentamiento que presentan al termopar del centro del lingote más caliente que el termopar que está colocado a $\frac{1}{2}$ radio y como se mencionó anteriormente, esto no es posible durante el calentamiento. Al final del ciclo de calentamiento el termopar

colocado al medio radio llega solamente a 1260°C y el termopar colocado en el centro del lingote alcanza 1245°C y no 1280°C como se programó en el ciclo de calentamiento, sin embargo, estas temperaturas fueron aceptadas debido a que no se tuvo problema para forjar.

Los termopares en cada prueba de calentamiento de la planta alcanzan la temperatura de forja al final de cada ciclo de calentamiento lo que indica que el lingote está a una misma temperatura desde el punto donde se encuentra colocado el termopar hasta la superficie del lingote.

5.2.2 Simulación de calentamiento

El calentamiento de los lingotes se simuló usando el software DEFORM y se determinó la distribución de temperatura en todo el lingote. Como se mostró en la Figura 4.5 para el lingote “A”, la temperatura de la superficie se eleva más rápidamente que la temperatura del centro en las primeras horas del ciclo de calentamiento. El calor latente de transformación no se observa en la temperatura en la superficie del lingote debido a que, en la superficie, además de convección, está presente la radiación de la flama y de las paredes del horno, que es el principal mecanismo de transferencia de calor, y asimismo aumenta la emisividad en ese rango de temperaturas debido a la oxidación que se presenta en la superficie del lingote.

El calentamiento está diseñado para llevarse a cabo de manera escalonada. Durante cada escalón del set point programado, la temperatura de la superficie se va acercando a la temperatura del horno lo que provoca que, con el paso del tiempo en cada escalón, el gradiente de temperatura entre el centro y la superficie del lingote disminuya, esto porque la temperatura del centro se va acercando a la temperatura de la superficie. El centro es la zona del lingote que se calienta más lento.

En las Figuras 4.8, 4.14 y 4.20 se observa, para cada lingote respectivamente, que la diferencia de temperatura entre el centro y la superficie se incrementa en

cada escalón y la máxima diferencia de temperatura entre el centro y la superficie del lingote se presenta durante la transformación de fase del centro del lingote y disminuye gradualmente a un valor pequeño en las etapas finales del ciclo de calentamiento.

El lingote “C” es el más pequeño en volumen de los 3 lingotes estudiados como se mencionó en la sección 3.1, sin embargo, se registró el mayor error en la diferencia de temperaturas medidas por el termopar y las temperaturas calculadas, la discrepancia empieza después de llegar a la temperatura de transformación (Figura 4. 16) debido a los errores en las mediciones del termopar durante la prueba de calentamiento.

La temperatura requerida para la forja se alcanza en las 3 pruebas tanto en las simulaciones de los centros de los lingotes como en las mediciones reales, que es uno de los principales objetivos del calentamiento.

De los resultados del capítulo 4 podemos concluir que la simulación del calentamiento de las 3 pruebas en planta coincide con las mediciones en la planta, en la Figura 4. 4 para el lingote “A” donde la máxima diferencia de temperatura entre la medición del termopar y el resultado simulado es de 40°C después de 24 horas de calentamiento, en la Figura 4. 10 se muestra para el lingote “B” teniendo un error máximo de 39°C después de 12 horas de calentamiento, y en el lingote “C” fue donde existió el mayor error entre el termopar y la simulación del centro con un valor de 120°C después de 20 horas de calentamiento y la máxima diferencia de temperatura entre la simulación y el termopar en el medio radio es de 80°C después de 16 horas de calentamiento como se mostró en la Figura 4. 16, sin embargo, ya tenemos un modelo confiable para predecir lo que sucederá con diferentes curvas de calentamiento.

5.3 Microestructura para forja

Los lingotes producidos por los procesos de fundición y vaciado no son adecuados para aplicaciones mecánicas debido a la estructura de solidificación

que presentan y que pudimos observar, para nuestro caso, en la Figura 4. 23 el macroataque realizado, es por eso que estos lingotes se deben someter a un trabajo termo-mecánico con el fin de romper la estructura de colada y reducir el tamaño del grano a niveles aceptables.

Una de las condiciones para forjar adecuadamente piezas de gran tamaño es que el lingote o la pieza a forjar tenga una microestructura apropiada y químicamente homogénea, para ello es necesario mantener el lingote a temperatura por un determinado tiempo para prepararlo para un proceso mecánico posterior produciendo cambios químicos y microestructurales. El objetivo principal es poner en solución segundas fases endurecedoras y disolver los carburos.

Se ha comprobado que la cinética de disolución se atribuye especialmente al contenido de elementos aleantes formadores de carburos como son el cromo, hierro, molibdeno, silicio, manganeso, niobio, vanadio, así como de distancias cortas para la difusión del carbono. El tiempo a temperatura también disminuye la microsegregación. [21]

En los resultados de análisis de composición química por espectroscopia de chispa de la tabla 4.2, confirman una homogeneidad química del lingote a nivel macroscópico.

El análisis por microscopia óptica muestra claramente signos de microsegregación debido a la morfología dendrítica de la estructura (Zona 1 y 2 de la muestra de la superficie en el Anexo II) esto indica una diferencia en composición química.

Se hizo una comparación de los compuestos de la aleación AISI 8630, que el software JMatPro predice con la composición química dada, contra los compuestos obtenidos con el software “diffrac.suite Eva” en base a los patrones de difracción obtenidos, encontrándose la presencia de todos los precipitados predichos por el modelo de JMatPro. Adicionalmente se identificaron otros

precipitados que según el modelo no debieran existir a temperatura ambiente. Se piensa que la presencia de estos precipitados se debe a la heterogeneidad química de la microsegregación. Esta información se resume en las tablas siguientes 5.2, 5.3, 5.4 y 5.5.

El análisis por difracción de rayos X se realizó a temperatura ambiente y en la Tabla 5. 2 se muestra un resumen de las fases que se presentan en JMatPro a temperatura ambiente, así como la composición química del compuesto a 25°C.

La Tabla 5. 3, Tabla 5. 4 y Tabla 5. 5 muestran la información de los compuestos obtenidos por DRX para la muestra de la superficie, medio radio y centro del lingote, respectivamente, donde se indica el nombre del compuesto, la formula química, sistema cristalino, los parámetros de red del compuesto (en Angstroms), el ángulo 2θ donde se presenta el pico principal de la tarjeta, y la comparación vs JMatPro donde se indica con un "✓" que el compuesto se presenta tanto para JMatPro como en DRX, y con una "x" para cuando solo se presenta para DRX y no para JMatPro.

Tabla 5. 2 Compuestos presentes en la aleación AISI 8630 a temperatura ambiente calculados por JMatPro.

JMatPro AISI 8630		
Compuesto - % peso	Composicion (%Peso) a 25°	Rango (°C)
MC - .057	Ti= 48, Cr=24, C=19, Mo=8	25°C a 1154°C
Ferrita - 94.69	-	25°C a 776°C
Cementita - 1.66	-	25°C a 705°C
$M_{23}C_6$ - 3.56	Fe= 55, Mo= 19, Cr= 18 C= 5, Mn= 1	25°C a 750°C

Tabla 5. 3 Compuestos obtenidos por el análisis de DRX a temperatura ambiente de la muestra de la superficie del lingote en la aleación AISI 8630.

Muestra de la Superficie DRX							
Compuesto	Formula	Sistema	a	b	c	Angulo 2θ principal	JMatPro vs DRX
Manganese carbide	Mn ₄ C ₁	Hexagonal	2.708	-	4.429	83.661	×
Molybdenum carbide	MoC	Cúbico	4.281	-	-	36.318	✓
Manganese	Mn	Tetragonal	2.672	-	3.55	42.236	×
Niobium Carbide	Nb ₆ C ₅	Monoclínico	5.4605	9.4579	5.4605	34.825	×
Niobium	Nb	Cúbico	3.30332	-	-	38.507	×
Vanadium Silicide	V Si ₂	Hexagonal	4.562	-	6.359	42.05	×
Nickel Silicide	Ni ₃ Si	Cúbico	3.542	-	-	44.256	×
Chromium carbide	Cr ₇ C ₃	Hexagonal	13.98	-	4.523	44.37	×
Manganese Silicon	MnSi	Cúbico	4.548	-	-	44.509	×
Iron Nickel	FeNi ₃	Cúbico	3.545	-	-	44.279	×
Ferrite	Fe	Cúbico	2.86	-	-	44.674	✓

Tabla 5. 4 Compuestos obtenidos por el análisis de DRX a temperatura ambiente de la muestra de 1/2 radio del lingote en la aleación AISI 8630.

Muestra del 1/2 radio DRX							
Compuesto	Formula	Sistema	a	b	c	Angulo 2θ principal	JMatPro vs DRX
Niobium Titanium Carbide	(Nb,Ti)C	Cúbico	4.427	-	-	35.236	✓
Titanium Vanadium carbide	(Ti ₈ V ₂) C ₆₂	Romboédrico	3.0342	-	14.8522	36.234	✓
Manganese	Mn	Tetragonal	2.672	-	3.55	42.236	×
Niobium	Nb	Cúbico	3.30332	-	-	38.507	×
Titanium Sulfide	Ti ₃ S ₄	Hexagonal	3.43	-	11.4	38.434	×
Silicon	Si	Hexagonal	4.04	-	6.6	25.437	×
Chromium Nickel	Cr ₁ Ni ₉	Cúbico	3.535	-	-	44.349	×
Nickel Sulfide	Ni ₃ S ₂	Cúbico	5.261	-	-	48.958	×
Nickel Silicide	Ni ₃ Si	Cúbico	3.542	-	-	44.256	×
Chromium carbide	Cr ₇ C ₃	Hexagonal	13.98	-	4.523	44.37	×
Manganese Silicon	MnSi	Cúbico	4.548	-	-	44.509	×
Ferrite	Fe	Cúbico	2.86	-	-	44.674	✓

Tabla 5. 5 Compuestos obtenidos por el análisis de DRX a temperatura ambiente de la muestra del centro del lingote en la aleación AISI 8630.

Muestra del Centro DRX							
Compuesto	Formula	Sistema	a	b	c	Angulo 2θ principal	JMatPro vs DRX
Iron carbide Cementite	Fe ₃ C	Ortorómbico	4.518	5.069	6.736	43.038	✓
Chromium carbide	Cr ₂₃ C ₆	Cúbico	10.903	-	-	43.075	✓
Molybdenum carbide	MoC	Cúbico	4.281	-	-	36.318	✓
Titanium Sulfide	TiS ₂	Hexagonal	3.42	-	11.44	15.398	×
Molybdenum Silicon	Mo ₅ Si ₃	Tetragonal	9.62	-	4.887	45.643	×
silicon Carbide	SiC	Hexagonal	3.07	-	52.87	35.776	×
Nickel Silicide	Ni ₃ Si	Cúbico	3.542	-	-	44.256	×
Chromium carbide	Cr ₇ C ₃	Hexagonal	13.98	-	4.523	80.84	×
Manganese Carbide	Mn ₇ C ₃	Hexagonal	6.944	-	4.542	49.798	×
Iron Carbide	Fe ₇ C ₃	Hexagonal	6.882	-	4.54	44.856	×
Manganese Silicon	MnSi	Cúbico	4.548	-	-	44.509	×
Manganese Sulfide	Mn ₂ S	Cúbico	5.224	-	-	34.304	×
Iron Nickel Sulfide	FeNiS ₂	Cúbico	10.04	-	-	30.826	×
Ferrite	Fe	Cúbico	2.86	-	-	44.674	✓

JMatPro es una herramienta útil para predecir las fases presentes y las propiedades de una aleación, sus predicciones sin embargo difieren ligeramente de las obtenidas por difracción de rayos X para el grado de acero AISI 8630, Algunas de las razones por las cuales los compuestos que se obtuvieron en base al patrón de difracción de rayos X no coinciden con los compuestos que el software JMatPro indica, es que al hacer el cálculo en JMatPro, se consideró remover los elementos de impurezas con muy pequeña concentración en la aleación (menor a 0.01% en peso) o además que el lingote tiene variaciones en composición química por la segregación, o también puede ser debido a que el software hace un cálculo exclusivamente termodinámico.

Con el calentamiento de las muestras dentro del horno del DSC se observan las reacciones que ocurren a ciertas temperaturas. Todas las muestras que se evaluaron por calorimetría diferencial de barrido presentan picos endotérmicos a la temperatura de 788°C, que indica la transformación de fase de ferrita a austenita (rango similar al indicado por JMatPro) y justo antes, a 760°C aproximadamente ocurre otro pico que se lo atribuimos a la disolución de la perlita en la austenita que además coincide, según JMatPro, con la temperatura de disolución del carburo con la forma $M_{23}C_6$, donde la M puede ser átomos de Fe, Mo o Cr.

Los resultados de la intensidad en el cambio de energía en el DSC son muy sensibles a la velocidad de calentamiento durante las pruebas; a mayor velocidad de calentamiento más definido es el pico de las reacciones, como se muestra en la Figura 5. 1. En la Figura 5. 2 se grafican las derivadas de cada curva obtenida del DSC de cada muestra con el objetivo de conocer a que temperaturas existen cambios en la pendiente de dicha curva. Estas curvas nos indican que existe un proceso exotérmico a 470°C de muy baja energía y se puede atribuir al carburo tipo M_7C_3 (Figura 5. 3) que disuelve a esa temperatura. A pesar de que, de acuerdo con JMatPro, el carburo tipo M_7C_3 no se presenta en el grado de acero AISI 8630, éste si está presente en las muestras que fueron calentadas en el DSC (conforme al análisis en DRX de la Tabla 5. 5), ya

que estas muestras son de la parte central del lingote, donde cabe la posibilidad que tengan zonas con segregación, las que provocan la variación en la composición química original de la aleación del acero AISI 8630 y permiten este tipo de precipitado. En las muestras con alta velocidad de calentamiento (20, 35 y 50°C/min) se observa una reacción exotérmica con muy baja energía cerca de los 1050°C, la cual se piensa que es la disolución de un carburo tipo MC el cual puede contener Niobio NbC o Titanio-Vanadio (Ti,V)C, ya que su temperatura de disolución se presenta en ese rango.

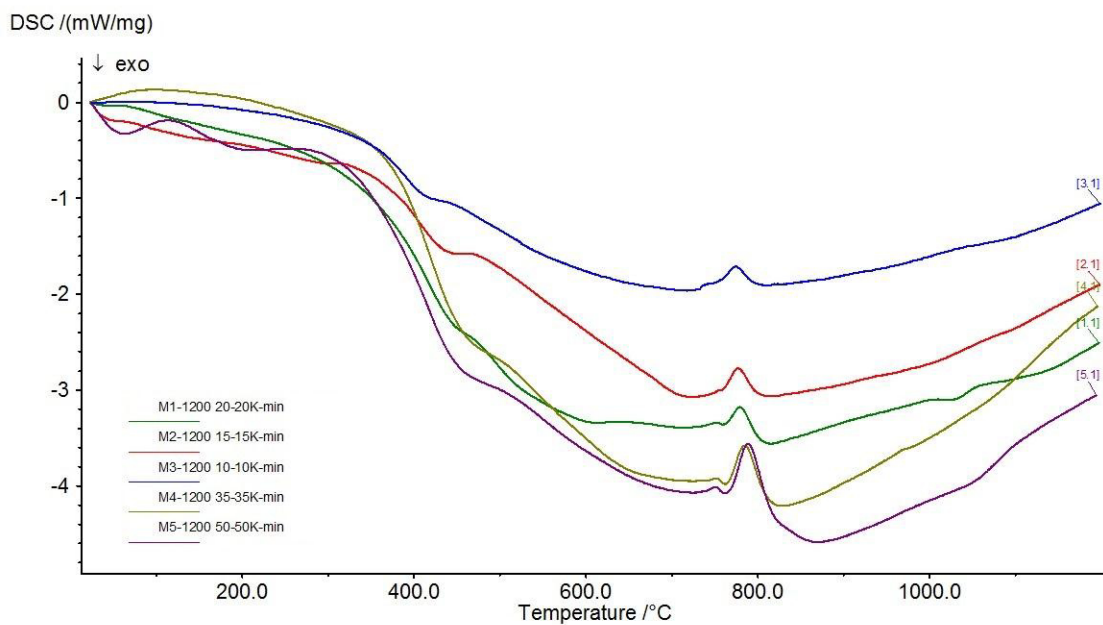


Figura 5. 1 Efecto de la velocidad de calentamiento en el cambio en la energía para las muestras a 1200°C en el DSC.

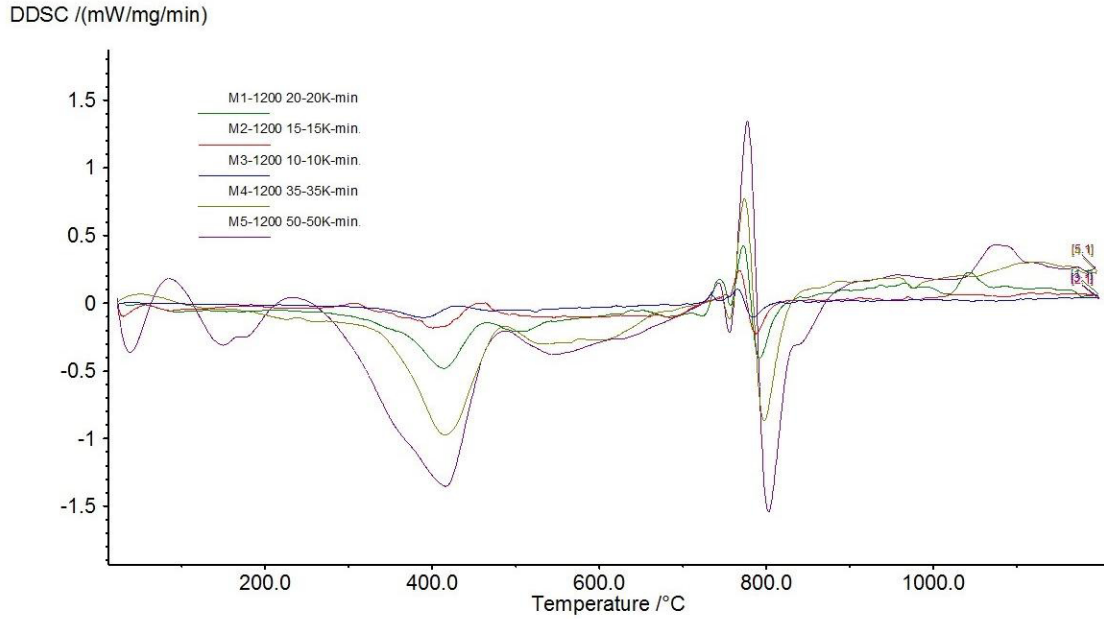


Figura 5. 2 Derivadas de las curvas de DSC para las muestras a 1200°C.

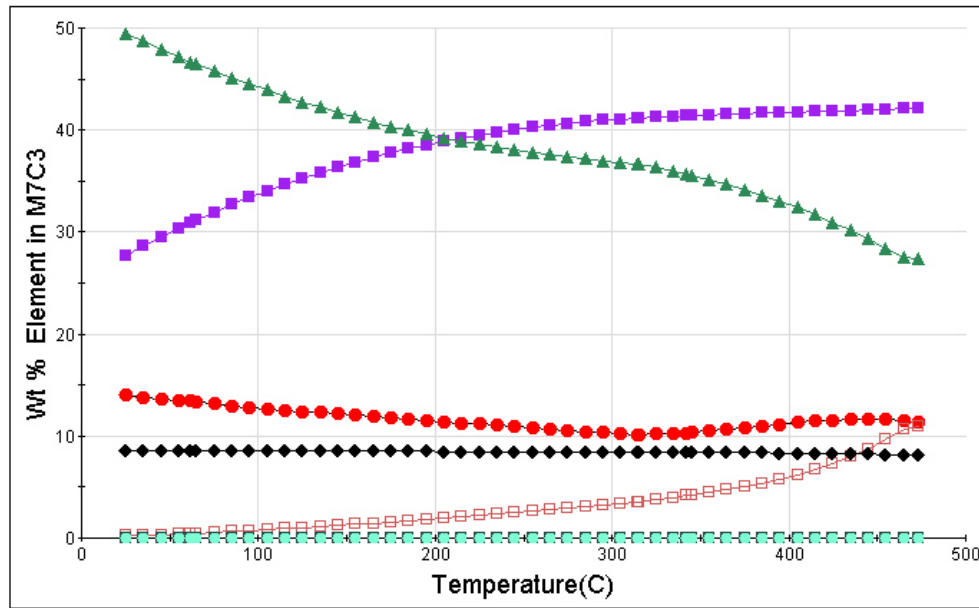


Figura 5. 3 Composición química para el carburo tipo M_7C_3 en función de la temperatura calculado por JMatPro.

Durante la isoterma a 750°C por una hora (en la muestra 7 del anexo IV) se observa un cambio en la entalpia de la muestra justo al inicio de la isoterma, probablemente es la disolución de cementita, sin embargo, es importante mencionar que esta reacción tarda poco menos de 20 minutos en llevarse a cabo a esta temperatura. En las otras muestras con isotermas (700°C y 850°C) no se observa ninguna reacción durante el tiempo de la isoterma. El análisis por calorimetría diferencial de barrido confirma que los carburos en la parte central del lingote están en solución a temperaturas de forja.

Los resultados del detector de EDS en el SEM, específicamente en la Figura 4.26, nos muestran una variación en el porcentaje en peso de cada elemento en la composición química, especialmente de carbono y cromo, teniendo un carburo de cromo en forma redonda de aproximadamente 3 micras de diámetro.

5.4 Esfuerzos durante el calentamiento.

Los esfuerzos térmicos generados durante el calentamiento son sensibles a la geometría del lingote, y las suposiciones del modelo nos pueden generar resultados de esfuerzos erróneos [25]. El criterio de seguridad para evitar la fractura es que los esfuerzos generados no superen los valores de esfuerzos de fractura del material.

Los esfuerzos térmicos se generan a través de la expansión o contracción del material causados por la deformación térmica y/o por la transformación de fase. El esfuerzo térmico (σ) está relacionado con el coeficiente de expansión térmica (α), el módulo de Young (E), y la diferencia de temperatura entre dos puntos (ΔT). [26]

$$\sigma = E\alpha\Delta T \tag{6}$$

Debido a que el lingote no se calienta de manera homogénea durante el ciclo, la superficie se va a expandir antes que el centro al inicio del ciclo de calentamiento.

En el presente trabajo se decidió tomar como punto crítico al esfuerzo máximo principal en la parte central del lingote debido a que, de acuerdo con los resultados mostrados en la sección 4.2, es el que tiene el valor más alto comparado con los otros dos tipos de esfuerzos que se analizaron. A pesar de que hay etapas durante el ciclo de calentamiento en que el esfuerzo máximo principal en el centro del lingote se encuentra sometido a compresión y el medio radio a tensión, estos son esfuerzos al medio radio siempre son menores a los del centro del lingote.

Un análisis comparando la temperatura del centro del lingote de la Figura 4. 5 con los esfuerzos máximos principales en el centro para el lingote "A" de la Figura 4. 8, se observa que el máximo esfuerzo principal se presenta al final de la transformación del centro del lingote (Figura 5. 4), ya que en la primera etapa (desde el inicio del ciclo de calentamiento y hasta antes de que el centro llegue a la temperatura de transformación), el comportamiento del esfuerzo máximo principal es gobernado por la diferencia de temperaturas entre el centro y la superficie, mientras que en la segunda etapa, Figura 5. 5 (desde el momento en que el centro del lingote comienza su transformación a la austenita hasta el final de transformación) el esfuerzo está gobernado por la transformación de fase; durante la transformación de ferrita a austenita, el material sufre de una contracción de volumen mientras que un punto más cerca de la superficie está expandiéndose en la fase de austenita. Es por esto que, cuando el centro del lingote termina su transformación, el esfuerzo máximo principal disminuye, ya que comienza a expandirse en fase austenita teniendo el mismo sentido de deformación que el resto de los puntos y nuevamente el esfuerzo térmico se rige por la diferencia de temperatura entre el centro y la superficie del lingote. En la etapa final del ciclo de calentamiento se observa que el centro del lingote está expuesto a esfuerzos de compresión, por lo cual en esta etapa el centro del lingote se mantiene seguro.

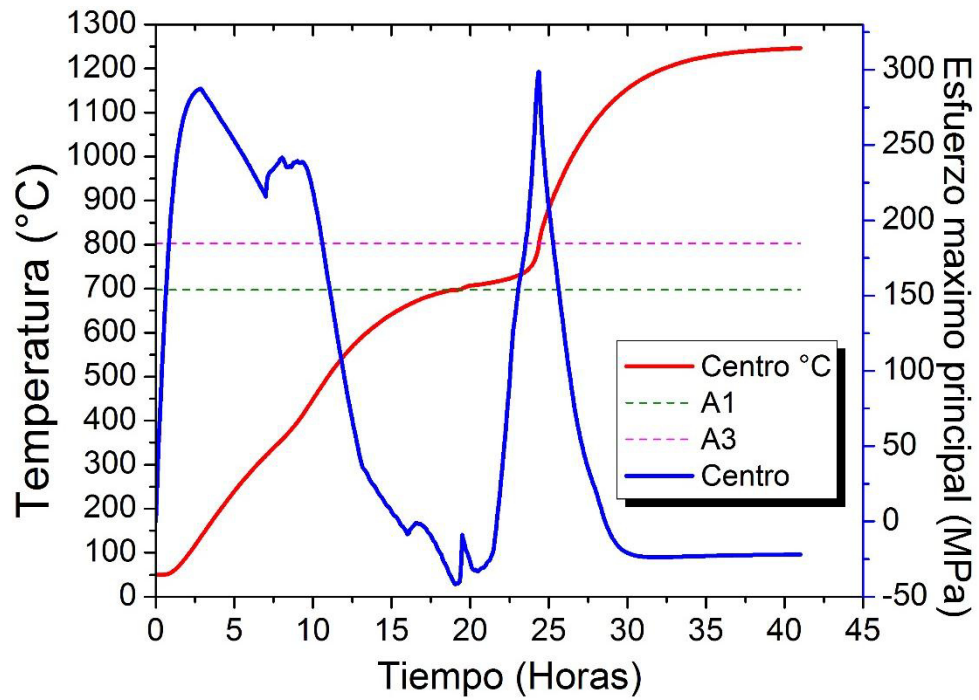


Figura 5. 4 Comparación del comportamiento del esfuerzo máximo principal con la temperatura del centro del lingote durante el ciclo de calentamiento.

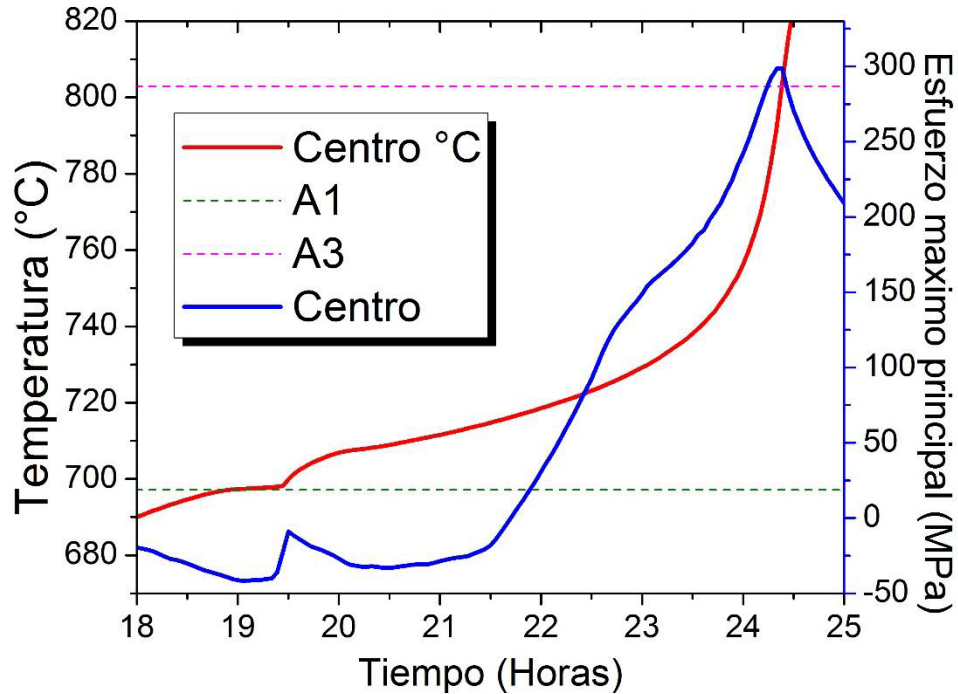


Figura 5. 5 Segunda etapa del ciclo de calentamiento donde el centro del lingote llega a la temperatura de transformación de fase y los esfuerzos se elevan.

El esfuerzo máximo principal en la parte central de los lingotes en las distintas pruebas esta graficado en la Figura 5. 6, donde se observa que la prueba “B” tiene el esfuerzo mayor de las 3, debido a que, en esa prueba, el final de la transformación de fase en el centro coincide exactamente en tiempo con el incremento en temperatura del último escalón del set point. En las otras dos pruebas, el final de la transformación del centro ocurre al momento cuando el horno se encuentra en la última isoterma a 1280°C. En esta figura se nota que las temperaturas A₁ y A₃ cambian para cada tipo de acero ya que la temperatura donde se presenta el valor mayor de esfuerzo máximo principal es diferente en cada una.

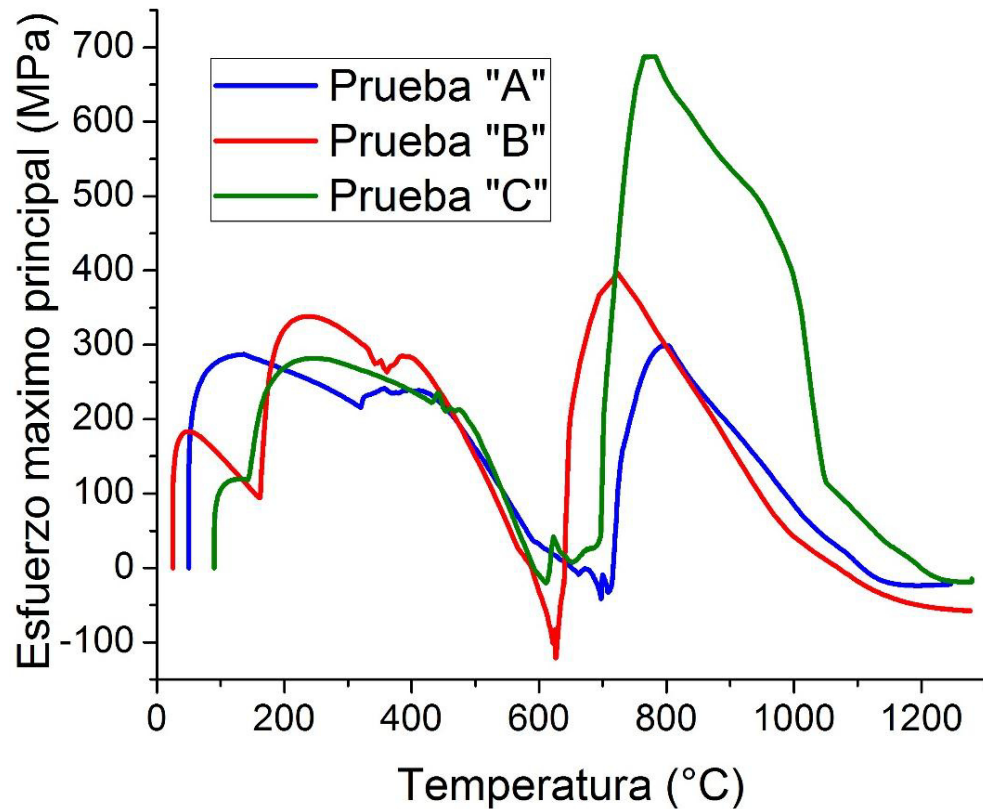


Figura 5. 6 Valor de esfuerzos máximos principales generados en las diferentes pruebas en función de la temperatura.

Los resultados de los esfuerzos hidrostáticos en la parte central de cada lingote se graficaron en función de la temperatura en la Figura 5. 7, los cuales tienen un comportamiento muy similar al esfuerzo máximo principal, con la diferencia en la magnitud. Los puntos discutidos anteriormente para el esfuerzo principal máximo, son por tanto aplicables al esfuerzo hidrostático.

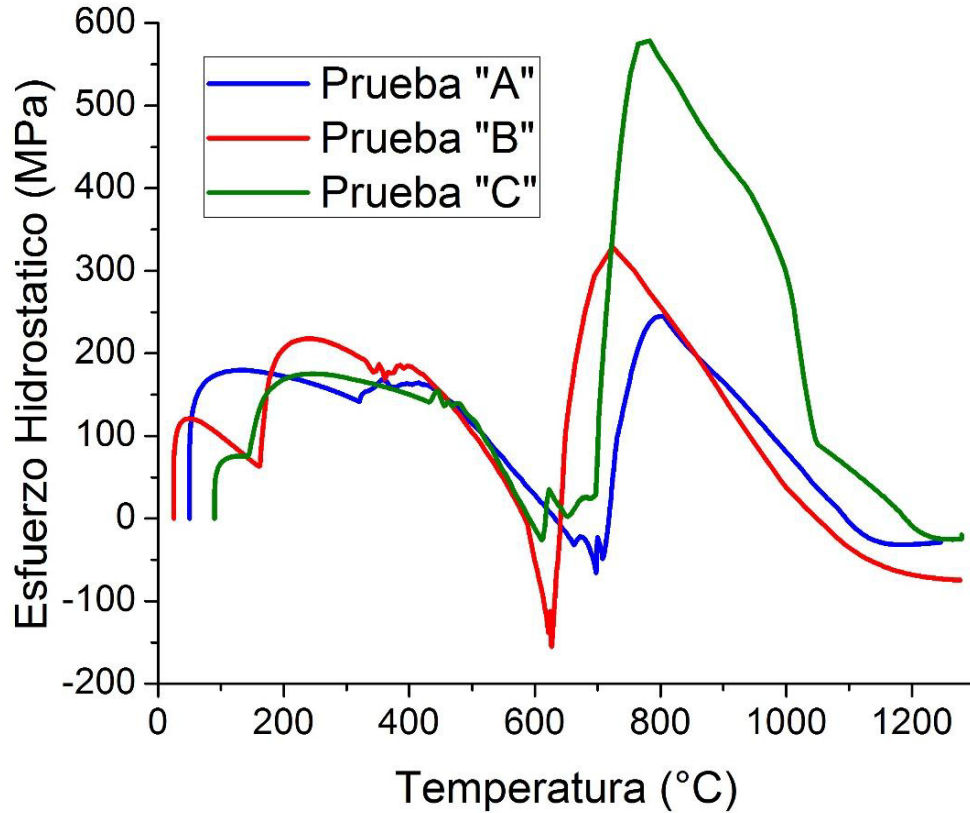


Figura 5. 7 Valor de esfuerzos hidrostáticos generados en las diferentes pruebas en función de la temperatura.

Los esfuerzos efectivos en la parte central del lingote en cada prueba se muestran en la Figura 5. 8, donde se observa a la prueba "B" con el valor más alto a temperaturas por debajo de la de transformación, y en el lingote "C" después de la transformación. Los esfuerzos efectivos en el centro del lingote aumentan rápidamente con los cambios de temperatura en el horno. Cada escalón del set point se ve reflejado en el comportamiento de los esfuerzos efectivos, a excepción del aumento menos pronunciado a alta temperatura al final del ciclo de calentamiento donde se observa a las 3 pruebas con esfuerzos al final del ciclo. Al momento de iniciar la transformación de fase, prácticamente no hay esfuerzos efectivos en el centro del lingote. Comparando con las curvas de fluencia (flow stress) en la misma figura, se observa que el esfuerzo de cedencia siempre está por encima del esfuerzo efectivo, a excepción de la

prueba "C" a partir de los 800°C y hasta 1050°C lo que nos indica que en el lingote "C" existe deformación plástica en el centro cuando se encuentra en ese rango de temperatura. En la prueba "A" y "B" existen puntos (1100°C y 800°C respectivamente) donde también existe deformación plástica.

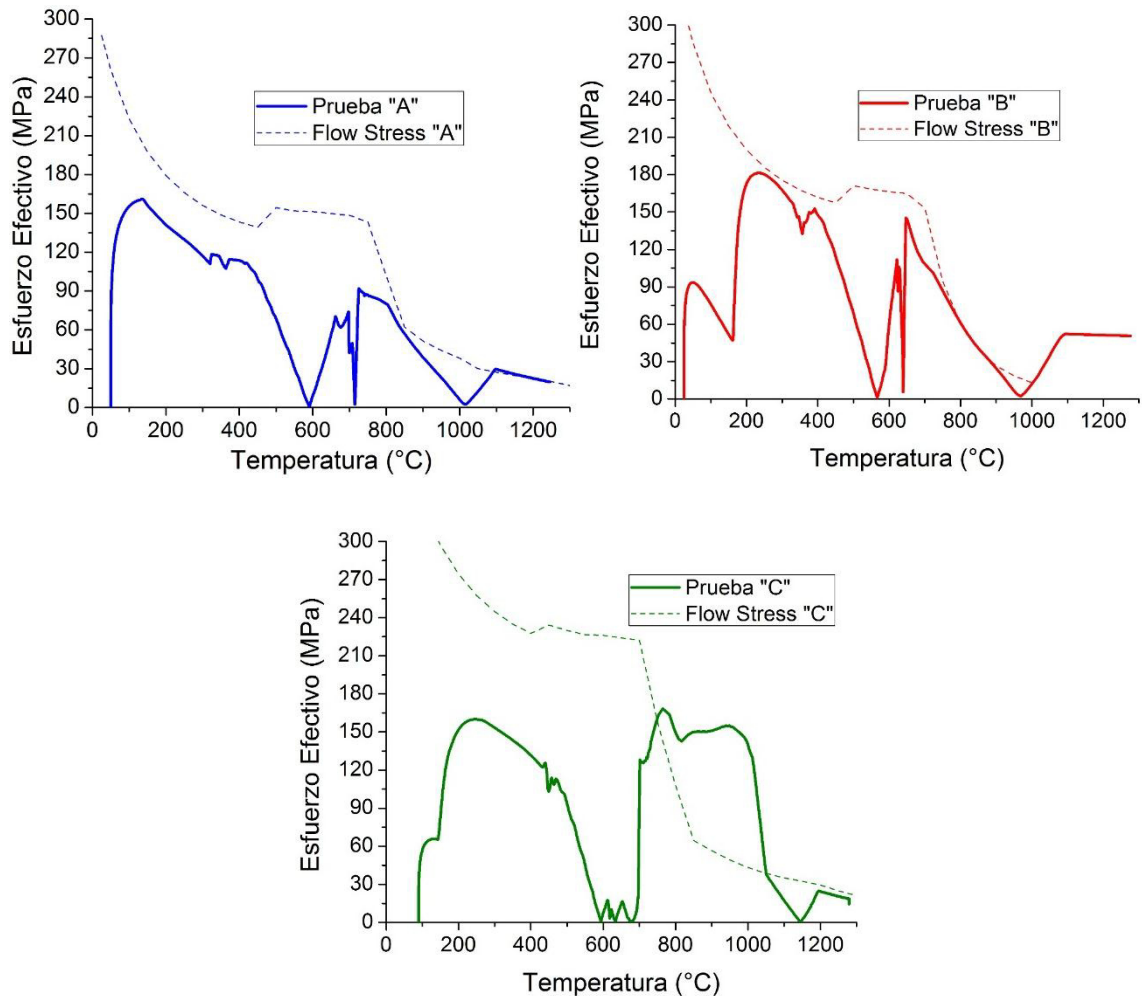


Figura 5. 8 Valor de esfuerzos efectivos generados en las diferentes pruebas en función de la temperatura.

Debido a que en la prueba "C" fue donde se observó a los esfuerzos efectivos mucho mayores que el esfuerzo de cedencia a alta temperatura (es decir deformación plástica), se decidió calcular los valores de esfuerzos efectivos en las zonas donde se encontraron los termopares físicamente en la prueba "C" de la planta, los resultados se muestran en la Figura 5. 9 donde se observa que

cuando los termopares llegan a 750° aproximadamente generan esfuerzos efectivos que se encuentran muy cerca del esfuerzo de cedencia y justo antes de terminar la transformación de fase existe la deformación plástica, esto puede explicar el comportamiento de los termopares de la Figura 4. 3 en la prueba industrial ya que, con la deformación plástica en esas zonas a esa temperatura, el termopar pudo haberse movido y perder el contacto con el lingote.

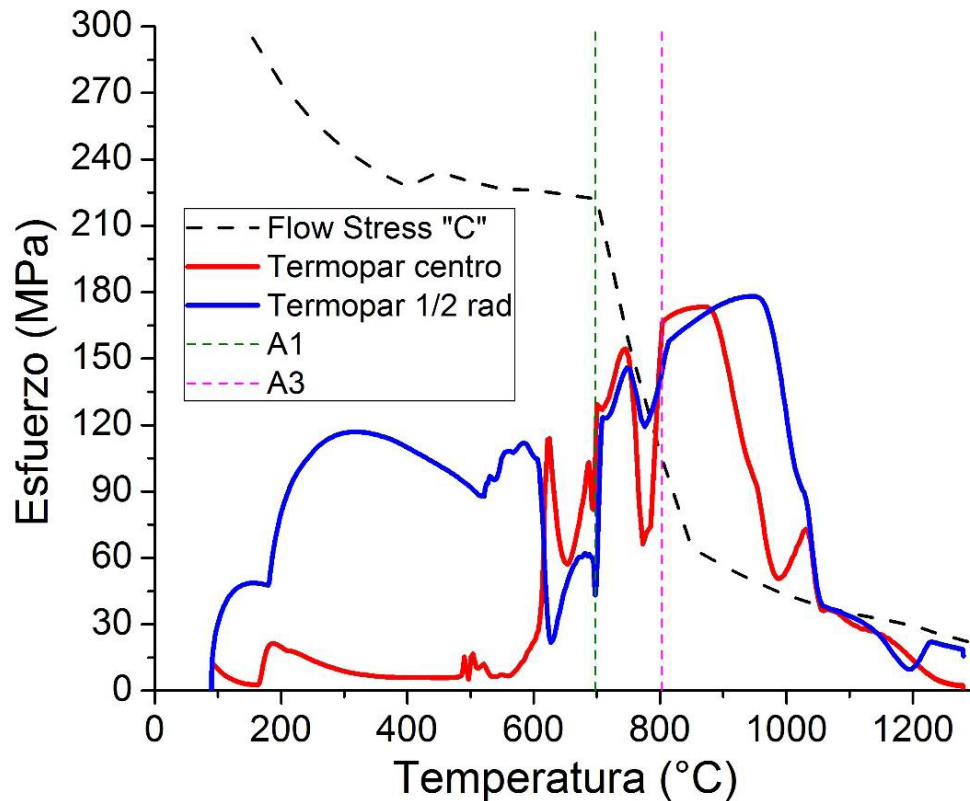


Figura 5. 9 Esfuerzos efectivos calculados para las zonas de los termopares (centro y medio radio) del lingote “C” durante la prueba de calentamiento en la planta.

En la Figura 5. 10 se muestra el comportamiento de los 3 esfuerzos calculados (máximo principal, hidrostático y efectivo) en función de la temperatura para la prueba “A”, donde al inicio del ciclo de calentamiento, cuando el centro del lingote está a temperatura ambiente, los 3 tipos de esfuerzos se elevan por la diferencia de temperatura que existe entre el centro del lingote en ese momento y la temperatura del horno, cuando el centro del lingote se encuentra a 330°C,

la temperatura del horno aumenta por el cambio de escalón en el set point, este mismo efecto se observa a 650°C, justo antes del inicio de la transformación, ya que el horno se eleva al escalón de 1100°C, es por eso que se alcanzan a ver dos picos muy juntos, uno corresponde al cambio de escalón en el set point y el segundo al inicio de transformación de fase, este mismo efecto se esperaría observar en el último escalón después de la transformación de fase, pero no fue así. Hay un aumento en el esfuerzo efectivo a 590°C cuando llega a 0 MPa (que es justo cuando el esfuerzo máximo principal y el esfuerzo hidrostático tienen el mismo valor) debido a que los esfuerzos principales se vuelven de compresión, sin embargo, el lingote continúa expuesto a deformarse plásticamente. Este mismo efecto ocurre a temperatura de 1000°C. El esfuerzo efectivo no presenta su máximo valor al terminar la transformación de fase.

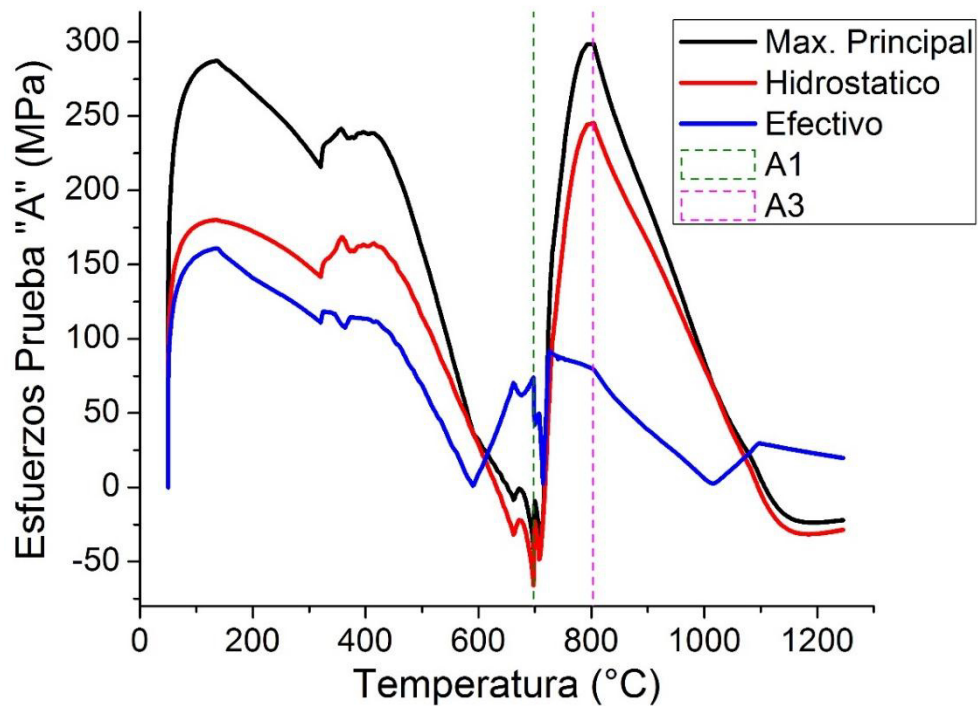


Figura 5. 10 Relación de los 3 diferentes tipos de esfuerzos (Máximo principal, hidrostático y efectivo) calculados para el lingote "A" en función de la temperatura.

5.5 Optimización de los ciclos de calentamiento

De acuerdo con la sección 5.4, el momento crítico al recalentar el lingote durante el ciclo de calentamiento es cuando el centro termina su transformación de ferrita a austenita. Los esfuerzos se reducen cuando la temperatura de la superficie del lingote está justo por encima de la temperatura de transformación y ésta se mantiene hasta que el centro del lingote comience su transformación con el objetivo que la transformación de fase a lo largo del radio del lingote ocurra lentamente, que aunque va en contra del objetivo que es reducir los tiempos del ciclo, es conveniente para mantener los esfuerzos en un nivel aceptable, pudiendo reducir tiempos en las otras etapas del calentamiento o incluso eliminar escalones. En el presente trabajo, se hicieron varias simulaciones para cada tipo de lingote con diferentes ciclos y los que se presentarán a continuación son los que mejor cumplen con los objetivos.

5.5.1 Calentamiento del lingote “A”.

El ciclo de calentamiento para el lingote “A” se rediseñó minimizando un 26% del tiempo total del ciclo original como se muestra en la Figura 5. 11 asegurando, con el ciclo optimizado, que la temperatura del centro del lingote alcanza la temperatura requerida para la forja, además, que los esfuerzos térmicos generados no exceden los esfuerzos que se tenían en el ciclo de calentamiento original. Los esfuerzos máximos principales generados en el ciclo original fueron tomados como referencia para la optimización. En la Figura 5. 12 se muestra la comparación del comportamiento de los esfuerzos principales en los dos diferentes ciclos de calentamiento para el lingote “A”.

Se observa en las Figuras 4.8 y 4.9 que el esfuerzo máximo principal tiene el valor mayor en el centro del lingote cuando está terminando su transformación de fase, el medio radio del lingote presenta un valor mayor de esfuerzo principal que el centro en el intervalo de 16 a 20 horas del ciclo de calentamiento, esto es debido a que el medio radio está terminando su transformación de fase y el

centro a ese mismo tiempo está alcanzando la temperatura de transformación, sin embargo, el esfuerzo en el medio radio durante ese intervalo, es menor al esfuerzo alcanzado en el centro al momento de terminar su transformación de fase, que es el máximo valor encontrado.

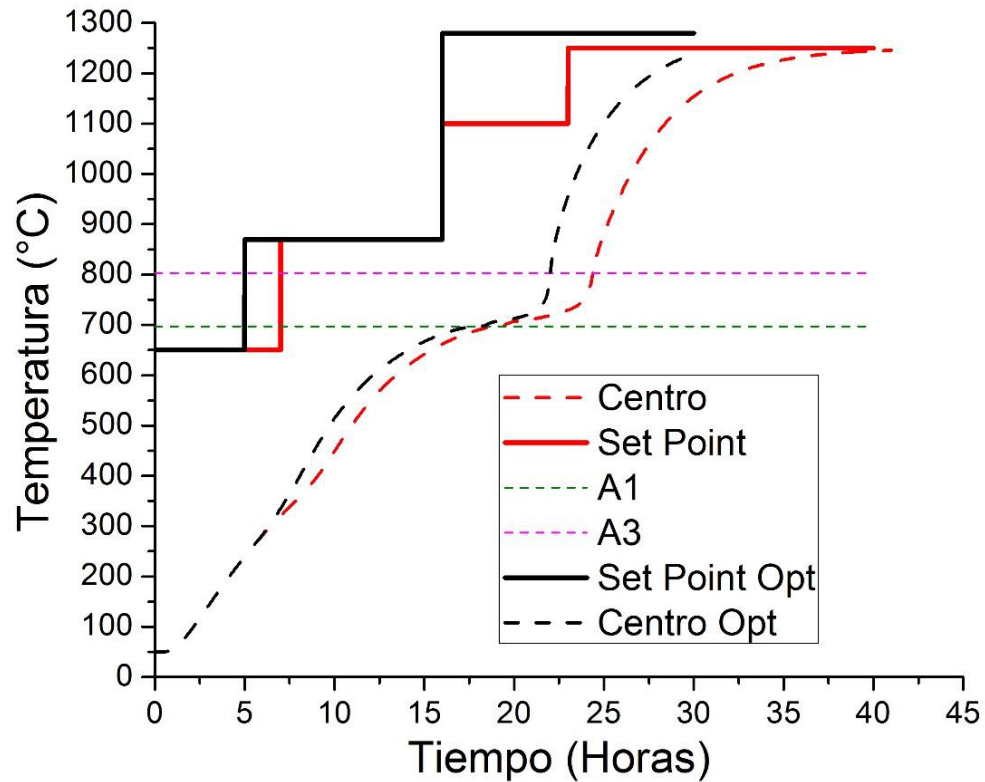


Figura 5. 11 Comparación del set point y simulaciones del centro del ciclo de calentamiento original vs el ciclo optimizado para el lingote "A".

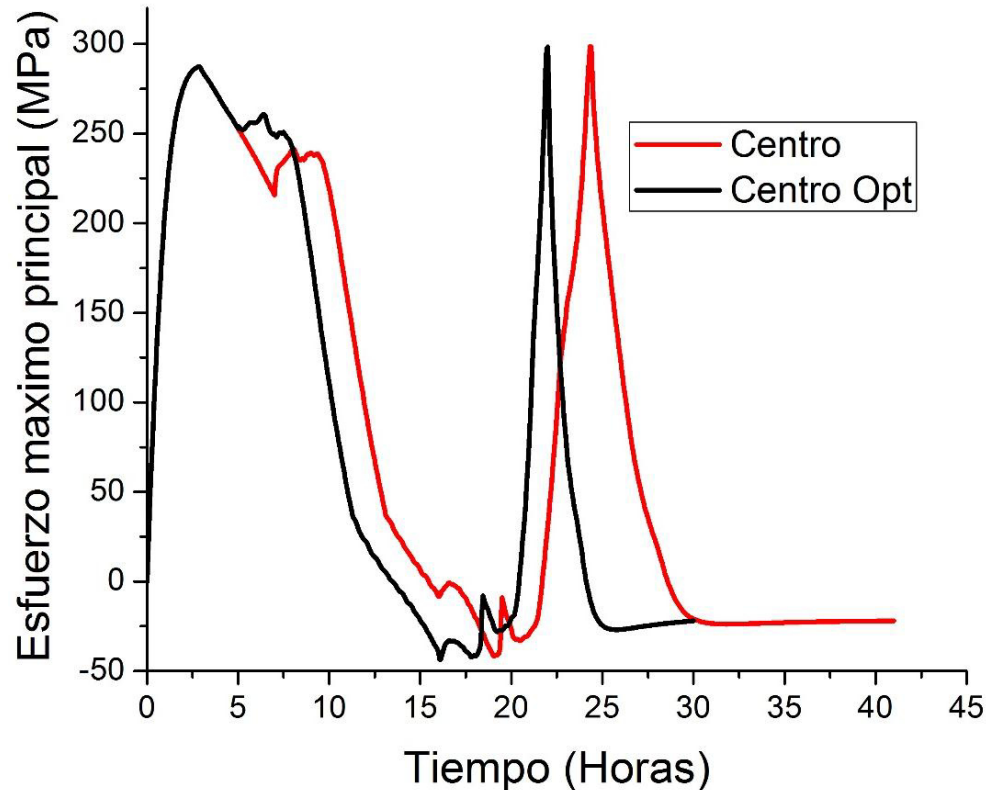


Figura 5. 12 Comparación de los esfuerzos máximos principales en el centro del lingote generados con ciclo de calentamiento original vs el ciclo de calentamiento optimizado para el lingote "A".

La resistencia de un material disminuye con el aumento en la temperatura, es por eso que el valor de esfuerzo generado en el centro del lingote fue el que se tomó como referencia ya que es el más alto, y además a alta temperatura. El valor de esfuerzo en la primera etapa del ciclo de calentamiento optimizado es mayor que el esfuerzo en la primera etapa del ciclo de calentamiento original, pero éste sigue siendo menor que el máximo esfuerzo en el centro del lingote al finalizar la transformación. En la Figura 5. 13 se grafican los esfuerzos máximos principales generados con el ciclo original y el ciclo optimizado para el lingote "A" en función de la temperatura, donde se verifica que los esfuerzos del ciclo de calentamiento optimizado están en un rango seguro al no sobrepasar los esfuerzos del ciclo original al finalizar la transformación del centro del lingote.

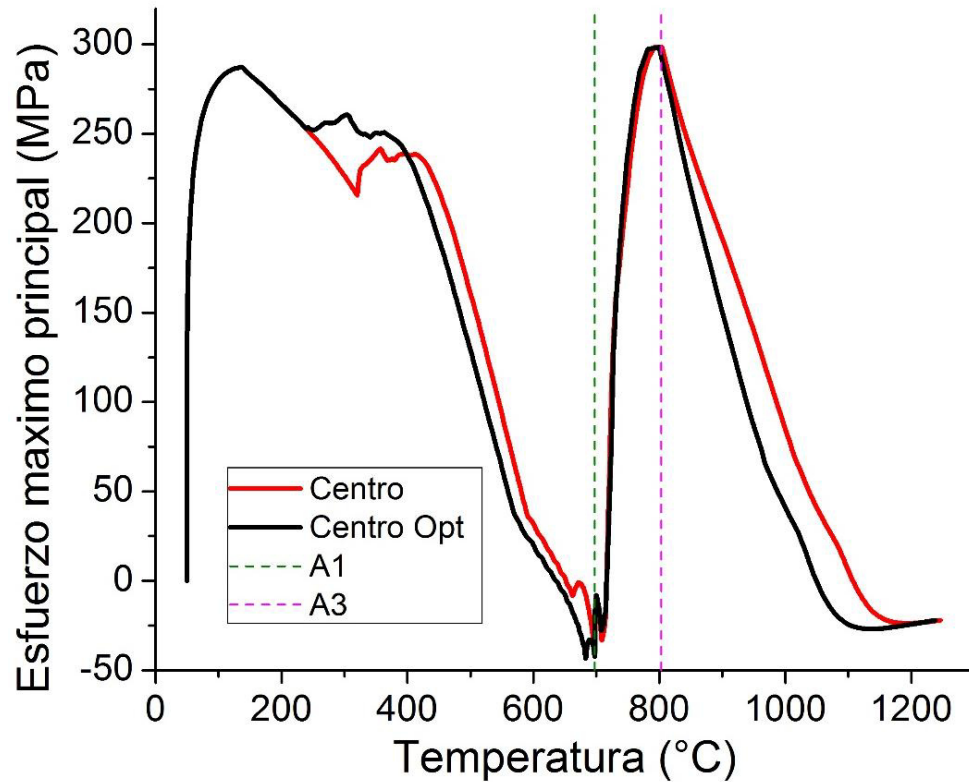


Figura 5. 13 Esfuerzo máximo principal en el centro del lingote “A” comparando el ciclo de calentamiento original vs el ciclo de calentamiento optimizado en función de la temperatura.

El procedimiento de optimización del ciclo de calentamiento está basado en la reducción de los tiempos en cada escalón del set point tomando como punto estratégico la transformación de fase del centro del lingote debido a que es donde se presenta el mayor esfuerzo durante el ciclo de calentamiento, ajustado por simulaciones de elemento finito y un conocimiento del comportamiento del material.

Se decidió reducir el primer escalón en el set point (650°C) de 7 a 5 horas, debido a que el esfuerzo máximo principal empieza a bajar después de 3 horas de calentamiento y sabemos que cuando existe un cambio en el set point el esfuerzo aumenta, así que se dejaron 2 horas extra para bajar esos esfuerzos porque éstos están muy cerca del valor de esfuerzos permitido (300 MPa

aproximadamente). El siguiente escalón (870°C) es el que consideré más importante para mantener los esfuerzos en un rango seguro debido a que es el que se encuentra justo por encima de la temperatura A_3 , este escalón debe ser tan extenso como para que el centro comience su transformación a austenita (lo que quiere decir que los demás puntos del lingote ya terminaron de transformar o están en el proceso) por lo que a este escalón se le aumento tiempo en el ciclo optimizado de 9 a 11 horas. El escalón a 1100°C ya no fue necesario debido a que el centro del lingote ya estaba en proceso de transformación a 870°C lo que significa que la transformación a través de la longitud radial del lingote es más lenta y, en consecuencia, los esfuerzos no sobrepasan el límite establecido; el gradiente de temperatura entre el centro y superficie que se generó eliminando este escalón no provocó problema en el comportamiento de los esfuerzos. El último escalón (1280°C) se redujo 4 horas (de 18 a 14), las primeras 6 horas de este escalón se encargaron de terminar de transformar el lingote. Los esfuerzos principales van disminuyendo a través de esta etapa del ciclo de calentamiento porque el gradiente de temperatura se va haciendo cada vez más pequeño, y el tiempo restante fue el necesario para llevar el centro a la temperatura de forja.

Aunque la temperatura en el centro del lingote con el ciclo optimizado alcanza los 1240°C y no los 1280°C como indica el set point y la superficie del lingote, se consideró el enfriamiento que sufre la superficie al momento de sacar el lingote del horno y el tiempo que pasa en el transcurso a la prensa, por lo que se puede decir que el lingote está a una temperatura uniforme en centro y superficie.

El valor de los esfuerzos efectivos en el ciclo optimizado para el lingote "A" es similar al ciclo de calentamiento original como se muestra en la Figura 5. 14, por lo que el lingote se deformará de la misma manera con ambos ciclos de calentamiento.

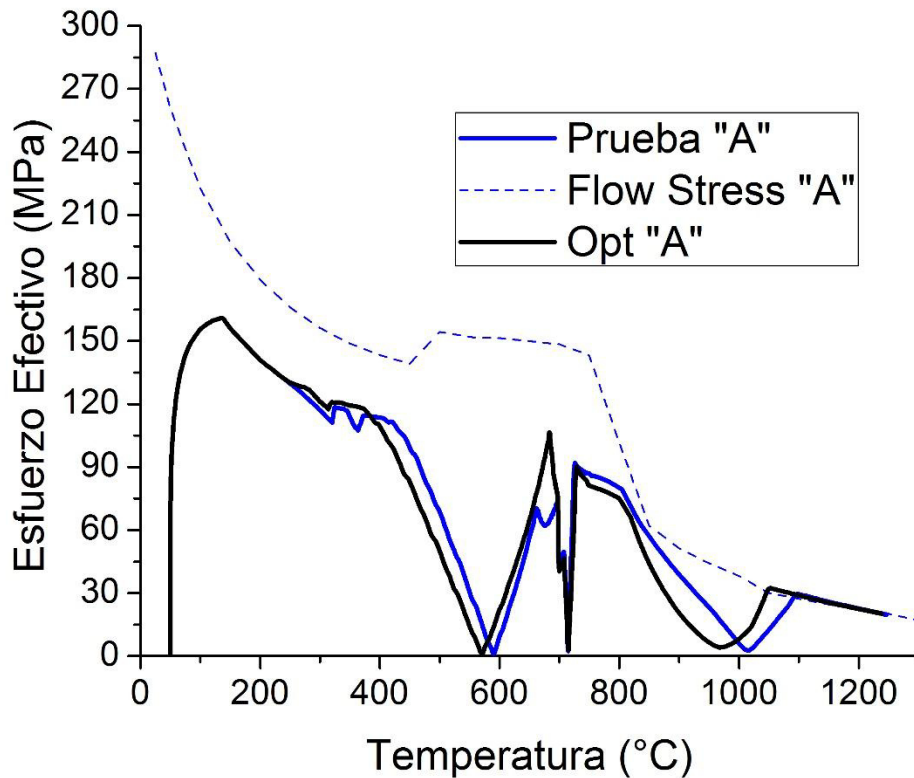


Figura 5. 14 Comparación del comportamiento del esfuerzo efectivo en el centro del lingote "A" con los diferentes ciclos de calentamiento.

5.5.2 Calentamiento del lingote "B".

El ciclo de calentamiento para el lingote "B" se rediseñó minimizando un 27% del tiempo total del ciclo original como se muestra en la Figura 5. 15 asegurando, con el ciclo optimizado, que la temperatura del centro del lingote alcanza la temperatura requerida para la forja, además, que los esfuerzos térmicos generados no exceden los esfuerzos que se tenían en el ciclo de calentamiento original. En la Figura 5. 16 se muestra la comparación del comportamiento de los esfuerzos principales en los dos diferentes ciclos de calentamiento para el lingote "B".

Se decidió empezar con un escalón a 500°C durante 3 horas debido a las dimensiones que tiene el lingote y evitar el alto gradiente de temperatura al

inicio del ciclo entre la superficie y el centro e impedir el inicio de la transformación de fase ya que en este acero la temperatura A_1 es de 610°C . El siguiente escalón en el set point optimizado es a 650°C durante 6 horas, igual que en el original, debido a que es el tiempo que tarda el centro para bajar su esfuerzo; el esfuerzo en el ciclo optimizado es mayor en esta etapa al esfuerzo en el ciclo original debido a que no se tomó en cuenta las primeras 10 horas de calentamiento original, sin embargo, estos esfuerzos (con el ciclo optimizado) son menores a los generados al final de la transformación de fase en la parte central del lingote (con el ciclo original). El siguiente escalón a 870°C , que, como ya se mencionó es el que debe ser tan largo para que el centro del lingote alcance la temperatura A_1 , tuvo una duración de 12 horas (4 horas más que el ciclo de calentamiento original) y en este periodo se observa como los esfuerzos decrecen. A pesar de las dimensiones del lingote "B", es posible eliminar el escalón a 1100°C debido a que a esta temperatura no se ve afectado en los esfuerzos en la parte central del lingote por lo que el siguiente y último escalón fue el de 1280°C por 16 horas para el ciclo optimizado (13 horas menos que el ciclo de calentamiento original) de las cuales las primeras 5 horas de este escalón fueron las que el lingote necesitó para completar la transformación austenítica en todos sus puntos y el resto se utilizó para llevar al centro del lingote a la temperatura necesaria para la forja. Al igual que en la prueba "A", los esfuerzos en el centro del lingote durante el último escalón se minimizaron hasta terminar en esfuerzos de compresión (-50 MPa aproximadamente).

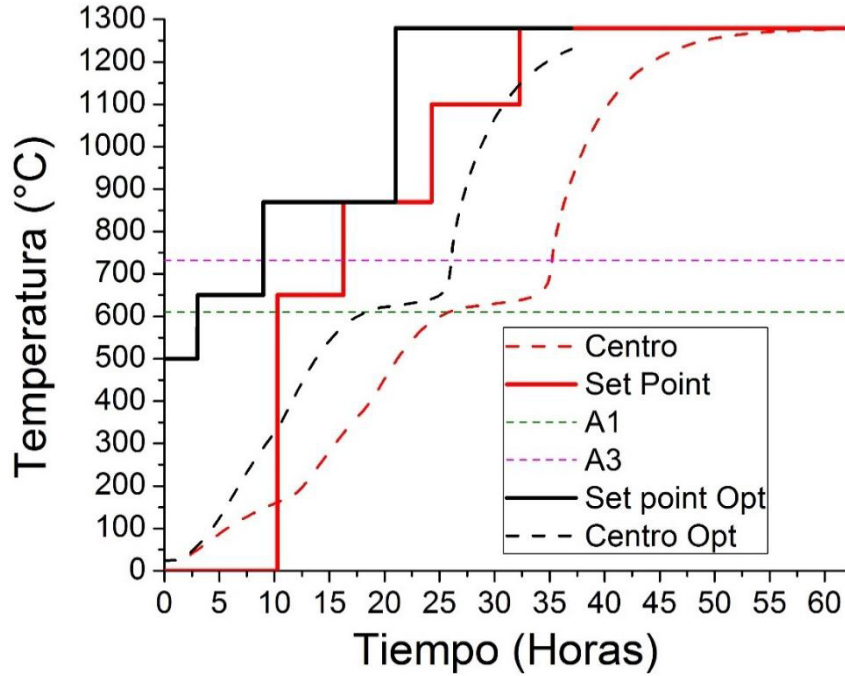


Figura 5. 15 Comparación del set point y simulaciones del centro del ciclo de calentamiento original vs el ciclo optimizado para el lingote "B".

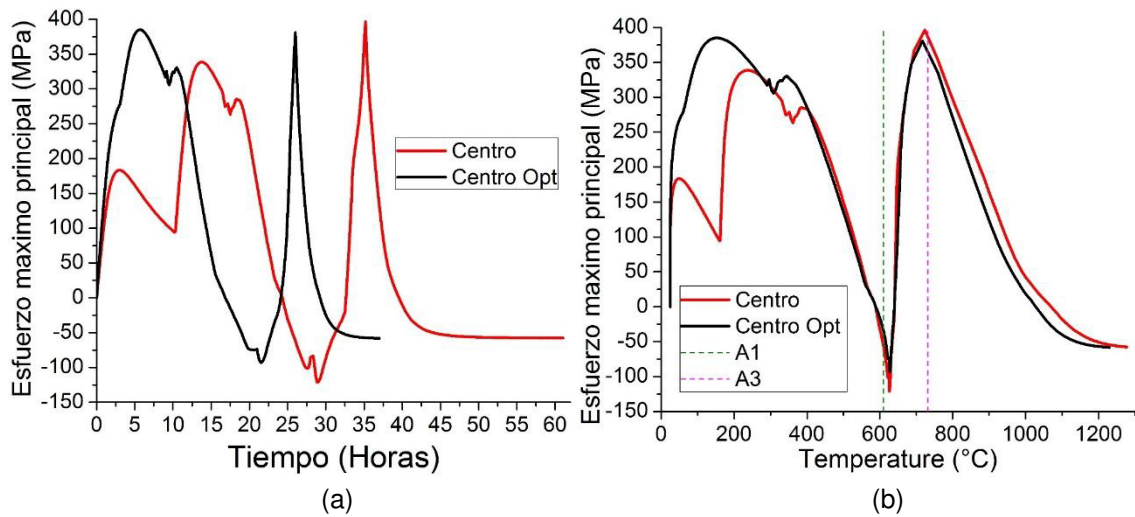


Figura 5. 16 Comparación de los esfuerzos máximos principales en el centro del lingote generados con ciclo de calentamiento original vs el ciclo de calentamiento optimizado para el lingote "B". (a) durante el ciclo de calentamiento y (b) en función de la temperatura.

Los esfuerzos efectivos calculados para el ciclo de calentamiento optimizado del lingote "B" indican, a diferencia del ciclo original, una deformación plástica

en el centro del lingote cuando éste alcanza una temperatura de 350°C aproximadamente como se muestra en la Figura 5. 17, este esfuerzo en el ciclo optimizado es ligeramente mayor al esfuerzo de cedencia por lo que se considera una deformación plástica muy pequeña en esa zona. A temperaturas de transformación el esfuerzo efectivo en el ciclo optimizado está por debajo del que se generó en el ciclo original. En la etapa final del calentamiento, los esfuerzos efectivos en ambos ciclos alcanzan valores similares.

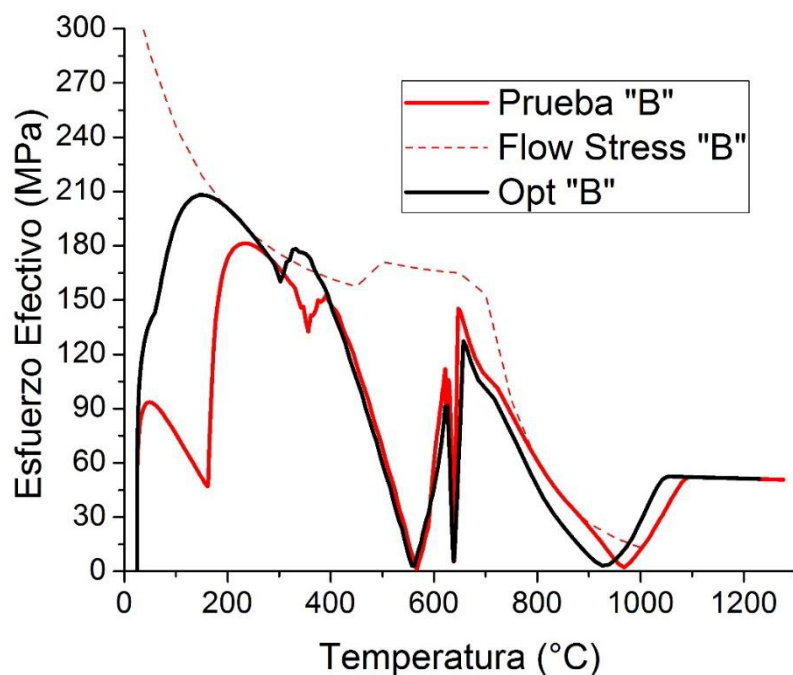


Figura 5. 17 Comparación del comportamiento del esfuerzo efectivo en el centro del lingote "B" con los diferentes ciclos de calentamiento.

5.5.3 Calentamiento del lingote "C".

El ciclo de calentamiento optimizado para el lingote "C" se redujo de 38 horas a un tiempo total de 25 horas de calentamiento como se muestra en la Figura 5. 18 asegurando, al igual que en las otras dos optimizaciones, que la temperatura del centro del lingote alcanza la temperatura requerida para la forja y que los

esfuerzos térmicos generados no sobrepasen los esfuerzos que se tenían en el ciclo de calentamiento original. En la Figura 5. 19 se muestra la comparación del comportamiento de los esfuerzos principales en los dos diferentes ciclos de calentamiento para el lingote “C” en función del tiempo y de la temperatura de calentamiento, respectivamente.

Debido a la dimensión del diámetro del perfil de este lingote, es posible eliminar el escalón a 650°C y para esta prueba, se decidió empezar directamente con el escalón a 870°C ya que el gradiente de temperatura que éste genera al inicio del ciclo no provoca que los esfuerzos sobrepasen el límite de esfuerzo establecido por el centro del lingote al final de su transformación porque al ser un lingote más pequeño comparado con los otros dos, el centro y superficie están más juntos. Este escalón a 870°C tiene una duración de 14 horas en el ciclo optimizado (9 horas más que el ciclo original) para permitir al centro del lingote alcanzar la temperatura de inicio de transformación de fase manteniendo los esfuerzos en niveles aceptables. En este ciclo optimizado también se omitió el escalón a 1100°C debido a que al elevar la temperatura directamente a 1280°C, los esfuerzos en el centro del lingote no superaron el límite. El escalón a 1280°C se simuló con una duración de 11 horas (8 horas menos que el ciclo de calentamiento original) de las cuales solo le tomo al centro del lingote 2 horas en terminar la transformación a austenita y el resto en elevar la temperatura a la requerida para la forja. Al igual que en la prueba “A” y “B”, los esfuerzos en el centro del lingote “C” durante el último escalón se minimizaron hasta terminar en esfuerzos de compresión (-20 MPa aproximadamente).

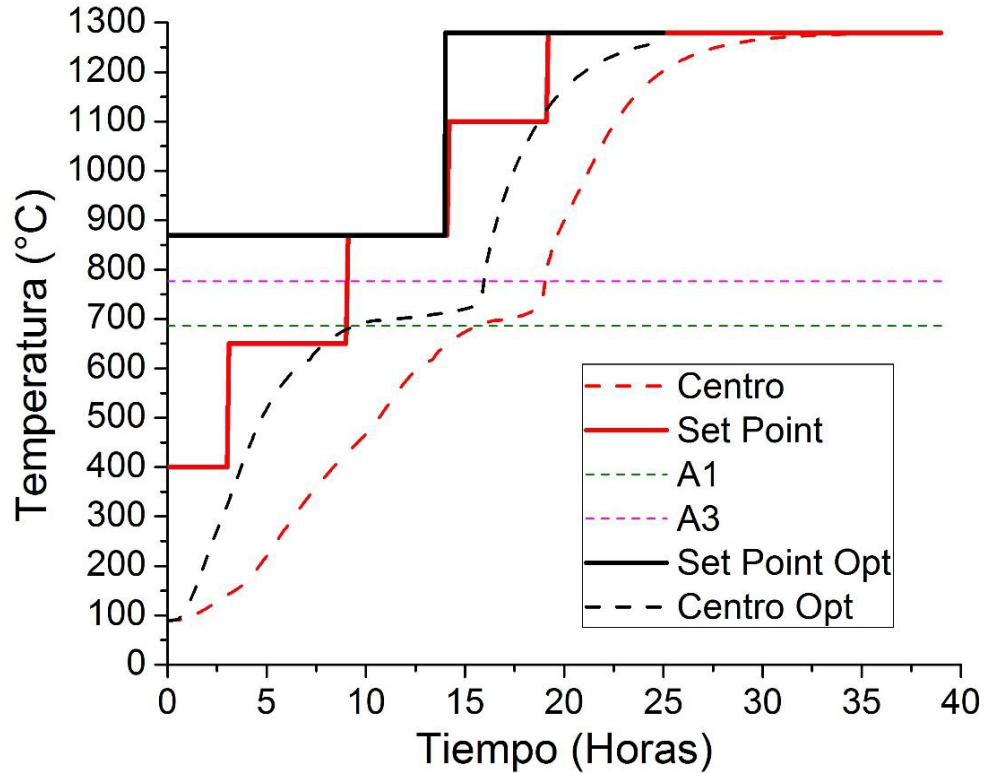


Figura 5. 18 Comparación del set point y simulaciones del centro del ciclo de calentamiento original vs el ciclo optimizado para el lingote "C".

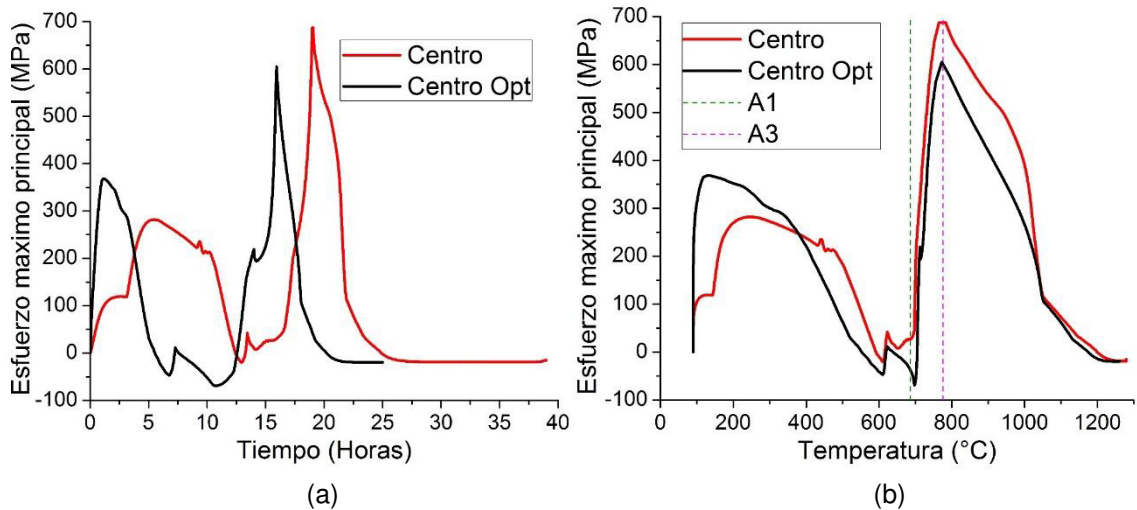


Figura 5. 19 Comparación de los esfuerzos máximos principales en el centro del lingote generados con ciclo de calentamiento original vs el ciclo de calentamiento optimizado para el lingote "C". (a) durante el ciclo de calentamiento y (b) en función de la temperatura.

A pesar de que en la primera etapa del calentamiento los esfuerzos efectivos

son mayores con el ciclo optimizado, el centro del lingote no se deformará plásticamente como se muestra en la Figura 5. 20, la principal diferencia entre ambos ciclos de calentamiento (original y optimizado) ocurre cuando el centro alcanza los 800°C y se presenta una deformación plástica ligeramente mayor en el ciclo optimizado que en ciclo original y a partir de esa temperatura y hasta los 1000°C los esfuerzos caen justo por encima del valor del esfuerzo de cedencia para esa temperatura, mientras que con el ciclo original, los esfuerzos efectivos se mantienen. A partir de los 1000°C ambos ciclos generan los mismos esfuerzos efectivos para el centro del lingote.

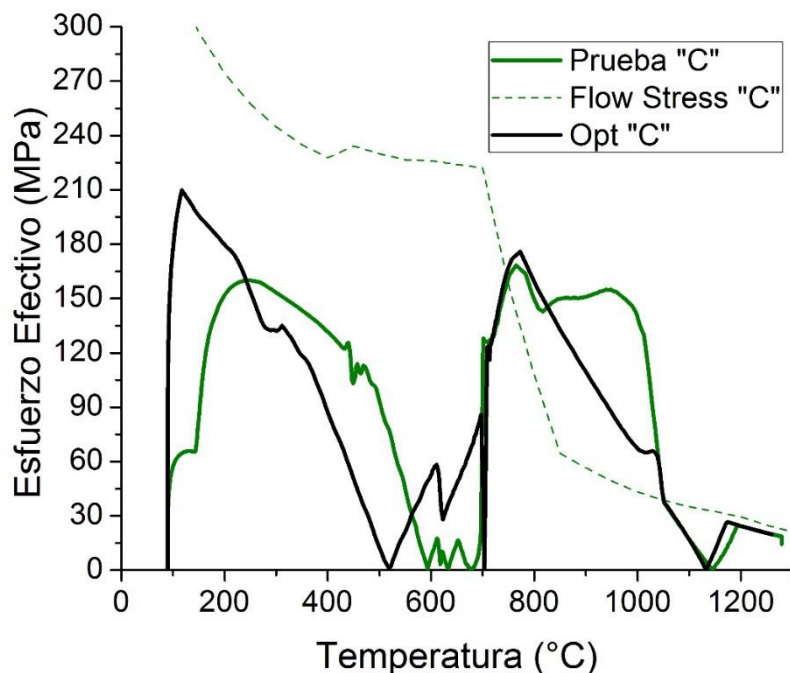


Figura 5. 20 Comparación del comportamiento del esfuerzo efectivo en el centro del lingote "C" con los diferentes ciclos de calentamiento.

En base a estas simulaciones de los ciclos de calentamiento optimizados se pudo concluir que los esfuerzos máximos principales se mantienen en un rango aceptable cuando la temperatura en la superficie del lingote (set point) se encuentra a una temperatura justo por encima de A_3 cuando el centro comienza

su transformación de fase, debido a que a través del perfil del lingote, es decir, desde la superficie hacia el centro del lingote, la cinética de transformación es más lenta por estar a una temperatura menor (870°C) que en ciclo de calentamiento original, por consiguiente, el cambio de volumen por transformación será más lento.

Esta metodología de optimización puede aplicarse a cualquier clase de materiales y diferentes geometrías. Para estas 3 pruebas de optimización de los ciclos de calentamiento de cada lingote, se generó una relación del tiempo requerido en el último escalón del ciclo de calentamiento (1280°C) para que el centro del lingote llegue a la temperatura de forja, dependiendo del diámetro del lingote como se muestra en la Tabla 5. 6.

Tabla 5. 6 Relación entre el diámetro del lingote y las horas necesarias en el último escalón para la homogeneización de la temperatura.

	Diámetro de perfil (D_p) (pulgadas)	Duración del último escalón a 1280°C (t_{hom}) (Horas)		Relación $\frac{t_{hom}}{D_p}$
		Ciclo original	Ciclo optimizado	
Lingote "A"	63	18	14	0.2222
Lingote "B"	69	29	16	0.2319
Lingote "C"	51	19	11	0.2156

$$\frac{t_{hom}}{D_p} \cong 0.22 \quad (7)$$

Donde t_{hom} es el tiempo requerido en horas para que la temperatura se homogenice entre el centro y la superficie, D_p es el diámetro del perfil del lingote en pulgadas.

Capítulo 6

Conclusiones

El modelo de simulación reproduce satisfactoriamente las mediciones de temperatura con los termopares en las pruebas industriales.

El modelo permite calcular las distribuciones de temperaturas y esfuerzos dentro del lingote en función del tiempo, a partir de las propiedades del lingote y la curva de calentamiento del horno, para diferentes grados de acero o tamaños de lingote.

Los modelos de simulación para grandes lingotes de forja ayudan a comprender los fenómenos térmicos, mecánicos y metalúrgicos que suceden durante el proceso de calentamiento y permiten optimizar los ciclos de calentamiento manteniendo la calidad del lingote, ahorrando tiempo y energía e incrementando la productividad de los hornos.

Los esfuerzos térmicos en los ciclos de calentamiento optimizados no superan el esfuerzo máximo del ciclo original para los diferentes lingotes.

Sobre la base que los esfuerzos generados durante el ciclo de calentamiento original no fueron lo suficientemente altos para provocar fracturas en el lingote, es de esperarse que los ciclos de calentamiento optimizados tampoco lo hagan.

El esfuerzo efectivo excede ligera y ocasionalmente el límite de cedencia tanto en los ciclos originales como en los optimizados. Las deformaciones generadas son imperceptibles, sin embargo, en los ciclos optimizados puede llegar a existir una mayor deformación plástica que en los ciclos originales.

Tanto en los ciclos de calentamiento originales como en los optimizados, los tiempos y temperaturas de calentamiento son suficientes para llevar a solución los distintos precipitados encontrados en el centro del lingote.

Se puede reducir el tiempo de calentamiento aproximadamente un 26% del tiempo total sin afectar las condiciones de forja

Capítulo 7

Bibliografía

- [1] Y.-D. K. D.-J. C. a. D.-Y. K. Dong-Kwon Kim, *Forging process design for the large forgings by finite element method*, Korea: R&D Institute, Doosan Heavy industries, 2003.
- [2] V. G. R. R. B.I. Tomov, «Numerical simulations of hot die forging processes using finite element method,» *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 153–154, p. 352–358, 2004.
- [3] M. C. C. V. T. Y. M. S.K. Choi, «Optimization of open die forging of round shapes using FEM analysis,» *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 172, p. 88–95, 2006.
- [4] S. N. T. K. a. M. M. K. T. Inoue, «Description of Transformation Kinetics, Heat Conduction and Elastic-Plastic Stress in the Course of Quenching and Tempering of Some Steels,» *Ingenieur Archiv*, vol. 50, pp. 315-327, 1981.
- [5] Y. A. Cengel, *Transferencia de calor*, 2º ed. Mc Graw Hill, 2004.
- [6] K. E. E. a. M. Y. S. David A. Porter, *Phase Transformations in Metals and Alloys*, 3º edition, 2009.
- [7] A. Ghosh, « Segregation in cast products,» *Sadhana*, vol. 26, pp. 5-24, 2001.
- [8] J. G. a. C. Beckermann, «Simulation of Convection and Macrosegregation in a Large Steel Ingot,» *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 30A, pp. 1357-1366, 1999.
- [9] E. J. PICKERING, «Macrosegregation in Steel Ingots: The Applicability of Modelling and Characterisation Techniques,» *ISIJ International*, vol. 53, nº 6, p. 935–949, 2013.
- [10] M. W. A. L. A. K. Jun Li, «Simulation of macrosegregation in a 2.45-ton steel ingot using a three-phase mixed columnar-equiaxed model,» *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 72, p. 668–679, 2014.
- [11] G. B. a. C. V. Tyne, «Modeling of Heating and Heat Treating Cycles for

Large Forgings,» *Industrial heating Journal*, vol. 63, nº 5, p. 6, 1996.

- [12] R. C. Sun, «Determination of the Forging-Heating Schedule for a Large "HASTELLOY" Alloy X Ingot,» *Metallurgical Transactions*, vol. 1, pp. 1881-1887, 1970.
- [13] R. L. G. S. L. S. M. K. Alam, «Modeling of Thermal Stresses and Thermal Cracking During Heating of Large Ingots,» *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 118, pp. 235-243, 1996.
- [14] Forging Technologies, «Development of the most efficient process for production of steel bars by means of open die forging,» Switzerland, 2009.
- [15] H. S. O. K. T. H. Jérémy Epp, «In situ X-ray phase analysis and computer simulation of carbide dissolution of ball bearing steel at different austenitizing temperatures,» *Acta Materialia*, vol. 55, p. 5959–5967, 2007.
- [16] P. R.-D.-d.-C. J.-H. Kang, «Carbide dissolution in bearing steels,» *Computational Materials Science*, vol. 67, p. 364–372, 2013.
- [17] F. F. M. F. M. G. A. G. C. M. D. M. G. Fantini, «Study about chemical homogenization of ingots and optimization of heating cycle,» *Metallurgia Italiana*, nº 3, pp. 47-52, 2013.
- [18] E. P. W. R. P. Gong, «Dissolution and precipitation behaviour in steels microalloyed with niobium during thermomechanical processing,» *Acta Materialia*, vol. 97, p. 392–403, 2015.
- [19] Scientific Forming Technologies Corporation, DEFORM™ V11.0, Columbus, Ohio, 2014.
- [20] Sente Software Ltd., JMatPro V8.0, Reino Unido, 2014.
- [21] R. B. y. J. S. A. Giacomini, «Disolución de carburos en piezas de fundición esferoidal de pequeño espesor,» *Jornadas SAM – CONAMET – AAS*, pp. 165-172, 2001.
- [22] S. Chandrasekharan, Optimization of preheating schedules for nickel base superalloy ingots using finite element analysis, Ohio: M.S. thesis, Dept. of Industrial and Systems Engineering, Ohio state University, 1992.
- [23] G. E. Dieter, Mechanical Metallurgy, McGraw-Hill, 1988.

Índice de Figuras

Figura 2. 1 Tres tipos de características durante los tratamientos térmicos y de acoplamiento entre ellos.	6
Figura 2. 2 Mecanismos de transferencia de calor hacia el lingote dentro del horno.....	7
Figura 2. 3 Representación del flujo de calor por conducción	8
Figura 2. 4 Representación del flujo de calor por convección.....	9
Figura 2. 5 Estructura esquemática general de solidificación de un lingote vaciado	11
Figura 2. 6 Esquema de defectos de macrosegregación en grandes lingotes de acero.....	13
Figura 2. 7 Representación del comportamiento del lingote cuando ocurre una transformación de fase.	15
Figura 3. 1 Dimensiones del lingote "A" ASTM A105.....	18
Figura 3. 2 Dimensiones del lingote "B" AISI 4330	19
Figura 3. 3 Dimensiones del lingote "C" AISI 8630	20
Figura 3. 4 Taladro de banco magnético montado para generar el barreno en la mazarota.....	20
Figura 3. 5 Laja de material AISI 8630 donde muestra las zonas que fueron caracterizadas. Rojo: macroataque, Verde: MO, SEM, DRX.....	21
Figura 3. 6 Prueba de calentamiento del lingote "A"	23
Figura 3. 7 Prueba de calentamiento del lingote "B"	24
Figura 3. 8 Prueba de calentamiento del lingote "C"	25
Figura 3. 9 Malla del modelo base de simulación.	27
Figura 3. 10 Comportamiento del coeficiente de expansión térmica en función de la temperatura para el acero 4330 obtenido por JMatPro.....	28
Figura 3. 11 Pantalla de JMatPro para el cálculo de propiedades en el acero ASTM A105.....	31

Figura 3. 12 Muestras de la superficie y medio radio donde fue realizado el análisis químico por espectroscopia de chispa.	32
Figura 3. 13 Difracción de rayos X.....	36
Figura 3. 14 Equipo de calorimetría diferencial de barrido.....	38
Figura 3. 15 Plataforma para colocar los crisoles dentro del DSC.....	40
Figura 3. 16 Fuente de poder conectada al recipiente con electrolito y a las pinzas de acero inoxidable	42
Figura 3. 17 Bascula digital para obtener la masa de las muestras.....	43

Figura 4. 1 Registro de los termopares del horno y de la pieza para la prueba del lingote “A”.....	44
Figura 4. 2 Registro de los termopares del horno y de la pieza para la prueba del lingote “B”.....	45
Figura 4. 3 Registro de los termopares del horno y de la pieza para la prueba del lingote “C”.....	46
Figura 4. 4 Comparación de los resultados experimentales contra simulación del lingote “A”.	47
Figura 4. 5 Resultados por simulación de temperatura del punto más frio y el punto más caliente durante el ciclo de calentamiento en el lingote “A”.....	48
Figura 4. 6 Esfuerzo efectivo en centro, medio radio y superficie durante el ciclo de calentamiento del lingote “A”.....	49
Figura 4. 7 Esfuerzo hidrostático en centro, medio radio y superficie durante el ciclo de calentamiento del lingote "A".	49
Figura 4. 8 Esfuerzo máximo principal y gradiente de temperatura entre el centro y la superficie del lingote “A”.....	49
Figura 4. 9 Esfuerzo máximo principal y gradiente de temperatura entre el medio radio y la superficie del lingote “A”.	49
Figura 4. 10 Comparación de los resultados experimentales contra simulación del lingote “B”.....	50
Figura 4. 11 Resultados por simulación de temperatura del punto más frio y el punto más caliente durante el ciclo de calentamiento en el lingote “B”.....	51

Figura 4. 12 Esfuerzo efectivo en centro, medio radio y superficie durante el ciclo de calentamiento del lingote "B".	52
Figura 4. 13 Esfuerzo hidrostático en centro, medio radio y superficie durante el ciclo de calentamiento del lingote "B".	52
Figura 4. 14 Esfuerzo máximo principal y gradiente de temperatura entre el centro y la superficie del lingote "B".	52
Figura 4. 15 Esfuerzo máximo principal y gradiente de temperatura entre el medio radio y la superficie del lingote "B".	52
Figura 4. 16 Comparación de los resultados experimentales contra simulación del lingote "C".	53
Figura 4. 17 Resultados por simulación de temperatura del punto más frío y el punto más caliente durante el ciclo de calentamiento en el lingote "C".	54
Figura 4. 18 Esfuerzo efectivo en centro, medio radio y superficie durante el ciclo de calentamiento del lingote "C".	55
Figura 4. 19 Esfuerzo hidrostático en centro, medio radio y superficie durante el ciclo de calentamiento del lingote "C".	55
Figura 4. 20 Esfuerzo máximo principal y gradiente de temperatura entre el centro y la superficie del lingote "C".	55
Figura 4. 21 Esfuerzo máximo principal y gradiente de temperatura entre el medio radio y la superficie del lingote "C".	55
Figura 4. 22 Fases que están presentes termodinámicamente en la aleación AISI 4330 en función de la temperatura.	56
Figura 4. 23 Macroataque realizado a 1/4 de la laja AISI 8630 donde se muestra la estructura de colada del lingote de 39 pulgadas de diámetro.	58
Figura 4. 24 Zona chill en la superficie de la laja. 100X.	59
Figura 4. 25 Micrografías tomadas en el microscopio óptico en la muestra del centro de la laja a 50X, 100X, 200X, 500X y 1000X.	60
Figura 4. 26 Imágenes del centro del lingote a 2500X generadas por los detectores de electrones retrodispersados (BES) y electrones secundarios (SEI), donde se muestra la composición química y el patrón de difracción en cada punto marcado con una cruz roja.	62

Figura 4. 27 Imágenes de la superficie del lingote a 2000X generadas por los detectores de electrones retrodispersados (BES) y electrones secundarios (SEI), donde se muestra la composición química y el patrón de difracción en cada punto marcado con un punto rojo.....	62
Figura 4. 28 Mapa del análisis químico utilizando EDS para el Silicio, Cromo, Manganeso, Hierro y Níquel. Imagen a 250X.	63
Figura 4. 29 Difractograma general de la muestra de la superficie.	64
Figura 4. 30 Difractograma general de la muestra del medio radio.	64
Figura 4. 31 Difractograma general de la muestra del centro.	65
Figura 4. 32 Difractogramas de la muestra de la superficie analizada en rangos de ángulos 2θ de 37-44, 43-46 y 46-53.	66
Figura 4. 33 Difractogramas de la muestra del medio radio analizada en rangos de ángulos 2θ de 37-44, 43-46 y 46-53.	67
Figura 4. 34 Difractogramas de la muestra del centro analizada en rangos de ángulos 2θ de 37-44, 43-46 y 46-53.	68
Figura 4. 35 Resultados del análisis de calorimetría diferencial de barrido, mostrando el set point del horno y el cambio en la entalpia durante el calentamiento y el enfriamiento en función del tiempo (a) y en función de la temperatura (b) para la muestra 1.	69
Figura 5. 1 Efecto de la velocidad de calentamiento en el cambio en la energía para las muestras a 1200°C en el DSC.	80
Figura 5. 2 Derivadas de las curvas de DSC para las muestras a 1200°C.	81
Figura 5. 3 Composición química para el carburo tipo M_7C_3 en función de la temperatura calculado por JMatPro.	81
Figura 5. 4 Comparación del comportamiento del esfuerzo máximo principal con la temperatura del centro del lingote durante el ciclo de calentamiento.	84
Figura 5. 5 Segunda etapa del ciclo de calentamiento donde el centro del lingote llega a la temperatura de transformación de fase y los esfuerzos se elevan.	85
Figura 5. 6 Valor de esfuerzos máximos principales generados en las diferentes pruebas en función de la temperatura.	86

Figura 5. 7 Valor de esfuerzos hidrostáticos generados en las diferentes pruebas en función de la temperatura.	87
Figura 5. 8 Valor de esfuerzos efectivos generados en las diferentes pruebas en función de la temperatura.	88
Figura 5. 9 Esfuerzos efectivos calculados para las zonas de los termopares (centro y medio radio) del lingote "C" durante la prueba de calentamiento en la planta.	89
Figura 5. 10 Relación de los 3 diferentes tipos de esfuerzos (Máximo principal, hidrostático y efectivo) calculados para el lingote "A" en función de la temperatura.....	90
Figura 5. 11 Comparación del set point y simulaciones del centro del ciclo de calentamiento original vs el ciclo optimizado para el lingote "A".	92
Figura 5. 12 Comparación de los esfuerzos máximos principales en el centro del lingote generados con ciclo de calentamiento original vs el ciclo de calentamiento optimizado para el lingote "A".	93
Figura 5. 13 Esfuerzo máximo principal en el centro del lingote "A" comparando el ciclo de calentamiento original vs el ciclo de calentamiento optimizado en función de la temperatura.	94
Figura 5. 14 Comparación del comportamiento del esfuerzo efectivo en el centro del lingote "A" con los diferentes ciclos de calentamiento.	96
Figura 5. 15 Comparación del set point y simulaciones del centro del ciclo de calentamiento original vs el ciclo optimizado para el lingote "B".	98
Figura 5. 16 Comparación de los esfuerzos máximos principales en el centro del lingote generados con ciclo de calentamiento original vs el ciclo de calentamiento optimizado para el lingote "B". (a) durante el ciclo de calentamiento y (b) en función de la temperatura.	98
Figura 5. 17 Comparación del comportamiento del esfuerzo efectivo en el centro del lingote "B" con los diferentes ciclos de calentamiento.	99
Figura 5. 18 Comparación del set point y simulaciones del centro del ciclo de calentamiento original vs el ciclo optimizado para el lingote "C".	101

Figura 5. 19 Comparación de los esfuerzos máximos principales en el centro del lingote generados con ciclo de calentamiento original vs el ciclo de calentamiento optimizado para el lingote "C". (a) durante el ciclo de calentamiento y (b) en función de la temperatura. 101

Figura 5. 20 Comparación del comportamiento del esfuerzo efectivo en el centro del lingote "C" con los diferentes ciclos de calentamiento. 102

Índice de Tablas

Tabla 3. 1 Composición química (% peso) del lingote "A" ASTM A105	18
Tabla 3. 2 Composición química (% peso) del lingote "B" AISI 4330	19
Tabla 3. 3 Composición química (% peso) del lingote "C" AISI 8630	20
Tabla 3. 4 Condiciones a las que se sometieron las muestras para análisis térmico DSC.....	39
Tabla 3. 5 Masa de las muestras después del electropulido	42
Tabla 4. 1 Valores de emisividad y coeficiente de transferencia de calor en función de la temperatura utilizados para el modelo de simulación.	47
Tabla 4. 2 Análisis de composición química (% peso) por espectroscopia de chispa en la superficie, medio radio y centro de la laja.	57
Tabla 5. 1 Comparación de los set point de las distintas pruebas de calentamiento. *Escalón final para prueba "A" es de 1250°C.	72
Tabla 5. 2 Compuestos presentes en la aleación AISI 8630 a temperatura ambiente calculados por JMatPro.....	77
Tabla 5. 3 Compuestos obtenidos por el análisis de DRX a temperatura ambiente de la muestra de la superficie del lingote en la aleación AISI 8630. .	78
Tabla 5. 4 Compuestos obtenidos por el análisis de DRX a temperatura ambiente de la muestra de 1/2 radio del lingote en la aleación AISI 8630.....	78
Tabla 5. 5 Compuestos obtenidos por el análisis de DRX a temperatura ambiente de la muestra del centro del lingote en la aleación AISI 8630.....	78
Tabla 5. 6 Relación entre el diámetro del lingote y las horas necesarias en el último escalón para la homogeneización de la temperatura.	103

Anexo I

Propiedades obtenidas de JMatPro para ASTM A105

Temperatura (°C)	% peso - FERRITA	% peso - AUSTENITA	% peso - MNS	% peso - M(C,N)	% peso - CEMENTITA	% peso - CU	Modulo de Young (GPa)- FERRITA	Modulo de Young (GPa)- AUSTENITA	Modulo de Young (GPa)- M(C,N)
1300	-	99.92407	0.0759384	-	-	-	-	75.98006	-
1290	-	99.92346	0.0765469	-	-	-	-	77.03076	-
1280	-	99.92291	0.0770945	-	-	-	-	78.08003	-
1270	-	99.92242	0.0775864	-	-	-	-	79.12787	-
1260	-	99.92198	0.0780276	-	-	-	-	80.17429	-
1250	-	99.92158	0.0784227	-	-	-	-	81.21929	-
1240	-	99.92123	0.0787759	-	-	-	-	82.26287	-
1230	-	99.92091	0.0790911	-	-	-	-	83.30503	-
1220	-	99.92063	0.079372	-	-	-	-	84.34578	-
1210	-	99.92038	0.0796219	-	-	-	-	85.38512	-
1200	-	99.92016	0.0798437	-	-	-	-	86.42305	-
1190	-	99.91997	0.0800403	-	-	-	-	87.45957	-
1180	-	99.91979	0.0802143	-	-	-	-	88.49469	-
1170	-	99.91964	0.080368	-	-	-	-	89.5284	-
1160	-	99.9195	0.0805035	-	-	-	-	90.56071	-
1150	-	99.91938	0.0806227	-	-	-	-	91.59162	-
1140	-	99.91928	0.0807273	-	-	-	-	92.62113	-
1134.48	-	99.91922	0.0807796	0	-	-	-	93.189	-
1130	-	99.91857	0.0808192	6.09E-04	-	-	-	93.64901	387.00599
1120	-	99.91723	0.0808994	0.00187046	-	-	-	94.67526	387.78399
1110	-	99.91603	0.0809695	0.00300707	-	-	-	95.70017	388.54787
1100	-	99.91494	0.0810305	0.00402982	-	-	-	96.72373	389.29624
1090	-	99.91397	0.0810835	0.00494921	-	-	-	97.74596	390.02756
1080	-	99.9131	0.0811296	0.00577507	-	-	-	98.76682	390.74007
1070	-	99.91232	0.0811694	0.00651657	-	-	-	99.78634	391.43182
1060	-	99.91162	0.0812038	0.0071822	-	-	-	100.8045	392.10052
1050	-	99.91099	0.0812334	0.00777996	-	-	-	101.82129	392.74364
1040	-	99.91043	0.0812589	0.00831728	-	-	-	102.83672	393.35825
1030	-	99.90992	0.0812807	0.00880112	-	-	-	103.85079	393.94103
1020	-	99.90946	0.0812994	0.00923804	-	-	-	104.86349	394.48815
1010	-	99.90905	0.0813154	0.00963422	-	-	-	105.87481	394.99518
1000	-	99.90868	0.0813289	0.00999555	-	-	-	106.88477	395.45706
990	-	99.90833	0.0813404	0.0103276	-	-	-	107.89335	395.86783
980	-	99.90801	0.0813502	0.010636	-	-	-	108.90056	396.22064
970	-	99.90772	0.0813584	0.010926	-	-	-	109.9064	396.50746
960	-	99.90743	0.0813654	0.0112032	-	-	-	110.91086	396.7189
950	-	99.90716	0.0813712	0.0114734	-	-	-	111.91394	396.84396
940	-	99.90688	0.081376	0.0117426	-	-	-	112.91565	396.86956
930	-	99.9066	0.0813801	0.0120176	-	-	-	113.91599	396.78039
920	-	99.90631	0.0813835	0.0123062	-	-	-	114.91496	396.55824
910	-	99.906	0.0813863	0.0126177	-	-	-	115.91256	396.18162
900	-	99.90565	0.0813886	0.0129636	-	-	-	116.90879	395.62521
890	-	99.90525	0.0813905	0.0133587	-	-	-	117.90367	394.85931
880	-	99.90479	0.081392	0.0138223	-	-	-	118.89719	393.84994
870	-	99.90423	0.0813933	0.0143809	-	-	-	119.88937	392.55951
860	-	99.90353	0.0813944	0.0150708	-	-	-	120.88023	390.94941
850	-	99.90266	0.0813952	0.0159428	-	-	-	121.86977	388.98673
840	-	99.90154	0.0813959	0.0170665	-	-	-	122.85803	386.65729
830	-	99.90007	0.0813964	0.0185339	-	-	-	123.84504	383.9886
820	-	99.89815	0.0813969	0.020454	-	-	-	124.83084	381.07933
810	-	99.89567	0.0813972	0.0229289	-	-	-	125.81545	378.11727
802.91	2.42E-06	99.89355	0.0813974	0.0250516	-	-	126.44303	126.51305	376.12093
800	2.99381	96.89862	0.0813973	0.0261649	-	-	126.91799	126.85672	375.43217
790	13.1021	86.78581	0.0813972	0.0306972	-	-	128.53751	128.05206	373.3631
780	22.4842	77.39823	0.0813972	0.0361754	-	-	130.14007	129.26483	371.96984
770	30.91727	68.95909	0.0813973	0.0422502	-	-	131.72939	130.4931	371.33085
760	38.38683	61.48321	0.0813975	0.0485602	-	-	133.30751	131.73661	371.32952
750	44.9654	54.89836	0.0813977	0.0548398	-	-	134.87735	132.99503	371.79386
740	50.82805	49.02952	0.0813978	0.0610332	-	-	136.43776	134.27504	372.56771
730	56.00627	43.84521	0.0813979	0.0671186	-	-	137.98755	135.57771	373.53148
720	60.54029	39.30522	0.0813981	0.0731003	-	-	139.52712	136.90172	374.60141
714.61	62.73811	37.1042	0.0813981	0.0762948	0	-	140.35263	137.62365	375.20118
710	74.70512	23.89353	0.0813981	0.070151	1.2498	-	141.08396	138.06153	376.36853
700	92.83211	3.91707	0.0813982	0.0630553	3.10637	-	142.62724	138.963	378.10122
697.15	96.40069	1.18E-06	0.0813982	0.0621694	3.45574	-	143.05917	139.214	378.42043
690	96.39231	-	0.0813983	0.0646805	3.46161	-	144.13318	-	378.56617
680	96.38187	-	0.0813983	0.0681869	3.46855	-	145.62797	-	378.81645

Propiedades ASTM A105 (continuación)

Temperatura (°C)	% peso - FERRITA	% peso - AUSTENITA	% peso - MNS	% peso - M(C,N)	% peso - CEMENTITA	% peso - CU	Modulo de Young (GPa)- FERRITA	Modulo de Young (GPa)- AUSTENITA	Modulo de Young (GPa)- M(C,N)
670	96.37278	-	0.0813983	0.071681	3.47414	-	147.11423	-	379.11301
660	96.36491	-	0.0813984	0.0751589	3.47853	-	148.59156	-	379.44836
650	96.35815	-	0.0813984	0.0786195	3.48183	-	150.05956	-	379.81604
640	96.35239	-	0.0813984	0.0820643	3.48415	-	151.51782	-	380.21064
630	96.34754	-	0.0813984	0.0854961	3.48557	-	152.96595	-	380.62747
624.81	96.34534	-	0.0813984	0.0872727	3.48598	0	153.71307	-	380.85117
620	96.33033	-	0.0813984	0.0889177	3.48608	0.0132664	154.41104	-	381.05932
610	96.3013	-	0.0813984	0.0923353	3.48579	0.0391767	155.85259	-	381.5032
600	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	157.28192	-	381.96017
590	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	158.68717	-	382.43657
580	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	160.08019	-	382.91297
570	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	161.46059	-	383.38937
560	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	162.828	-	383.86577
550	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	164.18204	-	384.34211
540	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	165.52235	-	384.81857
530	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	166.84856	-	385.29498
520	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	168.1603	-	385.77138
510	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	169.45721	-	386.24778
500	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	170.73894	-	386.72418
490	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	172.00513	-	387.20058
480	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	173.25543	-	387.67698
470	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	174.4895	-	388.15338
460	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	175.707	-	388.62978
450	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	176.90759	-	389.10618
440	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	178.09096	-	389.58258
430	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	179.25676	-	390.05898
420	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	180.4047	-	390.53538
410	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	181.53445	-	391.01178
400	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	182.64572	-	391.48819
390	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	183.73822	-	391.96459
380	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	184.81165	-	392.44099
370	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	185.86575	-	392.91739
360	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	186.90023	-	393.39379
350	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	187.91486	-	393.87019
340	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	188.90939	-	394.34659
330	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	189.88358	-	394.82299
320	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	190.83721	-	395.29939
310	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	191.77009	-	395.77579
300	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	192.68203	-	396.25219
290	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	193.57285	-	396.72859
280	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	194.44242	-	397.20499
270	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	195.29059	-	397.68139
260	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	196.11726	-	398.1578
250	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	196.92235	-	398.6342
240	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	197.7058	-	399.1106
230	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	198.4676	-	399.587
220	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	199.20775	-	400.0634
210	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	199.92629	-	400.5398
200	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	200.62332	-	401.0162
190	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	201.29896	-	401.4926
180	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	201.9534	-	401.969
170	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	202.58687	-	402.4454
160	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	203.19967	-	402.9218
150	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	203.79217	-	403.3982
140	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	204.36481	-	403.8746
130	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	204.91813	-	404.351
120	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	205.45276	-	404.82741
110	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	205.96943	-	405.30381
100	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	206.46902	-	405.78021
90	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	206.95254	-	406.25661
80	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	207.42115	-	406.73301
70	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	207.87624	-	407.20941
60	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	208.31936	-	407.68581
50	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	208.75236	-	408.16221
40	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	209.17733	-	408.63861
30	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	209.59675	-	409.11501
25	96.27496	-	0.0813984	0.0957558	3.48488	0.0630021	209.80524	-	409.35321

Propiedades ASTM A105 (continuación)

Temperatura (°C)	Modulo de Young (GPa)-CEMENTITA	Modulo de Young (GPa)-CU	Modulo de Young (GPa)-TOTAL	Coefficiente de Poisson-FERRITA	Coefficiente de Poisson-AUSTENITA	Coefficiente de Poisson-M(C,N)	Coefficiente de Poisson-CEMENTITA	Coefficiente de Poisson-CU	Coefficiente de Poisson-TOTAL
1300	-	-	75.98006	-	0.36895	-	-	-	0.36895
1290	-	-	77.03076	-	0.36836	-	-	-	0.36836
1280	-	-	78.08003	-	0.36777	-	-	-	0.36777
1270	-	-	79.12787	-	0.36718	-	-	-	0.36718
1260	-	-	80.17429	-	0.36659	-	-	-	0.36659
1250	-	-	81.21929	-	0.366	-	-	-	0.366
1240	-	-	82.26287	-	0.36541	-	-	-	0.36541
1230	-	-	83.30503	-	0.36482	-	-	-	0.36482
1220	-	-	84.34578	-	0.36423	-	-	-	0.36423
1210	-	-	85.38512	-	0.36364	-	-	-	0.36364
1200	-	-	86.42305	-	0.36305	-	-	-	0.36305
1190	-	-	87.45957	-	0.36247	-	-	-	0.36247
1180	-	-	88.49469	-	0.36188	-	-	-	0.36188
1170	-	-	89.5284	-	0.36129	-	-	-	0.36129
1160	-	-	90.56071	-	0.3607	-	-	-	0.3607
1150	-	-	91.59162	-	0.36011	-	-	-	0.36011
1140	-	-	92.62113	-	0.35952	-	-	-	0.35952
1134.48	-	-	93.189	-	0.35919	-	-	-	0.35919
1130	-	-	93.64987	-	0.35893	0.24712	-	-	0.35893
1120	-	-	94.67792	-	0.35834	0.24698	-	-	0.35834
1110	-	-	95.70448	-	0.35775	0.24684	-	-	0.35775
1100	-	-	96.72954	-	0.35716	0.24671	-	-	0.35716
1090	-	-	97.75313	-	0.35657	0.24658	-	-	0.35656
1080	-	-	98.77525	-	0.35598	0.24645	-	-	0.35597
1070	-	-	99.79591	-	0.35539	0.24632	-	-	0.35538
1060	-	-	100.8151	-	0.3548	0.2462	-	-	0.35479
1050	-	-	101.83285	-	0.35421	0.24609	-	-	0.3542
1040	-	-	102.84915	-	0.35362	0.24598	-	-	0.35361
1030	-	-	103.86402	-	0.35303	0.24587	-	-	0.35302
1020	-	-	104.87746	-	0.35244	0.24577	-	-	0.35243
1010	-	-	105.88947	-	0.35185	0.24567	-	-	0.35184
1000	-	-	106.90007	-	0.35126	0.24558	-	-	0.35125
990	-	-	107.90926	-	0.35067	0.24549	-	-	0.35066
980	-	-	108.91704	-	0.35008	0.24542	-	-	0.35007
970	-	-	109.92343	-	0.34949	0.24535	-	-	0.34948
960	-	-	110.92843	-	0.3489	0.24529	-	-	0.34889
950	-	-	111.93206	-	0.34831	0.24524	-	-	0.3483
940	-	-	112.93432	-	0.34772	0.2452	-	-	0.34771
930	-	-	113.93523	-	0.34713	0.24518	-	-	0.34712
920	-	-	114.9348	-	0.34654	0.24517	-	-	0.34653
910	-	-	115.93306	-	0.34595	0.24518	-	-	0.34594
900	-	-	116.93002	-	0.34536	0.2452	-	-	0.34535
890	-	-	117.92572	-	0.34477	0.24526	-	-	0.34476
880	-	-	118.92021	-	0.34418	0.24534	-	-	0.34417
870	-	-	119.91355	-	0.34359	0.24545	-	-	0.34358
860	-	-	120.90582	-	0.343	0.2456	-	-	0.34299
850	-	-	121.89713	-	0.34241	0.24579	-	-	0.3424
840	-	-	122.88765	-	0.34182	0.24603	-	-	0.34181
830	-	-	123.87757	-	0.34123	0.2463	-	-	0.34122
820	-	-	124.86715	-	0.34065	0.24661	-	-	0.34062
810	-	-	125.8566	-	0.34006	0.24692	-	-	0.34003
802.91	-	-	126.55833	0.32053	0.33964	0.24713	-	-	0.33961
800	-	-	126.95472	0.32046	0.33944	0.24717	-	-	0.33884
790	-	-	128.30727	0.32016	0.33874	0.24724	-	-	0.33624
780	-	-	129.67132	0.31982	0.338	0.24723	-	-	0.33384
770	-	-	131.0689	0.31947	0.33725	0.24712	-	-	0.33166
760	-	-	132.50544	0.3191	0.33647	0.24693	-	-	0.3297
750	-	-	133.97813	0.31873	0.33567	0.24669	-	-	0.32795
740	-	-	135.48465	0.31835	0.33484	0.24642	-	-	0.32635
730	-	-	137.01636	0.31797	0.334	0.24613	-	-	0.32491
720	-	-	138.56466	0.31758	0.33313	0.24583	-	-	0.32361
714.61	-	-	139.40338	0.31738	0.33266	0.24567	-	-	0.32296
710	172.92818	-	140.81236	0.31722	0.33239	0.24555	0.2692	-	0.32016
700	173.33228	-	143.60538	0.31688	0.33182	0.24539	0.26925	-	0.3159
697.15	173.54398	-	144.34209	0.31678	0.33166	0.24536	0.26926	-	0.31505
690	174.02567	-	145.40509	0.3165	-	0.24534	0.26926	-	0.31478
680	174.70516	-	146.88413	0.31611	-	0.24531	0.26926	-	0.31439

Propiedades ASTM A105 (continuación)

Temperatura (°C)	Modulo de Young (GPa)-CEMENTITA	Modulo de Young (GPa)-CU	Modulo de Young (GPa)-TOTAL	Coefficiente de Poisson - FERRITA	Coefficiente de Poisson - AUSTENITA	Coefficiente de Poisson - M(C,N)	Coefficiente de Poisson - CEMENTITA	Coefficiente de Poisson - CU	Coefficiente de Poisson - TOTAL
670	175.39166	-	148.3543	0.31571	-	0.24528	0.26926	-	0.31401
660	176.08526	-	149.81529	0.31532	-	0.24524	0.26927	-	0.31362
650	176.78593	-	151.26676	0.31493	-	0.2452	0.26927	-	0.31324
640	177.49362	-	152.7084	0.31453	-	0.24515	0.26928	-	0.31286
630	178.20822	-	154.13988	0.31414	-	0.24511	0.26928	-	0.31247
624.81	178.58159	-	154.87838	0.31393	-	0.24509	0.26929	-	0.31228
620	178.93088	92.31406	155.55841	0.31374	-	0.24506	0.26929	0.38401	0.31209
610	179.66129	93.104	156.96369	0.31333	-	0.24502	0.2693	0.38344	0.31171
600	180.39771	93.89014	158.35812	0.31292	-	0.24497	0.26931	0.38287	0.31133
590	180.89771	94.67961	159.73378	0.31252	-	0.24496	0.26931	0.38228	0.31095
580	181.39771	95.46324	161.09739	0.31213	-	0.24494	0.26931	0.3817	0.31057
570	181.89771	96.24103	162.4486	0.31173	-	0.24493	0.26931	0.38111	0.31018
560	182.39771	97.01298	163.78706	0.31133	-	0.24491	0.26931	0.38053	0.3098
550	182.89771	97.77909	165.11241	0.31094	-	0.2449	0.26931	0.37994	0.30942
540	183.39771	98.53937	166.4243	0.31054	-	0.24488	0.26931	0.37936	0.30904
530	183.89771	99.29381	167.72239	0.31015	-	0.24486	0.26931	0.37877	0.30866
520	184.39771	100.04241	169.00633	0.30975	-	0.24485	0.26931	0.37819	0.30828
510	184.89771	100.78517	170.27579	0.30935	-	0.24483	0.26931	0.37761	0.3079
500	185.39771	101.52209	171.53043	0.30896	-	0.24482	0.26931	0.37702	0.30751
490	185.89771	102.25318	172.76991	0.30856	-	0.2448	0.26931	0.37644	0.30713
480	186.39771	102.97842	173.99391	0.30817	-	0.24479	0.26931	0.37585	0.30675
470	186.89771	103.69783	175.2021	0.30777	-	0.24477	0.26931	0.37527	0.30637
460	187.39771	104.4114	176.39417	0.30737	-	0.24476	0.26931	0.37468	0.30599
450	187.89771	105.11913	177.5698	0.30698	-	0.24474	0.26931	0.3741	0.30561
440	188.39771	105.82103	178.72867	0.30658	-	0.24473	0.26931	0.37352	0.30522
430	188.89771	106.51709	179.87049	0.30619	-	0.24471	0.26931	0.37293	0.30484
420	189.39771	107.2073	180.99496	0.30579	-	0.2447	0.26931	0.37235	0.30446
410	189.89771	107.89168	182.10179	0.3054	-	0.24468	0.26931	0.37176	0.30408
400	190.39771	108.57022	183.19068	0.305	-	0.24467	0.26931	0.37118	0.3037
390	190.89771	109.24293	184.26137	0.3046	-	0.24465	0.26931	0.37059	0.30332
380	191.39771	109.90979	185.31359	0.30421	-	0.24464	0.26931	0.37001	0.30293
370	191.89771	110.57082	186.34707	0.30381	-	0.24462	0.26931	0.36942	0.30255
360	192.39771	111.22601	187.36157	0.30342	-	0.24461	0.26931	0.36884	0.30217
350	192.89771	111.87536	188.35684	0.30302	-	0.24459	0.26931	0.36826	0.30179
340	193.39771	112.51887	189.33266	0.30262	-	0.24458	0.26931	0.36767	0.30141
330	193.89771	113.15655	190.2888	0.30223	-	0.24456	0.26931	0.36709	0.30103
320	194.39771	113.78839	191.22507	0.30183	-	0.24454	0.26931	0.3665	0.30065
310	194.89771	114.41438	192.14126	0.30144	-	0.24453	0.26931	0.36592	0.30026
300	195.39771	115.03455	193.03722	0.30104	-	0.24451	0.26931	0.36533	0.29988
290	195.89771	115.64887	193.91277	0.30064	-	0.2445	0.26931	0.36475	0.2995
280	196.39771	116.25735	194.76778	0.30025	-	0.24448	0.26931	0.36417	0.29912
270	196.89771	116.86	195.60212	0.29985	-	0.24447	0.26931	0.36358	0.29874
260	197.39771	117.45681	196.41571	0.29946	-	0.24445	0.26931	0.363	0.29836
250	197.89771	118.04778	197.20846	0.29906	-	0.24444	0.26931	0.36241	0.29797
240	198.39771	118.63291	197.98032	0.29866	-	0.24442	0.26931	0.36183	0.29759
230	198.89771	119.2122	198.73128	0.29827	-	0.24441	0.26931	0.36124	0.29721
220	199.39771	119.78566	199.46134	0.29787	-	0.24439	0.26931	0.36066	0.29683
210	199.89771	120.35327	200.16308	0.29748	-	0.24438	0.26931	0.36007	0.29645
200	200.39771	120.91505	200.85158	0.29708	-	0.24436	0.26931	0.35949	0.29607
190	200.89771	121.47099	201.51944	0.29668	-	0.24435	0.26931	0.35891	0.29568
180	201.39771	122.0211	202.16686	0.29629	-	0.24433	0.26931	0.35832	0.2953
170	201.89771	122.56536	202.79405	0.29589	-	0.24432	0.26931	0.35774	0.29492
160	202.39771	123.10379	203.4013	0.2955	-	0.2443	0.26931	0.35715	0.29454
150	202.89771	123.63638	203.98897	0.2951	-	0.24429	0.26931	0.35657	0.29416
140	203.39771	124.16313	204.5575	0.29471	-	0.24427	0.26931	0.35598	0.29378
130	203.89771	124.68404	205.10739	0.29431	-	0.24426	0.26931	0.3554	0.2934
120	204.39771	125.19911	205.63925	0.29391	-	0.24424	0.26931	0.35481	0.29301
110	204.89771	125.70835	206.15381	0.29352	-	0.24422	0.26931	0.35423	0.29263
100	205.39771	126.21175	206.65189	0.29312	-	0.24421	0.26931	0.35365	0.29225
90	205.89771	126.70931	207.13447	0.29273	-	0.24419	0.26931	0.35306	0.29187
80	206.39771	127.20103	207.60268	0.29233	-	0.24418	0.26931	0.35248	0.29149
70	206.89771	127.68691	208.05784	0.29193	-	0.24416	0.26931	0.35189	0.29111
60	207.39771	128.16696	208.50147	0.29154	-	0.24415	0.26931	0.35131	0.29072
50	207.89771	128.64116	208.93532	0.29114	-	0.24413	0.26931	0.35072	0.29034
40	208.39771	129.10953	209.36143	0.29075	-	0.24412	0.26931	0.35014	0.28996
30	208.89771	129.57206	209.78217	0.29035	-	0.2441	0.26931	0.34956	0.28958
25	209.14771	129.80114	209.99136	0.29015	-	0.2441	0.26931	0.34926	0.28939

Propiedades ASTM A105 (continuación)

Temperatura (°C)	Expansión térmica	Conductividad ad térmica (W/(m*K))- FERRITA	Conductividad ad térmica (W/(m*K))- AUSTENITA	Conductividad ad térmica (W/(m*K))- MNS	Conductividad ad térmica (W/(m*K))- M(C,N)	Conductividad ad térmica (W/(m*K))- CEMENTITA	Conductividad ad térmica (W/(m*K))- CU	Conductividad ad térmica (W/(m*K))- TOTAL	Densidad (g/(cm)^3)- FERRITA
1300	0.00001637546	-	32.69046	23.16942	-	-	-	32.67117	-
1290	0.00001630549	-	32.56972	23.01947	-	-	-	32.55019	-
1280	0.00001623472	-	32.44896	22.86988	-	-	-	32.4292	-
1270	0.00001616309	-	32.32819	22.72061	-	-	-	32.30821	-
1260	0.00001609058	-	32.2074	22.57166	-	-	-	32.18721	-
1250	0.00001601714	-	32.08659	22.42302	-	-	-	32.06621	-
1240	0.00001594274	-	31.96576	22.27468	-	-	-	31.94521	-
1230	0.00001586734	-	31.84492	22.12663	-	-	-	31.8242	-
1220	0.00001579090	-	31.72407	21.97885	-	-	-	31.70318	-
1210	0.00001571338	-	31.6032	21.83133	-	-	-	31.58215	-
1200	0.00001563474	-	31.48232	21.68407	-	-	-	31.46112	-
1190	0.00001555495	-	31.36142	21.53704	-	-	-	31.34008	-
1180	0.00001547395	-	31.24051	21.39025	-	-	-	31.21903	-
1170	0.00001539172	-	31.11959	21.24367	-	-	-	31.09798	-
1160	0.00001530821	-	30.99865	21.09731	-	-	-	30.97692	-
1150	0.00001522337	-	30.8777	20.95114	-	-	-	30.85585	-
1140	0.00001513717	-	30.75674	20.80517	-	-	-	30.73477	-
1134.48	0.00001508894	-	30.68995	20.72464	-	-	-	30.66791	-
1130	0.00001504939	-	30.63594	20.65937	42.62238	-	-	30.6139	-
1120	0.00001495999	-	30.5153	20.51374	41.88184	-	-	30.49325	-
1110	0.00001486911	-	30.39461	20.36828	41.11202	-	-	30.37253	-
1100	0.00001477670	-	30.27388	20.22297	40.31348	-	-	30.25176	-
1090	0.00001468272	-	30.15311	20.0778	39.48733	-	-	30.13093	-
1080	0.00001458710	-	30.0323	19.93277	38.63531	-	-	30.01005	-
1070	0.00001448980	-	29.91146	19.78787	37.76003	-	-	29.88913	-
1060	0.00001439077	-	29.79059	19.64309	36.86469	-	-	29.76815	-
1050	0.00001428994	-	29.66968	19.49842	35.95375	-	-	29.64714	-
1040	0.00001418726	-	29.54875	19.35386	35.03263	-	-	29.52608	-
1030	0.00001408267	-	29.42779	19.2094	34.10786	-	-	29.40499	-
1020	0.00001397611	-	29.30681	19.06503	33.18711	-	-	29.28387	-
1010	0.00001386750	-	29.1858	18.92075	32.27912	-	-	29.16271	-
1000	0.00001375679	-	29.06477	18.77655	31.39354	-	-	29.04153	-
990	0.00001364391	-	28.94372	18.63242	30.54049	-	-	28.92032	-
980	0.00001352878	-	28.82265	18.48837	29.73039	-	-	28.79909	-
970	0.00001341133	-	28.70157	18.34438	28.97316	-	-	28.67784	-
960	0.00001329148	-	28.58046	18.20046	28.27754	-	-	28.55657	-
950	0.00001316914	-	28.45934	18.05659	27.65026	-	-	28.43529	-
940	0.00001304424	-	28.3382	17.91277	27.09507	-	-	28.31399	-
930	0.00001291669	-	28.21705	17.769	26.61214	-	-	28.19269	-
920	0.00001278638	-	28.09589	17.62528	26.19753	-	-	28.07138	-
910	0.00001265323	-	27.97471	17.48159	25.84329	-	-	27.95005	-
900	0.00001251713	-	27.85352	17.33795	25.53815	-	-	27.82872	-
890	0.00001237797	-	27.73232	17.19433	25.26895	-	-	27.70738	-
880	0.00001223563	-	27.61111	17.05075	25.02252	-	-	27.58603	-
870	0.00001208999	-	27.48989	16.9072	24.78772	-	-	27.46467	-
860	0.00001194092	-	27.36867	16.76368	24.55699	-	-	27.34329	-
850	0.00001178827	-	27.24745	16.62018	24.32719	-	-	27.2219	-
840	0.00001163188	-	27.12624	16.4767	24.09953	-	-	27.10051	-
830	0.00001147157	-	27.00503	16.33324	23.87899	-	-	26.9791	-
820	0.00001130715	-	26.88385	16.1898	23.67329	-	-	26.8577	-
810	0.00001113841	-	26.76271	16.04637	23.49117	-	-	26.73631	-
802.91	0.00001101602	31.59823	26.67681	15.94466	23.3803	-	-	26.65023	7.53935
800	0.00001113392	31.64837	26.6429	15.90295	23.33644	-	-	26.7492	7.54362
790	0.00001154673	31.82343	26.52381	15.75952	23.21213	-	-	27.11172	7.55543
780	0.00001194482	32.00265	26.40101	15.61611	23.16502	-	-	27.48951	7.56439
770	0.00001231226	32.18654	26.27467	15.47272	23.16505	-	-	27.87033	7.57174
760	0.00001264460	32.37577	26.14495	15.32935	23.21457	-	-	28.24963	7.57812
750	0.00001294279	32.57485	26.0122	15.18599	23.30856	-	-	28.62772	7.58395
740	0.00001321463	32.78075	25.87614	15.04264	23.44377	-	-	29.00883	7.58937
730	0.00001345917	32.99082	25.73647	14.8993	23.61585	-	-	29.38804	7.59441
720	0.00001367619	33.20593	25.59314	14.75596	23.82068	-	-	29.76202	7.59919
714.61	0.00001378221	33.32418	25.51438	14.67873	23.94306	-	-	29.9608	7.60167
710	0.00001420320	33.41997	25.47307	14.61263	23.85041	15.73996	-	30.79989	7.60562
700	0.00001482812	33.53557	25.37341	14.46929	23.69898	15.46807	-	32.15489	7.61185
697.15	0.00001494910	33.55568	25.34222	14.42847	23.66749	15.40342	-	32.433	7.61329
690	0.00001491489	33.72703	-	14.32598	23.69074	15.31723	-	32.57923	7.61624
680	0.00001486738	33.97392	-	14.18267	23.7286	15.19664	-	32.7903	7.62035

Propiedades ASTM A105 (continuación)

Temperatura (°C)	Densidad (g/(cm) ³)-AUSTENITA	Densidad (g/(cm) ³)-MNS	Densidad (g/(cm) ³)-M(C,N)	Densidad (g/(cm) ³)-CEMENTITE	Densidad (g/(cm) ³)-CU	Densidad (g/(cm) ³)-TOTAL	Calor específico (J/(g K))-TOTAL	Calor Latente (J/g) - Ferrita	Calor Latente (J/g) Perlita
1300	7.37477	3.53313	-	-	-	7.36868	0.67498	159.983	153.174
1290	7.38007	3.53699	-	-	-	7.37394	0.67321		
1280	7.38536	3.54088	-	-	-	7.37919	0.67145		
1270	7.39065	3.54478	-	-	-	7.38444	0.6697		
1260	7.39594	3.54869	-	-	-	7.38969	0.66795		
1250	7.40122	3.55263	-	-	-	7.39494	0.66622		
1240	7.40651	3.55658	-	-	-	7.4002	0.66452		
1230	7.41179	3.56055	-	-	-	7.40545	0.66284		
1220	7.41707	3.56453	-	-	-	7.41071	0.66118		
1210	7.42234	3.56852	-	-	-	7.41597	0.65952		
1200	7.42762	3.57253	-	-	-	7.42123	0.65788		
1190	7.4329	3.57655	-	-	-	7.42649	0.65624		
1180	7.43818	3.58059	-	-	-	7.43176	0.6546		
1170	7.44346	3.58464	-	-	-	7.43703	0.65298		
1160	7.44875	3.5887	-	-	-	7.4423	0.65136		
1150	7.45404	3.59277	-	-	-	7.44758	0.64975		
1140	7.45932	3.59685	-	-	-	7.45286	0.64815		
1134.48	7.46225	3.59911	-	-	-	7.45578	-		
1130	7.46462	3.60094	7.85651	-	-	7.45815	0.64865		
1120	7.46992	3.60504	7.8538	-	-	7.46345	0.64681		
1110	7.47522	3.60915	7.85068	-	-	7.46875	0.645		
1100	7.48052	3.61327	7.84709	-	-	7.47406	0.64321		
1090	7.48583	3.6174	7.843	-	-	7.47936	0.64145		
1080	7.49115	3.62154	7.83833	-	-	7.48468	0.63971		
1070	7.49646	3.62568	7.83301	-	-	7.48999	0.63802		
1060	7.50179	3.62983	7.82698	-	-	7.49532	0.63632		
1050	7.50711	3.63399	7.82014	-	-	7.50064	0.63464		
1040	7.51244	3.63815	7.81238	-	-	7.50597	0.63297		
1030	7.51778	3.64232	7.80359	-	-	7.51131	0.63131		
1020	7.52312	3.64649	7.79363	-	-	7.51665	0.62967		
1010	7.52846	3.65067	7.78235	-	-	7.52199	0.62807		
1000	7.53382	3.65485	7.76958	-	-	7.52734	0.62647		
990	7.53917	3.65904	7.75509	-	-	7.5327	0.62487		
980	7.54453	3.66323	7.73866	-	-	7.53806	0.62328		
970	7.5499	3.66743	7.72001	-	-	7.54342	0.6217		
960	7.55527	3.67163	7.69882	-	-	7.54879	0.62014		
950	7.56065	3.67583	7.67471	-	-	7.55417	0.6186		
940	7.56604	3.68004	7.64726	-	-	7.55955	0.61706		
930	7.57143	3.68425	7.61596	-	-	7.56494	0.61554		
920	7.57682	3.68846	7.58024	-	-	7.57033	0.61403		
910	7.58223	3.69268	7.53942	-	-	7.57573	0.61255		
900	7.58764	3.69689	7.49275	-	-	7.58113	0.61109		
890	7.59306	3.70111	7.43937	-	-	7.58654	0.60967		
880	7.59849	3.70533	7.37838	-	-	7.59196	0.60828		
870	7.60392	3.70955	7.30886	-	-	7.59739	0.60696		
860	7.60937	3.71378	7.22999	-	-	7.60282	0.60572		
850	7.61482	3.718	7.14136	-	-	7.60825	0.60458		
840	7.62029	3.72222	7.04336	-	-	7.6137	0.60359		
830	7.62578	3.72645	6.93785	-	-	7.61915	0.6028		
820	7.63129	3.73068	6.82889	-	-	7.62461	0.60219		
810	7.63681	3.7349	6.72295	-	-	7.63009	0.60173		
802.91	7.64075	3.7379	6.65383	-	-	7.63397	-		
800	7.64243	3.73913	6.62425	-	-	7.63265	0.97376		
790	7.64709	3.74336	6.53513	-	-	7.62809	1.00437		
780	7.65043	3.74758	6.47242	-	-	7.62396	1.02059		
770	7.65282	3.75181	6.4386	-	-	7.62053	1.03206		
760	7.65442	3.75604	6.43032	-	-	7.61784	1.04393		
750	7.65523	3.76027	6.44289	-	-	7.61584	1.11853		
740	7.65525	3.7645	6.47183	-	-	7.6144	1.1201		
730	7.65456	3.76873	6.51358	-	-	7.6135	1.11102		
720	7.6532	3.77295	6.5655	-	-	7.61314	1.09514		
714.61	7.6522	3.77523	6.59692	-	-	7.61316	-		
710	7.65366	3.77718	6.61338	7.46551	-	7.60817	2.77929		
700	7.65609	3.78141	6.64025	7.46531	-	7.60197	1.97917		
697.15	7.6567	3.78261	6.64585	7.46461	-	7.6011	-		
690	-	3.78563	6.65964	7.46592	-	7.60397	0.9393		
680	-	3.78986	6.68122	7.46766	-	7.60797	0.92004		

Propiedades ASTM A105 (continuación)

Temperatura (°C)	Densidad (g/(cm) ³)-AUSTENITA	Densidad (g/(cm) ³)-MNS	Densidad (g/(cm) ³)-M(C,N)	Densidad (g/(cm) ³)-CEMENTITE	Densidad (g/(cm) ³)-CU	Densidad (g/(cm) ³)-TOTAL	Calor específico (J/(g K))-TOTAL
670	-	3.79409	6.70523	7.46929	-	7.61194	0.90196
660	-	3.79831	6.73145	7.4708	-	7.6159	0.88493
650	-	3.80254	6.75965	7.47219	-	7.61983	0.86888
640	-	3.80676	6.78965	7.47346	-	7.62374	0.85372
630	-	3.81098	6.82126	7.47462	-	7.62764	0.83936
624.81	-	3.81317	6.83824	7.47518	-	7.62965	-
620	-	3.8152	6.85436	7.47565	8.65196	7.63152	0.85062
610	-	3.81942	6.88877	7.47656	8.65747	7.63538	0.83525
600	-	3.82364	6.92426	7.47737	8.66298	7.63923	0.82078
590	-	3.82786	6.92582	7.4809	8.6683	7.64295	0.76962
580	-	3.83208	6.92738	7.48439	8.67361	7.64666	0.75885
570	-	3.83629	6.92894	7.48785	8.6789	7.65036	0.74851
560	-	3.84051	6.93049	7.49128	8.68417	7.65405	0.73859
550	-	3.84472	6.93204	7.49466	8.68943	7.65772	0.72904
540	-	3.84893	6.93358	7.49802	8.69467	7.66137	0.71984
530	-	3.85314	6.93512	7.50133	8.69989	7.66501	0.71097
520	-	3.85735	6.93666	7.50462	8.7051	7.66864	0.7024
510	-	3.86156	6.93819	7.50787	8.7103	7.67226	0.69413
500	-	3.86576	6.93972	7.51108	8.71548	7.67586	0.68612
490	-	3.86997	6.94124	7.51426	8.72064	7.67944	0.67836
480	-	3.87417	6.94276	7.51741	8.72578	7.68301	0.67084
470	-	3.87837	6.94428	7.52052	8.73091	7.68657	0.66354
460	-	3.88257	6.94579	7.5236	8.73603	7.69012	0.65646
450	-	3.88677	6.94729	7.52665	8.74113	7.69365	0.64958
440	-	3.89096	6.9488	7.52966	8.74621	7.69716	0.64288
430	-	3.89516	6.95029	7.53265	8.75128	7.70066	0.63636
420	-	3.89935	6.95179	7.5356	8.75633	7.70415	0.63002
410	-	3.90354	6.95328	7.53852	8.76137	7.70762	0.62384
400	-	3.90773	6.95477	7.5414	8.76639	7.71108	0.61781
390	-	3.91191	6.95625	7.54426	8.77139	7.71452	0.61193
380	-	3.9161	6.95773	7.54709	8.77638	7.71795	0.60619
370	-	3.92028	6.9592	7.54988	8.78135	7.72137	0.60059
360	-	3.92446	6.96067	7.55265	8.78631	7.72477	0.59511
350	-	3.92864	6.96214	7.55538	8.79125	7.72816	0.58976
340	-	3.93281	6.9636	7.55809	8.79618	7.73153	0.58453
330	-	3.93698	6.96506	7.56077	8.80109	7.73489	0.57941
320	-	3.94116	6.96651	7.56342	8.80599	7.73823	0.5744
310	-	3.94532	6.96796	7.56604	8.81087	7.74156	0.56949
300	-	3.94949	6.96941	7.56863	8.81573	7.74487	0.56468
290	-	3.95366	6.97085	7.57119	8.82058	7.74817	0.55997
280	-	3.95782	6.97229	7.57373	8.82542	7.75146	0.55535
270	-	3.96198	6.97372	7.57624	8.83023	7.75473	0.55081
260	-	3.96613	6.97515	7.57872	8.83504	7.75798	0.54636
250	-	3.97029	6.97658	7.58117	8.83982	7.76122	0.54199
240	-	3.97444	6.978	7.5836	8.8446	7.76445	0.53769
230	-	3.97859	6.97942	7.58601	8.84935	7.76766	0.53346
220	-	3.98273	6.98084	7.58838	8.85409	7.77086	0.52929
210	-	3.98688	6.98225	7.59074	8.85882	7.77404	0.52519
200	-	3.99102	6.98366	7.59306	8.86353	7.77721	0.52114
190	-	3.99515	6.98506	7.59537	8.86823	7.78036	0.51714
180	-	3.99929	6.98646	7.59764	8.87291	7.7835	0.5132
170	-	4.00342	6.98785	7.5999	8.87757	7.78662	0.50929
160	-	4.00755	6.98925	7.60213	8.88223	7.78973	0.50542
150	-	4.01168	6.99063	7.60434	8.88686	7.79282	0.50157
140	-	4.0158	6.99202	7.60652	8.89148	7.7959	0.49775
130	-	4.01992	6.9934	7.60868	8.89609	7.79897	0.49395
120	-	4.02403	6.99477	7.61082	8.90068	7.80201	0.49016
110	-	4.02815	6.99615	7.61294	8.90525	7.80505	0.48636
100	-	4.03226	6.99752	7.61503	8.90981	7.80807	0.48256
90	-	4.03636	6.99888	7.61711	8.91436	7.81107	0.47874
80	-	4.04047	7.00024	7.61916	8.91889	7.81406	0.47489
70	-	4.04457	7.0016	7.62119	8.92341	7.81703	0.471
60	-	4.04866	7.00295	7.62321	8.92791	7.81999	0.46704
50	-	4.05276	7.0043	7.6252	8.93239	7.82294	0.46302
40	-	4.05685	7.00565	7.62717	8.93687	7.82587	0.4589
30	-	4.06093	7.00699	7.62913	8.94132	7.82878	0.45467
25	-	4.06297	7.00766	7.6301	8.94355	7.83023	0.4525

Propiedades ASTM A105 (continuación)

Esfuerzo de cedencia (MPa) de Ferrita a velocidad de deformación fija de: 0.001											
Temperatura	25 °C	50 °C	100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C	400 °C	450 °C	500 °C
0	216.8007	194.2527	162.1149	140.6694	125.6505	114.8018	106.8249	100.9256	96.5936	93.4817	111.2555
0.02	369.3056	348.7619	318.2312	296.4473	279.8727	266.5746	255.4065	245.6511	236.8431	228.6655	219.5028
0.04	415.6192	395.6313	365.6138	343.8357	326.9156	312.9829	300.9171	290.0143	279.8198	270.0279	259.609
0.06	445.8409	426.3605	396.9229	375.3374	358.3309	344.0786	331.4812	319.8475	308.7334	297.8445	286.3859
0.08	468.7512	449.7331	420.8655	399.5266	382.5285	368.0842	355.1129	342.9347	331.1158	319.3725	307.0431
0.1	487.3931	468.7997	440.4781	419.4032	402.459	387.8905	374.6333	362.0184	349.6213	337.1682	324.0868
0.12	503.2074	485.0081	457.2066	436.4	419.5342	404.8827	391.3961	378.4151	365.5241	352.459	338.7125
0.14	516.9983	499.1673	471.8616	451.3217	434.5485	419.8414	406.1644	392.8675	379.5434	365.9371	351.5921
0.16	529.2627	511.7785	484.9462	464.6688	447.997	433.2535	419.4147	405.8395	392.1284	378.035	363.1441
0.18	540.3311	523.175	496.7959	476.7757	460.2106	445.4446	431.466	417.6417	403.5799	389.0423	373.6483
0.2	550.4346	533.5904	507.6463	487.8776	471.4223	456.6444	442.5432	428.4933	414.1103	399.1633	383.3019
0.22	559.7419	543.1954	517.6697	498.1466	481.8029	467.0213	452.8114	438.5553	423.8752	408.5481	392.2493
0.24	568.3798	552.1184	526.9961	507.7129	491.4817	476.7028	462.3957	447.9494	432.9929	417.3102	400.5999
0.26	576.4466	560.4589	535.7262	516.6773	500.5589	485.788	471.3932	456.7704	441.555	425.5379	408.4386
0.28	584.0196	568.2954	543.9399	525.1199	509.1141	494.3553	479.881	465.0935	449.6344	433.3014	415.8327
0.3	591.1611	575.6913	551.7014	533.1051	517.2115	502.4682	487.9214	472.9795	457.2901	440.6572	422.8368
0.32	597.9222	582.6982	559.0633	540.6858	524.9037	510.1789	495.5656	480.4783	464.5703	447.6292	429.4955
0.34	604.345	589.3591	566.0693	547.9059	532.2345	517.5305	502.856	487.6313	471.5152	454.3244	435.8458
0.36	610.4649	595.7099	572.756	554.8023	539.2407	524.5596	509.8285	494.4735	478.1588	460.707	441.919
0.38	616.3117	601.7811	579.1545	561.4064	545.9535	531.2969	516.5134	501.0345	484.5297	466.8273	447.7416
0.4	621.9111	607.5987	585.2916	567.7448	552.3997	537.7691	522.9369	507.3399	490.6526	472.7093	453.3364
0.42	627.2852	613.1853	591.19	573.8409	558.6024	543.999	529.1215	513.4116	496.549	478.3733	458.723
0.44	632.4531	618.5603	596.8698	579.7148	564.5818	550.0067	535.0867	519.2688	502.2373	483.8373	463.9186
0.46	637.4315	623.7409	602.3486	585.3841	570.3555	555.8096	540.8499	524.9283	507.7338	489.117	468.9382
0.48	642.2352	628.742	607.6416	590.8643	575.9391	561.4231	546.4263	530.405	513.0531	494.2262	473.795
0.5	646.8772	633.5771	612.7626	596.1694	581.3464	566.861	551.8292	535.712	518.2077	499.1771	478.5007
0.6	668.0272	655.634	636.1703	620.4541	606.1265	591.8015	576.6228	560.073	541.872	521.9044	500.0949
0.7	686.4534	674.8859	656.6621	641.761	627.904	613.7462	598.4561	581.5356	562.7242	541.9286	519.1111
0.8	702.8288	692.0224	674.9486	660.8112	647.4026	633.4147	618.0383	600.7932	581.4368	559.8962	536.1672
0.9	717.5993	707.501	691.5028	678.0854	665.1053	651.2877	635.8438	618.3097	598.4597	576.24	551.6762
1	731.0765	721.6419	706.6563	693.9213	681.352	667.7038	652.2068	634.4122	614.1102	591.2649	565.9293
1.1	743.4873	734.6784	720.6513	708.5661	696.3915	682.9111	667.3722	649.3405	628.6208	605.1945	579.1398
1.2	755.0024	746.7863	733.6705	722.2062	710.4119	697.0971	681.5255	663.276	642.1678	618.1862	591.4691
1.3	765.7535	758.1014	745.8552	734.9863	723.5592	710.4077	694.8107	676.36	654.8879	630.4075	603.0426
1.4	775.8445	768.7309	757.3174	747.0208	735.9489	722.9582	707.342	688.7042	666.8898	641.9267	613.9598
1.5	785.359	778.7611	768.1472	758.4021	747.6745	734.8421	719.2118	700.3991	678.2612	652.8403	624.301
1.6	794.3652	788.2626	778.4182	769.2059	758.8124	746.1358	730.4959	711.519	689.0742	663.2175	634.1322
1.7	802.9197	797.2937	788.1918	779.4949	769.4262	756.9028	741.257	722.1255	699.3886	673.1157	643.5082
1.8	811.0697	805.9036	797.5192	789.3219	779.5693	767.1968	751.5482	732.2705	709.2549	682.5834	652.475
1.9	818.8553	814.1336	806.4439	798.7316	789.2871	777.063	761.4145	741.9982	718.7158	691.6618	661.0719
2	826.3108	822.0192	815.0032	807.7625	798.6184	786.5404	770.8945	751.3463	727.808	700.3861	669.3324
2.1	833.4655	829.5911	823.2293	816.4475	807.5968	795.6628	780.0214	760.3477	736.5634	708.7869	677.2855
2.2	840.3453	836.8757	831.15	824.8154	816.2516	804.4593	788.8244	769.0307	745.0096	716.8907	684.9566
2.3	846.9724	843.8964	838.79	832.8916	824.6084	812.9557	797.329	777.4205	753.1708	724.7209	692.3677
2.4	853.3664	850.6735	846.1706	840.6982	832.6897	821.1745	805.5575	785.5389	761.0685	732.298	699.5386
2.5	859.5449	857.2252	853.3111	848.2549	840.5156	829.136	813.53	793.4056	768.7216	739.6402	706.4864
2.6	865.5232	863.5675	860.2282	855.5792	848.1038	836.8579	821.264	801.038	776.147	746.7638	713.2267
2.7	871.3153	869.7147	866.9373	862.6869	855.4703	844.3563	828.7757	808.4517	783.36	753.6834	719.7733
2.8	876.9334	875.6799	873.452	869.5919	862.6295	851.6457	836.0791	815.6607	790.374	760.4119	726.1386
2.9	882.3888	881.4746	879.7844	876.3071	869.5943	858.7388	843.1874	822.6776	797.2015	766.9613	732.3339
3	887.6914	887.1093	885.9459	882.8439	876.3764	865.6477	850.112	829.514	803.8535	773.3423	738.3694
3.1	892.8506	892.5935	891.9463	889.2128	882.9865	872.3829	856.8637	836.1804	810.3403	779.5645	744.2542
3.2	897.8746	897.936	897.7951	895.4232	889.4342	878.9542	863.4522	842.6861	816.6709	785.637	749.9969
3.3	902.771	903.1446	903.5004	901.484	895.7285	885.3706	869.8862	849.04	822.854	791.5677	755.6051
3.4	907.5468	908.2266	909.0702	907.4031	901.8775	891.6402	876.1741	855.2499	828.8973	797.3641	761.086
3.5	912.2083	913.1887	914.5113	913.1878	907.8886	897.7705	882.3231	861.3234	834.8078	803.0332	766.446
3.6	916.7615	918.037	919.8304	918.8449	913.7688	903.7686	888.3404	867.2671	840.5923	808.5812	771.6911
3.7	921.2118	922.7772	925.0335	924.3806	919.5244	909.6408	894.2321	873.0872	846.2567	814.0139	776.827
3.8	925.5642	927.4145	930.1261	929.8007	925.1614	915.393	900.0042	878.7897	851.8067	819.3369	781.8588
3.9	929.8233	931.9537	935.1134	935.1107	930.6852	921.0308	905.6622	884.3799	857.2476	824.555	786.7911
4	933.9934	936.3995	940.0001	940.3153	936.1008	926.5593	911.2113	889.8628	862.5841	829.6731	791.6285

Propiedades ASTM A105 (continuación)

Esfuerzo de cedencia (MPa) de Ferrita a velocidad de deformación fija de: 0.001										
Temperatura	550 °C	600 °C	650 °C	700 °C	750 °C	800 °C	850 °C	900 °C	950 °C	1000 °C
0	109.0719	107.422	106.215	105.3808	95.7056	60.9593	40.012	27.0022	18.678	13.2033
0.02	212.0486	204.7588	197.5667	154.8499	95.7027	60.9574	40.0109	27.0016	18.6775	13.2029
0.04	250.1174	240.618	231.0665	154.7775	95.6573	60.9271	39.9933	26.9874	18.6688	13.1969
0.06	275.4804	264.439	253.2375	154.4934	95.4796	60.8067	39.9099	26.9269	18.6349	13.1722
0.08	295.0206	282.7571	254.977	153.9053	95.119	60.552	39.7275	26.7911	18.5629	13.1213
0.1	311.1267	297.8352	253.5283	153.0392	94.5633	60.2105	39.4696	26.5904	18.4579	13.0463
0.12	324.9369	310.7499	251.8557	152.0271	93.9631	59.8182	39.2113	26.3781	18.3355	12.9596
0.14	337.0905	322.105	250.1119	150.9747	93.2809	59.3697	39.0067	26.2015	18.2095	12.87
0.16	347.9852	332.276	248.3874	149.9358	92.637	59.0198	38.6577	26.0742	18.0843	12.7824
0.18	357.8869	341.5138	246.7489	148.9454	92.0536	58.5655	38.3731	25.9527	17.9637	12.6997
0.2	366.9828	349.9947	245.1972	148.0123	91.4351	58.2078	38.1616	25.6914	17.8503	12.6175
0.22	375.41	357.8479	243.7331	147.1172	90.9281	57.895	38.0097	25.4845	17.7438	12.5408
0.24	383.2723	365.1711	242.3554	146.2746	90.3754	57.5115	37.7159	25.3266	17.6437	12.4708
0.26	390.6503	372.04	241.0764	145.4886	89.9341	57.2192	37.4733	25.2082	17.5496	12.4064
0.28	397.6078	378.5148	239.8566	144.765	89.4359	56.9975	37.2868	25.1199	17.4612	12.3408
0.3	404.1964	384.6439	238.7021	144.0845	89.0513	56.6512	37.1443	25.0541	17.3785	12.2837
0.32	410.4584	390.4672	237.6149	143.4064	88.6064	56.3782	37.0353	25.0046	17.3013	12.2265
0.34	416.429	394.3969	236.5873	142.8002	88.2309	56.1637	36.8486	24.8203	17.2243	12.1741
0.36	422.1378	392.7757	235.6129	142.2079	87.893	55.9893	36.638	24.6531	17.1527	12.1237
0.38	427.6098	391.2301	234.688	141.641	87.5074	55.7018	36.4673	24.5165	17.0869	12.0763
0.4	432.8666	389.7576	233.81	141.1234	87.1952	55.4675	36.3288	24.4051	17.0217	12.0299
0.42	437.9269	388.3491	232.9785	140.5962	86.9045	55.2762	36.2164	24.3142	16.9595	11.9888
0.44	442.8068	387.0166	232.1608	140.1269	86.5629	55.1198	36.1247	24.2397	16.9034	11.9444
0.46	447.5205	385.7191	231.3793	139.6448	86.2799	54.981	36.0496	24.1786	16.8444	11.9077
0.48	452.0806	384.481	230.6394	139.2048	86.0449	54.7458	35.9593	24.1282	16.7929	11.8672
0.5	456.4982	383.2965	229.9442	138.7766	85.7484	54.5477	35.7856	24.0864	16.7387	11.8303
0.6	476.7612	377.995	226.7433	136.8603	84.5395	53.8383	35.234	23.7439	16.5086	11.6663
0.7	494.5934	373.4815	224.0568	135.2191	83.5309	53.1718	34.9092	23.3583	16.3117	11.5274
0.8	510.5785	369.589	221.7068	133.816	82.6685	52.5929	34.4245	23.1561	16.1398	11.4094
0.9	525.1068	366.1692	219.6493	132.5577	81.9459	52.137	34.1506	23.0442	15.9927	11.3045
1	538.4526	363.1165	217.8252	131.4498	81.2212	51.6801	33.9576	22.8475	15.8567	11.2093
1.1	550.8174	360.3542	216.1715	130.4519	80.5927	51.2734	33.5734	22.552	15.7365	11.1224
1.2	562.3533	357.8557	214.6609	129.5451	80.0739	51.0089	33.3214	22.3576	15.6274	11.0437
1.3	573.1786	355.5508	213.2839	128.7228	79.5124	50.5859	33.1517	22.2264	15.5271	10.9742
1.4	578.2249	353.4317	212.0316	127.9871	79.0828	50.2826	33.0345	22.1357	15.4342	10.9103
1.5	575.0155	351.4658	210.8422	127.2423	78.6023	50.0671	32.806	22.0715	15.348	10.8465
1.6	572.0175	349.6346	209.7362	126.5703	78.2052	49.7767	32.5634	22.0252	15.2686	10.7942
1.7	569.2048	347.9298	208.7052	125.9911	77.8398	49.4859	32.3831	21.9291	15.1963	10.7371
1.8	566.5639	346.3073	207.7397	125.3649	77.4398	49.2666	32.2471	21.7228	15.1235	10.6909
1.9	564.0836	344.7907	206.8335	124.8348	77.1336	49.0988	32.1432	21.5639	15.0562	10.6402
2	561.7265	343.3482	205.9841	124.297	76.8111	48.9206	32.0628	21.4402	14.9967	10.6009
2.1	559.4934	342	205.1524	123.8181	76.4715	48.659	31.9995	21.3429	14.934	10.5537
2.2	557.3732	340.6894	204.3633	123.3313	76.2017	48.451	31.7887	21.2657	14.8785	10.5158
2.3	555.3525	339.4515	203.6228	122.9136	75.9731	48.2841	31.619	21.2037	14.824	10.4773
2.4	553.4224	338.2752	202.9349	122.4529	75.6512	48.149	31.4814	21.1537	14.7725	10.4391
2.5	551.5765	337.1516	202.2427	122.0765	75.3881	48.0387	31.3689	21.1128	14.7233	10.4078
2.6	549.8115	336.0745	201.5885	121.6589	75.1715	47.8639	31.2762	21.0793	14.6763	10.3721
2.7	548.1155	335.0389	200.9925	121.2832	74.9852	47.6665	31.1995	21.0516	14.6302	10.3388
2.8	546.4773	334.0412	200.3674	120.9555	74.7072	47.5016	31.1355	21.0285	14.5886	10.3109
2.9	544.9134	333.0784	199.801	120.5689	74.4735	47.363	31.0817	21.0091	14.5442	10.2805
3	543.3922	332.1489	199.2412	120.2421	74.276	47.2459	31.0364	20.9351	14.5066	10.2496
3.1	541.9386	331.2513	198.7039	119.9478	74.1082	47.1464	30.9909	20.8103	14.4652	10.2232
3.2	540.5184	330.3849	198.1908	119.5986	73.9343	47.0615	30.8447	20.7034	14.4276	10.2008
3.3	539.1578	329.5497	197.6844	119.2988	73.7039	46.9697	30.719	20.6115	14.3937	10.1708
3.4	537.836	328.746	197.2043	119.0404	73.5053	46.8012	30.6105	20.5321	14.3553	10.1445
3.5	536.55	327.9743	196.7322	118.7291	73.3332	46.6551	30.5164	20.4633	14.3221	10.1218
3.6	535.3089	327.2046	196.2745	118.4416	73.1836	46.5281	30.4346	20.4034	14.2906	10.1021
3.7	534.108	326.4616	195.8417	118.1907	73.0531	46.4172	30.3632	20.3511	14.2557	10.076
3.8	532.9381	325.7501	195.3981	117.9569	72.8845	46.32	30.3007	20.3054	14.2252	10.0521
3.9	531.7945	325.0625	195.0083	117.6704	72.6946	46.2347	30.2457	20.2651	14.1977	10.031
4	530.6839	324.3725	194.5741	117.4178	72.5271	46.1594	30.1973	20.2297	14.1648	10.0125

Propiedades ASTM A105 (continuación)

Esfuerzo de cedencia (MPa) de Perlita a velocidad de deformación fija de: 0.001											
Temperatura	25 °C	50 °C	100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C	400 °C	450 °C	500 °C
0	734.7204	687.4456	618.8678	571.838	537.8475	512.3552	492.7273	477.3313	465.1051	448.5246	441.4667
0.02	814.9282	775.0794	718.157	679.4963	651.3761	629.7516	612.3131	597.6514	584.8676	566.1749	555.5675
0.04	842.7039	805.1168	751.7416	715.656	689.3854	669.0299	652.3693	638.0531	625.2238	609.4128	598.0666
0.06	860.2356	824.094	773.0089	738.6088	713.5659	694.067	677.9453	663.8859	651.0568	636.2204	624.4185
0.08	873.1528	838.0929	788.7339	755.6157	731.5148	712.6796	696.9817	683.1321	670.3168	655.9528	643.8167
0.1	883.4184	849.2305	801.2702	769.1977	745.8701	727.5835	712.2396	698.5694	685.7735	671.6789	659.2771
0.12	891.9552	858.5013	811.7238	780.5401	757.873	740.0576	725.02	711.5077	698.7336	684.8076	672.1844
0.14	899.2726	866.4549	820.7059	790.2985	768.2105	750.81	736.0437	722.6732	709.9218	696.1077	683.2943
0.16	905.6825	873.4274	828.5909	798.8747	777.3041	760.2756	745.7538	732.5124	719.7839	706.0469	693.0665
0.18	911.3898	879.6401	835.6252	806.5334	785.4315	768.741	754.4423	741.3198	728.6142	714.9317	701.8021
0.2	916.5367	885.2462	841.9799	813.4586	792.7859	776.4057	762.3125	749.3005	736.6175	722.974	709.7096
0.22	921.2258	890.3568	847.7788	819.7832	799.5071	783.4142	769.512	756.6032	743.9424	730.3272	716.9395
0.24	925.5338	895.0544	853.1141	825.6067	805.6996	789.8747	776.1509	763.3393	750.7001	737.1053	723.6043
0.26	929.5193	899.4027	858.0569	831.0057	811.4438	795.8702	782.3142	769.5943	756.9764	743.3962	729.7899
0.28	933.2284	903.4513	862.6629	836.0399	816.8029	801.466	788.0685	775.4356	762.8385	749.2684	735.564
0.3	936.6979	907.24	866.9764	840.7575	821.8273	806.7144	793.4671	780.9171	768.3404	754.7771	740.9807
0.32	939.9576	910.8011	871.0337	845.1973	826.5581	811.6579	798.5535	786.0827	773.5259	759.9667	746.0838
0.34	943.0321	914.1611	874.8644	849.3916	831.0292	816.3316	803.3636	790.9685	778.4312	764.8741	750.9093
0.36	945.9417	917.3421	878.4934	853.367	835.2688	820.7647	807.9272	795.6049	783.0866	769.5315	755.4876
0.38	948.7037	920.3628	881.9416	857.1462	839.3006	824.9818	812.2696	800.0172	787.5176	773.9601	759.8439
0.4	951.3327	923.2391	885.2267	860.7483	843.145	829.0042	816.4123	804.2273	791.7459	778.1865	764
0.42	953.8413	925.9844	888.3641	864.19	846.8193	832.8496	820.3736	808.2538	795.7902	782.2281	767.9744
0.44	956.2403	928.6106	891.3669	867.4853	850.3387	836.5338	824.1696	812.1128	799.6667	786.1012	771.783
0.46	958.5391	931.1278	894.2465	870.6468	853.7162	840.0705	827.8142	815.8184	803.3895	789.82	775.44
0.48	960.7459	933.5451	897.013	873.6853	856.9633	843.4714	831.3196	819.3829	806.9709	793.397	778.9576
0.5	962.868	935.8702	899.6754	876.6104	860.0902	846.7471	834.6967	822.8174	810.4219	796.8432	782.3465
0.6	972.4106	946.3329	911.6705	889.8027	874.2035	861.5416	849.9558	838.3414	826.0243	812.4183	797.6633
0.7	980.5605	955.2786	921.9456	901.1205	886.326	874.2611	863.0842	851.7048	839.4598	825.8241	810.8471
0.8	987.6806	963.1013	930.9455	911.0464	896.9687	885.4369	874.6265	863.4589	851.2809	837.6155	822.4435
0.9	994.0075	970.0582	938.9607	919.8964	906.4662	895.4174	884.9398	873.9656	861.8503	848.1559	832.8098
1	999.7038	976.3266	946.1916	927.8886	915.0502	904.4434	894.2713	883.4755	871.4191	857.6969	842.1934
1.1	1004.8867	982.0337	952.7828	935.1802	922.8874	912.689	902.7997	892.1695	880.1688	866.4202	850.773
1.2	1009.6432	987.2745	958.8416	941.8886	930.1024	920.2838	910.6581	900.1829	888.2351	874.4615	858.6818
1.3	1014.0397	992.1214	964.4504	948.1034	936.7907	927.3275	917.9488	907.6195	895.722	881.9246	866.0222
1.4	1018.1281	996.631	969.6735	953.8949	943.0269	933.898	924.7521	914.5604	902.7111	888.8911	872.8742
1.5	1021.9498	1000.8485	974.5623	959.3193	948.8708	940.0577	931.1319	921.0708	909.2676	895.4263	879.302
1.6	1025.5384	1004.8104	979.1584	964.422	954.3708	945.8571	937.1403	927.2035	915.4447	901.583	885.3576
1.7	1028.9212	1008.5469	983.496	969.2405	959.5669	951.338	942.8203	933.0021	921.2859	907.4049	891.084
1.8	1032.1213	1012.0828	987.6036	973.806	964.4922	956.535	948.2075	938.5029	926.8278	912.9289	896.5169
1.9	1035.1577	1015.4392	991.5052	978.1447	969.1748	961.4775	953.3321	943.7364	932.1011	918.184	901.6865
2	1038.047	1018.634	995.2212	982.2791	973.6386	966.1904	958.2197	948.7287	937.1319	923.198	906.6184
2.1	1040.8029	1021.6825	998.7691	986.2282	977.9038	970.695	962.8923	953.5022	941.9427	927.9927	911.3346
2.2	1043.4377	1024.5979	1002.1639	990.0085	981.9883	975.0099	967.3691	958.0763	946.553	932.5875	915.8543
2.3	1045.9617	1027.3916	1005.4187	993.6346	985.9073	979.151	971.6664	962.4677	950.9796	936.9993	920.1939
2.4	1048.3842	1030.0737	1008.5451	997.1189	989.6744	983.1326	975.7989	966.6912	955.2373	941.2428	924.3681
2.5	1050.7131	1032.653	1011.5531	1000.4726	993.3013	986.967	979.7794	970.7599	959.3393	945.3312	928.3897
2.6	1052.9558	1035.1374	1014.4517	1003.7055	996.7986	990.6652	983.6192	974.6853	963.2972	949.2759	932.27
2.7	1055.1184	1037.5337	1017.2489	1006.8264	1000.1757	994.237	987.3284	978.4777	967.1212	953.0872	936.0191
2.8	1057.2066	1039.8483	1019.9517	1009.8431	1003.4409	997.6912	990.9161	982.1462	970.8207	956.7744	939.6462
2.9	1059.2256	1042.0866	1022.5666	1012.7626	1006.6018	1001.0357	994.3903	985.6991	974.4038	960.3458	943.1592
3	1061.1798	1044.2536	1025.0993	1015.5912	1009.665	1004.2776	997.7584	989.1439	977.8781	963.8087	946.5657
3.1	1063.0735	1046.354	1027.555	1018.3346	1012.6367	1007.4232	1001.027	992.4872	981.2504	967.1699	949.8721
3.2	1064.9103	1048.3918	1029.9384	1020.9981	1015.5225	1010.4784	1004.2021	995.7353	984.5268	970.4355	953.0846
3.3	1066.6937	1050.3707	1032.2538	1023.5863	1018.3274	1013.4485	1007.2892	998.8936	987.7128	973.6112	956.2085
3.4	1068.4268	1052.2942	1034.5051	1026.1036	1021.056	1016.3384	1010.2933	1001.9672	990.8137	976.702	959.249
3.5	1070.1124	1054.1653	1036.6959	1028.5539	1023.7126	1019.1524	1013.2189	1004.9609	993.834	979.7126	962.2106
3.6	1071.753	1055.9869	1038.8295	1030.9409	1026.301	1021.8946	1016.0702	1007.8789	996.7782	982.6473	965.0975
3.7	1073.3512	1057.7617	1040.9088	1033.2678	1028.8248	1024.5689	1018.8512	1010.7251	999.65	985.51	967.9136
3.8	1074.9091	1059.4921	1042.9368	1035.5377	1031.2873	1027.1786	1021.5654	1013.5031	1002.4533	988.3043	970.6625
3.9	1076.4287	1061.1803	1044.9159	1037.7535	1033.6916	1029.7269	1024.2161	1016.2164	1005.1914	991.0337	973.3475
4	1077.912	1062.8283	1046.8486	1039.9178	1036.0404	1032.2169	1026.8063	1018.868	1007.8674	993.7013	975.9717

Propiedades ASTM A105 (continuación)

Temperatura	Esfuerzo de cedencia (MPa) de Perlita a velocidad de deformación fija de: 0.001									
	550 °C	600 °C	650 °C	700 °C	750 °C	800 °C	850 °C	900 °C	950 °C	1000 °C
0	435.8447	431.3982	427.9066	385.1204	325.7433	245.4091	161.1707	108.7908	75.2274	53.114
0.02	545.558	535.9408	487.142	385.116	325.7405	245.402	161.1661	108.7875	75.2252	53.1125
0.04	587.0072	576.0487	487.0264	385.0468	325.6947	245.2905	161.0941	108.736	75.1913	53.0892
0.06	612.6983	600.8878	486.5563	384.7602	325.5153	244.8496	160.8001	108.5339	75.0615	53.0021
0.08	631.6055	619.1582	485.5653	384.1623	325.1502	243.9083	160.1794	108.1221	74.7572	52.7705
0.1	646.6719	633.7116	484.1249	383.2824	324.5947	242.5237	159.2697	107.4946	74.32	52.444
0.12	659.2485	645.8561	482.4315	382.2624	323.9939	240.9274	158.2153	106.7905	73.8423	52.119
0.14	670.0725	647.9814	480.6804	381.2051	323.3029	239.2502	157.1238	106.0616	73.3048	51.7414
0.16	679.5922	645.1092	478.9699	380.1662	322.658	237.6059	156.0524	105.3081	72.8202	51.3572
0.18	688.1013	642.3565	477.3073	379.1691	322.0671	236.0486	155.0239	104.6085	72.3125	51.0686
0.2	695.8033	639.7608	475.75	378.2223	321.448	234.5477	154.0458	103.9876	71.8925	50.7099
0.22	702.8448	637.3131	474.2795	377.3289	320.9396	233.1576	153.1191	103.3271	71.4186	50.38
0.24	709.3354	635.0237	472.9097	376.4918	320.3821	231.8442	152.2452	102.7543	71.0627	50.1332
0.26	715.359	632.8578	471.5992	375.7149	319.9388	230.5987	151.4261	102.2048	70.6431	49.89
0.28	720.9817	630.8217	470.3773	375.0032	319.4375	229.4341	150.6658	101.6828	70.2835	49.5769
0.3	726.256	628.9058	469.2299	374.2783	319.0504	228.3384	149.9706	101.2017	70.0077	49.333
0.32	731.2247	627.091	468.1452	373.617	318.603	227.3017	149.2646	100.7406	69.6274	49.1437
0.34	735.923	625.3652	467.1157	373.0235	318.2261	226.3188	148.6154	100.296	69.3213	48.9923
0.36	740.3803	623.7365	466.1354	372.3999	317.8838	225.3845	148.0308	99.9138	69.0788	48.7177
0.38	744.6214	622.1875	465.2004	371.8567	317.4979	224.4967	147.4178	99.4824	68.7885	48.4952
0.4	748.6674	620.7069	464.3084	371.3047	317.1854	223.6541	146.8845	99.1331	68.4979	48.3147
0.42	752.5364	619.2954	463.4585	370.8038	316.8884	222.8574	146.3348	98.7676	68.2608	48.1682
0.44	756.2439	617.9556	462.6509	370.3035	316.5474	222.0889	145.8437	98.4073	68.0668	48.0487
0.46	759.8037	616.653	461.8868	369.8504	316.265	221.3361	145.3421	98.1094	67.8243	47.8784
0.48	763.2276	615.4122	461.1397	369.3816	316.0305	220.627	144.8986	97.7853	67.572	47.6761
0.5	766.5263	614.2248	460.4136	368.9852	315.726	219.9656	144.4266	97.4618	67.3602	47.5057
0.6	781.4338	608.8965	457.2182	367.0458	314.5123	216.9118	142.4231	96.1357	66.4209	46.9333
0.7	794.2639	604.3719	454.5001	365.3769	313.4979	214.3148	140.7368	95.0168	65.6396	46.2874
0.8	805.548	600.4635	452.1648	363.9996	312.6276	212.0943	139.2657	94.0243	65.0189	45.8699
0.9	815.6342	597.0379	450.1053	362.7207	311.8937	210.1256	138.0066	93.1288	64.341	45.3667
1	824.7637	593.9723	448.2545	361.6012	311.1823	208.3594	136.8352	92.3257	63.8482	45.0663
1.1	820.9563	591.199	446.5904	360.5983	310.5408	206.7867	135.7925	91.6263	63.3188	44.6686
1.2	816.8407	588.6809	445.0961	359.6914	310.0336	205.341	134.8546	91.0344	62.9465	44.3323
1.3	813.0734	586.3739	443.7003	358.8733	309.4565	204.0435	134.0071	90.3978	62.4669	44.1057
1.4	809.589	584.2499	442.4189	358.1021	309.038	202.8164	133.1823	89.9009	62.1338	43.8563
1.5	806.363	582.276	441.2405	357.3621	308.5381	201.6805	132.4261	89.3593	61.7847	43.5405
1.6	803.3555	580.4338	440.1429	356.702	308.1527	200.6267	131.7474	88.9424	61.4237	43.3104
1.7	800.5388	578.7147	439.1117	356.0961	307.7617	199.6425	131.1126	88.4533	61.1562	43.1401
1.8	797.8991	577.1032	438.138	355.4811	307.3749	198.7206	130.4801	88.0845	60.9039	43.012
1.9	795.3978	575.5674	437.2163	354.9684	307.0789	197.8572	129.9425	87.6664	60.6579	42.7494
2	793.0459	574.1325	436.3439	354.4049	306.727	197.0407	129.3668	87.2966	60.3211	42.5272
2.1	790.8032	572.7597	435.5202	353.9453	306.4	196.2407	128.8778	87.0063	60.1212	42.3526
2.2	788.6729	571.4537	434.7465	353.4359	306.1402	195.4896	128.364	86.6188	59.9191	42.2139
2.3	786.6451	570.2187	434.0203	353.0271	305.6114	194.7916	127.9307	86.3041	59.6441	42.1028
2.4	784.7103	569.0438	433.2881	352.5579	304.5734	194.1201	127.4515	86.0494	59.4213	42.013
2.5	782.862	567.9087	432.6056	352.1646	303.5572	193.4561	127.06	85.7282	59.2392	41.8187
2.6	781.0888	566.819	431.9786	351.7678	302.5839	192.8511	126.6224	85.4347	59.0894	41.637
2.7	779.3789	565.7755	431.3296	351.3758	301.6507	192.2466	126.2375	85.1913	58.9239	41.4861
2.8	777.7435	564.7741	430.7327	351.0486	300.7558	191.6714	125.879	84.9796	58.6966	41.3601
2.9	776.1691	563.8116	430.1595	350.6685	299.8981	191.1315	125.4888	84.6851	58.5055	41.2542
3	774.6463	562.886	429.5906	350.3282	299.0665	190.586	125.1591	84.4361	58.3439	41.1648
3.1	773.1834	561.9959	429.0717	350.0389	298.2522	190.0916	124.8245	84.2245	58.2067	41.0889
3.2	771.7658	561.1221	428.5311	349.6941	297.4707	189.5777	124.4776	84.0439	58.0895	41.0241
3.3	770.3932	560.2777	428.051	349.3824	296.7234	189.1149	124.1797	83.8068	57.9755	40.9026
3.4	769.0742	559.4635	427.5414	349.1136	296.0103	188.6367	123.888	83.5743	57.7825	40.754
3.5	767.7849	558.68	427.0883	348.8243	295.2895	188.1948	123.5646	83.373	57.6153	40.6253
3.6	766.5349	557.9283	426.6135	348.5257	294.6036	187.7575	123.2834	83.198	57.4699	40.5133
3.7	765.326	557.182	426.1785	348.2652	293.9552	187.3281	123.038	83.0453	57.343	40.4155
3.8	764.1544	556.4563	425.7435	348.037	293.2968	186.9385	122.7418	82.8452	57.2319	40.3298
3.9	763.0167	555.7625	425.3192	347.7578	292.6695	186.5147	122.4661	82.6394	57.1342	40.2546
4	761.9018	555.0891	424.9303	347.4959	292.0713	186.1409	122.2229	82.4578	57.0481	40.1882

Propiedades ASTM A105 (continuación)

Esfuerzo de cedencia (MPa) de Austenita a velocidad de deformación fija de: 0.001											
Temperatura	25 °C	50 °C	100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C	400 °C	450 °C	500 °C
0	179.5121	160.8594	134.5462	117.25	105.3605	96.9867	91.0532	86.9061	114.1551	110.9672	108.4682
0.02	387.203	366.7358	336.2301	314.3125	297.4101	283.5549	271.5867	260.7864	248.8449	239.2453	229.8505
0.04	456.341	435.3428	403.7047	380.533	362.177	346.5974	332.5855	319.397	305.4347	292.7331	279.9326
0.06	503.0374	481.8828	449.8034	426.0165	406.8312	390.1678	374.7914	359.9476	344.3292	329.4058	314.1457
0.08	539.2407	518.0738	485.8261	461.6867	441.9406	424.4808	408.0558	391.9066	374.8935	358.1792	340.9272
0.1	569.1971	548.0892	515.8128	491.4613	471.3037	453.2134	435.9267	418.6837	400.4573	382.2174	363.2631
0.12	594.9531	573.9443	541.7206	517.2426	496.7684	478.1559	460.1329	441.9398	422.6331	403.0508	382.5949
0.14	617.666	596.7805	564.6612	540.1134	519.3877	500.3299	481.6609	462.6229	442.3379	421.5486	399.7402
0.16	638.0598	617.3129	585.3322	560.7544	539.8247	520.3789	501.1325	481.3303	460.148	438.257	415.2119
0.18	656.62	636.0216	604.2031	579.6242	558.5265	538.7371	518.9676	498.4653	476.452	453.5437	429.3552
0.2	673.6894	653.2459	621.6063	597.0481	575.8104	555.713	535.4641	514.3146	491.5252	467.6694	442.4161
0.22	689.5197	669.2353	637.7866	613.2659	591.9106	571.5343	550.8425	529.0895	505.5711	480.8263	454.5740
0.24	704.3018	684.1792	652.93	628.46	607.0054	586.3744	565.2703	542.9512	518.7441	493.1605	465.9586
0.26	718.1841	698.2247	667.1814	642.7725	621.2339	600.3687	578.8787	556.0256	531.165	504.7861	476.6868
0.28	731.2845	711.489	680.6562	656.3168	634.7068	613.6251	591.7719	568.413	542.9299	515.7939	486.8397
0.3	743.6983	724.0668	693.4477	669.1847	647.5143	626.2313	604.0349	580.195	554.1169	525.2576	496.486
0.32	755.5037	736.036	705.6328	681.4518	659.7303	638.2594	615.7375	591.4385	564.7902	536.2378	495.6103
0.34	766.7658	747.4613	717.2755	693.1813	671.4166	649.7696	626.9379	602.1996	575.0035	545.785	493.1522
0.36	777.5394	758.3973	728.4298	704.4261	682.6255	660.8129	637.6855	612.5257	584.8018	554.9421	490.7543
0.38	787.8711	768.8904	739.1416	715.2317	693.4012	671.4324	648.0222	622.457	594.2239	563.7453	488.4271
0.4	797.8008	778.9805	749.4504	725.637	703.7822	681.6657	657.9842	632.0283	603.3029	572.2258	486.1729
0.42	807.3632	788.7021	759.3904	735.6758	713.8015	691.5449	667.6027	641.2696	612.0675	580.4109	483.9903
0.44	816.5883	798.0852	768.9915	745.3775	723.488	701.0984	676.9052	650.2073	620.5429	588.3242	481.8711
0.46	825.5025	807.1561	778.2797	754.768	732.8672	710.3509	685.9156	658.8644	628.7511	595.9864	479.8211
0.48	834.1293	815.9382	787.2783	763.8701	741.9616	719.3244	694.6553	667.2614	636.7116	603.4159	477.8372
0.5	842.4891	824.4522	796.0078	772.7042	750.7912	728.0385	703.1432	675.4165	644.4418	610.6292	475.9175
0.6	880.8687	863.5821	836.1988	813.4291	791.5318	768.2693	742.3408	713.0775	680.1286	643.9125	467.1582
0.7	914.6878	898.1197	871.7661	849.538	827.7035	804.0192	777.1871	746.5581	711.8388	666.2301	459.5903
0.8	945.0368	929.1573	903.8012	882.1145	860.3742	836.3328	808.6952	776.8316	740.5	653.6721	452.9741
0.9	972.6453	957.4273	933.0372	911.8872	890.2634	865.9142	837.5484	804.5543	766.7373	645.2026	447.1019
1	998.0275	983.4464	959.9926	939.3725	917.881	893.2631	864.2315	830.1921	790.9942	637.6117	441.8417
1.1	1021.5609	1007.5941	985.0487	964.9506	943.603	918.748	889.1022	854.0887	813.5977	630.7499	437.0876
1.2	1043.531	1030.1583	1008.4951	988.9106	967.7154	942.6493	912.4328	876.5056	834.7965	624.4947	432.7504
1.3	1064.1599	1051.3624	1030.5573	1011.4776	990.4413	965.186	934.4359	897.6472	854.785	618.7565	428.7733
1.4	1083.6237	1071.3843	1051.4147	1032.831	1011.9585	986.5324	955.2811	917.6762	873.718	613.4568	425.1045
1.5	1102.0648	1090.3676	1071.2124	1053.1162	1032.4111	1006.8302	975.1058	936.7247	891.7208	608.5403	421.6935
1.6	1119.6	1108.4303	1090.0698	1072.4528	1051.9177	1026.1959	994.0232	954.9016	899.1659	603.9628	418.5165
1.7	1136.3265	1125.6706	1108.0864	1090.9405	1070.5774	1044.7267	1012.128	972.2977	892.7784	599.668	415.5435
1.8	1152.3259	1142.1712	1125.346	1108.6634	1088.4737	1062.5047	1029.4998	988.9897	886.7788	595.6378	412.7531
1.9	1167.6677	1158.0024	1141.9198	1125.693	1105.6776	1079.5999	1046.2068	1005.0428	881.1252	591.8422	410.1238
2	1182.4116	1173.2245	1157.8693	1142.0909	1122.2505	1096.0724	1062.3074	1020.5133	875.7792	588.2505	407.6315
2.1	1196.609	1187.8897	1173.2473	1157.9105	1138.2453	1111.9745	1077.8523	1035.45	870.7124	584.8492	405.2745
2.2	1210.3049	1202.0435	1188.1002	1173.1982	1153.7083	1127.3517	1092.886	1049.8954	865.902	581.6138	403.0404
2.3	1223.5385	1215.7258	1202.4687	1187.995	1168.6802	1142.244	1107.4472	1063.887	861.3165	578.5349	400.9055
2.4	1236.3446	1228.9718	1216.3885	1202.337	1183.1971	1156.6868	1121.5706	1077.4579	856.9473	575.5984	398.8693
2.5	1248.7539	1241.8128	1229.8915	1216.2562	1197.2908	1170.7117	1135.2867	1090.6374	852.7648	572.7926	396.9253
2.6	1260.794	1254.2766	1243.0062	1229.7813	1210.9899	1184.3468	1148.6228	1103.4518	848.7622	570.1059	395.0626
2.7	1272.4894	1266.3882	1255.758	1242.9381	1224.32	1197.6171	1161.6035	1115.9248	844.9253	567.5233	393.2704
2.8	1283.8621	1278.17	1268.1699	1255.7495	1237.3041	1210.5456	1174.251	1128.0776	841.2359	565.0518	391.5522
2.9	1294.9322	1289.6424	1280.2626	1268.2366	1249.9632	1223.1527	1186.5852	1139.9295	837.6883	562.6646	389.9075
3	1305.7177	1300.8237	1292.0548	1280.4183	1262.3162	1235.4571	1198.6243	1151.4977	834.2728	560.37	388.3123
3.1	1316.2351	1311.7307	1303.5638	1292.312	1274.3802	1247.4759	1210.3849	1162.7984	830.9821	558.16	386.7809
3.2	1326.4994	1322.3785	1314.8051	1303.9333	1286.1712	1259.2245	1221.8821	1173.846	827.7992	556.0268	385.2989
3.3	1336.5243	1332.7813	1325.7931	1315.2968	1297.7034	1270.7172	1233.1297	1184.6538	824.7251	553.9623	383.8725
3.4	1346.3223	1342.9517	1336.5408	1326.4157	1308.9903	1281.967	1244.1406	1195.2341	821.7525	551.9655	382.4832
3.5	1355.9051	1352.9017	1347.0604	1337.3023	1320.0439	1292.9861	1254.9263	1205.5982	818.8749	550.0317	381.1479
3.6	1365.2834	1362.642	1357.363	1347.9679	1330.8756	1303.7856	1265.4978	1215.7564	816.0852	548.1548	379.8493
3.7	1374.467	1372.1827	1367.4589	1358.4228	1341.4958	1314.3757	1275.8651	1225.7183	813.376	546.3344	378.5849
3.8	1383.465	1381.5333	1377.3578	1368.6768	1351.9141	1324.7659	1286.0375	1235.4931	810.7495	544.569	377.3623
3.9	1392.286	1390.7022	1387.0684	1378.7389	1362.1397	1334.0653	1296.0237	1245.0889	808.1975	542.858	376.1776
4	1400.9378	1399.6975	1396.5991	1388.6175	1372.1808	1344.9821	1305.8317	1254.5134	805.715	541.19	375.0274

Propiedades ASTM A105 (continuación)

Temperatura	Esfuerzo de cedencia (MPa) de Austenita a velocidad de deformación fija de: 0.001									
	550 °C	600 °C	650 °C	700 °C	750 °C	800 °C	850 °C	900 °C	950 °C	1000 °C
0	106.5251	68.4882	67.5263	66.8313	66.3665	66.1022	66.0139	65.1965	56.5899	47.1213
0.02	220.5435	152.8893	145.0761	137.3526	128.3443	102.8587	83.4617	68.4312	56.5899	47.1213
0.04	266.9537	185.6125	174.4342	162.55	128.3392	102.8546	83.4584	68.4285	56.5876	47.1195
0.06	298.5065	207.9116	194.2895	162.5203	128.316	102.8354	83.4431	68.4159	56.5769	47.1112
0.08	323.1303	225.3395	209.4504	162.4428	128.2554	102.7853	83.4031	68.383	56.549	47.0896
0.1	343.6204	239.8576	209.2447	162.2831	128.1306	102.6816	83.3207	68.3153	56.4914	47.0455
0.12	361.3228	252.4114	208.8975	162.017	127.918	102.5078	83.1837	68.2028	56.3952	46.9683
0.14	370.8865	263.5367	208.3814	161.6129	127.5974	102.2572	82.9871	68.0429	56.2573	46.8424
0.16	369.6855	273.5446	207.7077	161.0946	127.187	101.9329	82.705	67.8137	56.0844	46.6778
0.18	368.2399	272.474	206.8984	160.4572	126.6855	101.5209	82.3761	67.5359	55.8607	46.4847
0.2	366.6081	271.2683	205.9848	159.7485	126.1289	101.0821	82.0284	67.2396	55.5943	46.2795
0.22	364.8521	269.9723	204.9974	158.9908	125.5143	100.5832	81.6138	66.932	55.3246	46.078
0.24	363.024	268.6107	203.9678	158.1846	124.8949	100.0906	81.2085	66.5704	55.0698	45.8383
0.26	361.1599	267.2349	202.9201	157.368	124.2459	99.5617	80.7933	66.2337	54.771	45.5767
0.28	359.2955	265.8593	201.8718	156.5551	123.6008	99.0653	80.3647	65.9088	54.4701	45.3382
0.3	357.4532	264.4915	200.8359	155.7568	122.986	98.5377	79.9812	65.5427	54.2027	45.1284
0.32	355.6433	263.1566	199.8179	154.979	122.3433	98.0586	79.5441	65.219	53.9559	44.9142
0.34	353.8816	261.8505	198.8258	154.1987	121.7394	97.5499	79.162	64.9144	53.6497	44.6537
0.36	352.1607	260.5723	197.8608	153.4425	121.152	97.0934	78.7741	64.5676	53.3809	44.4246
0.38	350.4878	259.338	196.926	152.7188	120.5668	96.6156	78.3879	64.2661	53.149	44.2266
0.4	348.8733	258.1444	196.019	152.0265	120.0307	96.178	78.0539	64.0065	52.9212	44.0569
0.42	347.301	256.9892	195.1314	151.3267	119.4682	95.7416	77.6785	63.6801	52.647	43.8449
0.44	345.7836	255.8601	194.2724	150.665	118.9686	95.3168	77.3343	63.3928	52.4078	43.6214
0.46	344.3112	254.769	193.4429	150.0391	118.4389	94.9334	77.0364	63.1439	52.2006	43.4262
0.48	342.8919	253.714	192.6443	149.4011	117.9732	94.5145	76.6902	62.8931	52.0217	43.2567
0.5	341.5072	252.6932	191.8777	148.8083	117.4737	94.1494	76.3748	62.6099	51.7801	43.1099
0.6	335.2253	248.0513	188.3375	146.076	115.3133	92.3997	75.0081	61.4497	50.8328	42.2808
0.7	329.7974	244.0354	185.2881	143.6976	113.4413	90.9296	73.7636	60.4515	50.0315	41.5895
0.8	325.0497	240.5062	182.6157	141.6235	111.8189	89.5912	72.6928	59.5811	49.2606	41.0461
0.9	320.8335	237.3896	180.2517	139.7949	110.357	88.4269	71.7551	58.8339	48.6161	40.4454
1	317.0629	234.5969	178.1367	138.1523	109.0786	87.3863	70.9337	58.1382	48.082	40.039
1.1	313.6426	232.0816	176.2149	136.6559	107.9039	86.4435	70.1519	57.4827	47.5165	39.5375
1.2	310.5317	229.7745	174.4611	135.3008	106.8264	85.5875	69.4332	56.9681	47.0892	39.1705
1.3	307.6788	227.6592	172.8691	134.0725	105.8459	84.8168	68.8179	56.3876	46.6163	38.8257
1.4	305.0521	225.7108	171.3776	132.9251	104.9503	84.0974	68.2175	55.959	46.2246	38.4437
1.5	302.5981	223.9098	170.0224	131.8537	104.1013	83.3969	67.664	55.4529	45.8884	38.1665
1.6	300.3201	222.2172	168.7271	130.8611	103.2999	82.7836	67.1666	55.0785	45.4892	37.9182
1.7	298.1898	220.6348	167.5233	129.9381	102.562	82.1933	66.677	54.6519	45.1887	37.5824
1.8	296.1859	219.1581	166.3978	129.0637	101.895	81.63	66.2314	54.2824	44.922	37.3253
1.9	294.2943	217.7576	165.3377	128.2267	101.2304	81.1278	65.8219	53.9944	44.5777	37.1266
2	292.507	216.4319	164.3346	127.4409	100.6091	80.6155	65.3964	53.6045	44.3073	36.9357
2.1	290.8202	215.186	163.3825	126.7091	100.0532	80.1637	65.0592	53.2951	44.0932	36.6586
2.2	289.2114	214.007	162.4782	126.0287	99.4707	79.7117	64.6654	53.0475	43.8457	36.4362
2.3	287.6781	212.8668	161.6196	125.3376	98.9789	79.2854	64.3184	52.7308	43.5711	36.2564
2.4	286.2198	211.7823	160.8067	124.7045	98.4412	78.9093	64.0356	52.4424	43.347	36.1099
2.5	284.8254	210.7478	160.0331	124.1079	97.9988	78.4906	63.6846	52.2054	43.1628	35.9765
2.6	283.4826	209.7589	159.266	123.5073	97.5004	78.1438	63.3758	52.0093	43.0106	35.7464
2.7	282.2048	208.8123	158.5411	122.9765	97.0847	77.786	63.1184	51.7241	42.765	35.554
2.8	280.9811	207.9057	157.8618	122.412	96.639	77.4282	62.8423	51.4783	42.5495	35.3924
2.9	279.7885	207.0326	157.1915	121.9173	96.2365	77.1262	62.5473	51.2708	42.3674	35.2561
3	278.6441	206.1796	156.5421	121.3985	95.8558	76.8071	62.2968	51.0948	42.2129	35.1404
3.1	277.5427	205.3594	155.9429	120.9433	95.4557	76.4826	62.0831	50.8997	42.0812	35.0419
3.2	276.4802	204.5727	155.3289	120.4551	95.1126	76.2043	61.8367	50.6661	41.9348	34.899
3.3	275.4537	203.8205	154.7568	120.0347	94.7481	75.9473	61.5789	50.4647	41.7343	34.7256
3.4	274.4607	203.09	154.1999	119.576	94.3958	75.6378	61.3558	50.2904	41.5607	34.5755
3.5	273.499	202.3672	153.6541	119.1686	94.0898	75.3688	61.1621	50.1391	41.4097	34.4449
3.6	272.5673	201.6791	153.1399	118.759	93.7552	75.1343	60.9888	50.0073	41.2781	34.3311
3.7	271.6646	201.0245	152.6214	118.3573	93.4321	74.8935	60.7452	49.8011	41.163	34.2315
3.8	270.7903	200.3593	152.1389	118.0045	93.1484	74.6228	60.5311	49.6145	41.062	34.1441
3.9	269.9439	199.7315	151.65	117.6031	92.8589	74.3842	60.3424	49.45	40.9433	34.0671
4	269.1121	199.1242	151.1905	117.2471	92.5519	74.1733	60.1756	49.3046	40.7777	33.998

Propiedades AISI 4330

Temperatura (°C)	% peso - FERRITA	% peso - AUSTENITA	% peso - M ₂₃ C ₆	% peso - M(C,N)	% peso - CEMENTITA	Modulo de Young (GPa)- FERRITA	Modulo de Young (GPa)- AUSTENITA	Modulo de Young (GPa)- M(C,N)
1300	-	100	-	-	-	-	80.27389	-
1290	-	100	-	-	-	-	81.30779	-
1280	-	100	-	-	-	-	82.34028	-
1270	-	100	-	-	-	-	83.37135	-
1260	-	100	-	-	-	-	84.401	-
1250	-	100	-	-	-	-	85.42923	-
1240	-	100	-	-	-	-	86.45604	-
1230	-	100	-	-	-	-	87.48144	-
1220	-	100	-	-	-	-	88.50541	-
1210	-	100	-	-	-	-	89.52797	-
1200	-	100	-	-	-	-	90.54911	-
1190	-	100	-	-	-	-	91.56883	-
1180	-	100	-	-	-	-	92.58713	-
1170	-	100	-	-	-	-	93.60401	-
1160	-	100	-	-	-	-	94.61948	-
1150	-	100	-	-	-	-	95.63352	-
1140	-	100	-	-	-	-	96.64615	-
1130	-	100	-	-	-	-	97.65736	-
1120	-	100	-	-	-	-	98.66715	-
1110	-	100	-	-	-	-	99.67552	-
1100	-	100	-	-	-	-	100.68248	-
1090	-	100	-	-	-	-	101.68801	-
1080	-	100	-	-	-	-	102.69213	-
1070	-	100	-	-	-	-	103.69483	-
1060	-	100	-	-	-	-	104.69611	-
1050	-	100	-	-	-	-	105.69597	-
1040	-	100	-	-	-	-	106.69441	-
1030	-	100	-	-	-	-	107.69143	-
1020	-	100	-	-	-	-	108.68704	-
1010	-	100	-	-	-	-	109.68123	-
1000	-	100	-	-	-	-	110.674	-
990	-	100	-	-	-	-	111.66535	-
980	-	100	-	-	-	-	112.65528	-
970	-	100	-	-	-	-	113.64379	-
960	-	100	-	-	-	-	114.63089	-
950	-	100	-	-	-	-	115.61656	-
940	-	100	-	-	-	-	116.60082	-
930	-	100	-	-	-	-	117.58366	-
920	-	100	-	-	-	-	118.56508	-
910	-	100	-	-	-	-	119.54509	-
900	-	100	-	-	-	-	120.52367	-
892.66	-	100	-	0	-	-	121.24117	-
890	-	99.99465	-	0.00534768	-	-	121.50117	338.94607
880	-	99.9753	-	0.0247027	-	-	122.478	339.9995
870	-	99.95707	-	0.0429268	-	-	123.4531	341.0531
860	-	99.93989	-	0.0601115	-	-	124.42644	342.10563
850	-	99.92365	-	0.076349	-	-	125.39798	343.15577
840	-	99.90827	-	0.0917317	-	-	126.3677	344.20212
830	-	99.89365	-	0.10635	-	-	127.33557	345.24322
820	-	99.87969	-	0.12031	-	-	128.30157	346.27751
810	-	99.86631	-	0.13369	-	-	129.26568	347.30342
800	-	99.85341	-	0.14659	-	-	130.22787	348.31927
790	-	99.84089	-	0.15911	-	-	131.18811	349.32337
780	-	99.82865	-	0.17135	-	-	132.14638	350.31397
770	-	99.81659	-	0.18341	-	-	133.10265	351.28932
760	-	99.8046	-	0.1954	-	-	134.0569	352.24764
750	-	99.79259	-	0.20741	-	-	135.00907	353.18721
740	-	99.78044	-	0.21956	-	-	135.95915	354.10635
732.22	-	99.77082	0	0.22918	-	-	136.69698	354.80646
731.27	0	99.74447	0.0264321	0.2291	-	-	136.7774	354.89414
730	2.24169	97.40669	0.12455	0.22708	-	139.26675	136.93289	355.21439
720	18.44878	80.47673	0.86132	0.21317	-	140.69914	138.17774	357.68243
710	32.1764	66.08836	1.53304	0.2022	-	142.1514	139.45151	360.04077
700	43.70768	53.95398	2.14482	0.19353	-	143.61711	140.74759	362.27616
690	53.36851	43.74105	2.70371	0.18673	-	145.09073	142.06002	364.37786
680	61.4513	35.15332	3.21389	0.18148	-	146.56747	143.38345	366.34039

Propiedades AISI 4330 (continuación)

Temperatura (°C)	% peso - FERRITA	% peso - AUSTENITA	% peso - M ₂₃ C ₆	% peso - M(C,N)	% peso - CEMENTITA	Modulo de Young (GPa)- FERRITA	Modulo de Young (GPa)- AUSTENITA	Modulo de Young (GPa)- M(C,N)
670	68.19167	27.95588	3.67498	0.17746	-	148.04326	144.71338	368.16464
660	73.77612	21.96597	4.08351	0.1744	-	149.51476	146.04632	369.85703
650	78.35889	17.03328	4.43577	0.17206	-	150.97925	147.37982	371.42824
646.06	79.91862	15.35149	4.5586	0.17129	0	151.5535	147.9047	372.0166
640	82.40329	12.70631	4.50864	0.17084	0.21092	152.44181	148.70366	372.62996
630	85.65347	9.25636	4.4433	0.17022	0.47665	153.89399	150.02122	373.6337
620	88.08042	6.69069	4.39189	0.16968	0.66732	155.33046	151.33837	374.63137
610	89.88551	4.79081	4.3488	0.16917	0.80571	156.75176	152.65475	375.62644
600	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	158.15832	153.96934	376.62169
590	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	159.54928	154.89503	377.09215
580	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	160.92819	155.81884	377.56261
570	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	162.29467	156.74079	378.03307
560	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	163.64836	157.66088	378.50353
550	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	164.98888	158.57909	378.97398
540	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	166.31588	159.49545	379.44444
530	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	167.629	160.40993	379.9149
520	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	168.92787	161.32255	380.38536
510	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	170.21215	162.2333	380.85581
500	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	171.48149	163.14218	381.32627
490	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	172.73554	164.0492	381.79673
480	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	173.97395	164.95435	382.26719
470	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	175.1964	165.85763	382.73765
460	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	176.40254	166.75905	383.2081
450	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	177.59206	167.6586	383.67856
440	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	178.76463	168.55629	384.14902
430	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	179.91993	169.45211	384.61948
420	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	181.05766	170.34606	385.08994
410	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	182.17752	171.23814	385.56039
400	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	183.27919	172.12836	386.03085
390	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	184.36241	173.01671	386.50131
380	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	185.42689	173.90319	386.97177
370	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	186.47236	174.78781	387.44223
360	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	187.49855	175.67056	387.91268
350	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	188.50522	176.55145	388.38314
340	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	189.49213	177.43047	388.8536
330	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	190.45906	178.30762	389.32406
320	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	191.40578	179.1829	389.79451
310	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	192.3321	180.05632	390.26497
300	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	193.23785	180.92787	390.73543
290	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	194.12284	181.79756	391.20589
280	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	194.98694	182.66538	391.67635
270	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	195.83001	183.53133	392.1468
260	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	196.65196	184.39541	392.61726
250	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	197.45271	185.25763	393.08772
240	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	198.23219	186.11799	393.55818
230	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	198.99039	186.97647	394.02864
220	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	199.72732	187.83309	394.49909
210	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	200.44302	188.68784	394.96955
200	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	201.13758	189.54073	395.44001
190	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	201.81112	190.39175	395.91047
180	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	202.46382	191.2409	396.38092
170	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	203.09591	192.08818	396.85138
160	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	203.70769	192.9336	397.32184
150	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	204.29952	193.77715	397.7923
140	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	204.87182	194.61884	398.26276
130	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	205.42513	195.45866	398.73321
120	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	205.96007	196.29661	399.20367
110	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	206.47734	197.1327	399.67413
100	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	206.97782	197.96692	400.14459
90	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	207.46248	198.79927	400.61505
80	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	207.93248	199.62976	401.0855
70	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	208.38915	200.45838	401.55596
60	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	208.83403	201.28513	402.02642
50	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	209.26892	202.11001	402.49688
40	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	209.69589	202.93303	402.96733
30	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	210.11733	203.75419	403.43779
25	91.21724	3.39584	4.31037	0.16866	0.90789	210.32684	204.16406	403.67302

Propiedades AISI 4330 (continuación)

Temperatura (°C)	Modulo de Young (GPa)- CEMENTITA	Modulo de Young (GPa)- M ₂₃ C ₆	Modulo de Young (GPa)- TOTAL	Coefficiente de Poisson- FERRITA	Coefficiente de Poisson- AUSTENITA	Coefficiente de Poisson- M(C,N)	Coefficiente de Poisson- CEMENTITA	Coefficiente de Poisson- M ₂₃ C ₆	Coefficiente de Poisson- TOTAL
1300	-	-	80.27389	-	0.36803	-	-	-	0.36803
1290	-	-	81.30779	-	0.36745	-	-	-	0.36745
1280	-	-	82.34028	-	0.36687	-	-	-	0.36687
1270	-	-	83.37135	-	0.36629	-	-	-	0.36629
1260	-	-	84.401	-	0.36571	-	-	-	0.36571
1250	-	-	85.42923	-	0.36514	-	-	-	0.36514
1240	-	-	86.45604	-	0.36456	-	-	-	0.36456
1230	-	-	87.48144	-	0.36398	-	-	-	0.36398
1220	-	-	88.50541	-	0.3634	-	-	-	0.3634
1210	-	-	89.52797	-	0.36282	-	-	-	0.36282
1200	-	-	90.54911	-	0.36224	-	-	-	0.36224
1190	-	-	91.56883	-	0.36167	-	-	-	0.36167
1180	-	-	92.58713	-	0.36109	-	-	-	0.36109
1170	-	-	93.60401	-	0.36051	-	-	-	0.36051
1160	-	-	94.61948	-	0.35993	-	-	-	0.35993
1150	-	-	95.63352	-	0.35935	-	-	-	0.35935
1140	-	-	96.64615	-	0.35878	-	-	-	0.35878
1130	-	-	97.65736	-	0.3582	-	-	-	0.3582
1120	-	-	98.66715	-	0.35762	-	-	-	0.35762
1110	-	-	99.67552	-	0.35704	-	-	-	0.35704
1100	-	-	100.68248	-	0.35646	-	-	-	0.35646
1090	-	-	101.68801	-	0.35588	-	-	-	0.35588
1080	-	-	102.69213	-	0.35531	-	-	-	0.35531
1070	-	-	103.69483	-	0.35473	-	-	-	0.35473
1060	-	-	104.69611	-	0.35415	-	-	-	0.35415
1050	-	-	105.69597	-	0.35357	-	-	-	0.35357
1040	-	-	106.69441	-	0.35299	-	-	-	0.35299
1030	-	-	107.69143	-	0.35242	-	-	-	0.35242
1020	-	-	108.68704	-	0.35184	-	-	-	0.35184
1010	-	-	109.68123	-	0.35126	-	-	-	0.35126
1000	-	-	110.674	-	0.35068	-	-	-	0.35068
990	-	-	111.66535	-	0.3501	-	-	-	0.3501
980	-	-	112.65528	-	0.34952	-	-	-	0.34952
970	-	-	113.64379	-	0.34895	-	-	-	0.34895
960	-	-	114.63089	-	0.34837	-	-	-	0.34837
950	-	-	115.61656	-	0.34779	-	-	-	0.34779
940	-	-	116.60082	-	0.34721	-	-	-	0.34721
930	-	-	117.58366	-	0.34663	-	-	-	0.34663
920	-	-	118.56508	-	0.34606	-	-	-	0.34606
910	-	-	119.54509	-	0.34548	-	-	-	0.34548
900	-	-	120.52367	-	0.3449	-	-	-	0.3449
892.66	-	-	121.01242	-	0.34447	-	-	-	0.344615
890	-	-	121.50117	-	0.34433	0.2522	-	-	0.34433
880	-	-	122.478	-	0.34376	0.252	-	-	0.34376
870	-	-	123.4531	-	0.3432	0.2518	-	-	0.3432
860	-	-	124.42644	-	0.34263	0.2516	-	-	0.34263
850	-	-	125.39798	-	0.34206	0.25141	-	-	0.34206
840	-	-	126.3677	-	0.3415	0.25122	-	-	0.3415
830	-	-	127.33557	-	0.34093	0.25103	-	-	0.34093
820	-	-	128.30157	-	0.34036	0.25085	-	-	0.34036
810	-	-	129.26568	-	0.33979	0.25067	-	-	0.33979
800	-	-	130.22787	-	0.33922	0.25049	-	-	0.33922
790	-	-	131.18811	-	0.33865	0.25032	-	-	0.33865
780	-	-	132.14638	-	0.33808	0.25015	-	-	0.33808
770	-	-	133.10265	-	0.33751	0.24999	-	-	0.33751
760	-	-	134.0569	-	0.33694	0.24983	-	-	0.33694
750	-	-	135.00907	-	0.33637	0.24968	-	-	0.33637
740	-	-	135.95915	-	0.33579	0.24954	-	-	0.33579
732.22	-	-	136.69682	-	0.33535	0.24943	-	-	0.33535
731.27	-	215.58037	136.935875	-	0.3353	0.24942	-	0.23997	0.335205
730	-	215.46347	137.17493	0.31844	0.33523	0.24935	-	0.23997	0.33506
720	-	214.52919	138.13007	0.31808	0.33466	0.24878	-	0.23997	0.33448
710	-	213.58104	139.08379	0.31772	0.33408	0.24825	-	0.23996	0.3339
700	-	212.63615	140.0361	0.31736	0.3335	0.24776	-	0.23996	0.33332
690	-	211.72735	140.98697	0.317	0.33293	0.24733	-	0.23996	0.33274
680	-	210.90372	141.93643	0.31664	0.33237	0.24693	-	0.23995	0.33216

Propiedades AISI 4330 (continuación)

Temperatura (°C)	Expansión térmica	Conductividad ad térmica (W/(m*K))- FERRITA	Conductividad ad térmica (W/(m*K))- AUSTENITA	Conductividad ad térmica (W/(m*K))- M(C,N)	Conductividad ad térmica (W/(m*K))- CEMENTITA	Conductividad ad térmica (W/(m*K))- M ₂₃ C ₆	Conductividad ad térmica (W/(m*K))- TOTAL	Densidad (g/(cm) ³)- FERRITA
1300	0.00001693894	-	31.71584	-	-	-	31.71584	-
1290	0.00001688092	-	31.59091	-	-	-	31.59091	-
1280	0.00001682208	-	31.46598	-	-	-	31.46598	-
1270	0.00001676241	-	31.34104	-	-	-	31.34104	-
1260	0.00001670188	-	31.2161	-	-	-	31.2161	-
1250	0.00001664048	-	31.09115	-	-	-	31.09115	-
1240	0.00001657817	-	30.96621	-	-	-	30.96621	-
1230	0.00001651495	-	30.84126	-	-	-	30.84126	-
1220	0.00001645078	-	30.7163	-	-	-	30.7163	-
1210	0.00001638564	-	30.59134	-	-	-	30.59134	-
1200	0.00001631951	-	30.46638	-	-	-	30.46638	-
1190	0.00001625235	-	30.34142	-	-	-	30.34142	-
1180	0.00001618414	-	30.21645	-	-	-	30.21645	-
1170	0.00001611485	-	30.09148	-	-	-	30.09148	-
1160	0.00001604446	-	29.96651	-	-	-	29.96651	-
1150	0.00001597293	-	29.84153	-	-	-	29.84153	-
1140	0.00001590023	-	29.71655	-	-	-	29.71655	-
1130	0.00001582633	-	29.59156	-	-	-	29.59156	-
1120	0.00001575119	-	29.46658	-	-	-	29.46658	-
1110	0.00001567479	-	29.34159	-	-	-	29.34159	-
1100	0.00001559708	-	29.21659	-	-	-	29.21659	-
1090	0.00001551802	-	29.09159	-	-	-	29.09159	-
1080	0.00001543758	-	28.96659	-	-	-	28.96659	-
1070	0.00001535572	-	28.84159	-	-	-	28.84159	-
1060	0.00001527239	-	28.71658	-	-	-	28.71658	-
1050	0.00001518755	-	28.59157	-	-	-	28.59157	-
1040	0.00001510116	-	28.46656	-	-	-	28.46656	-
1030	0.00001501316	-	28.34154	-	-	-	28.34154	-
1020	0.00001492351	-	28.21652	-	-	-	28.21652	-
1010	0.00001483216	-	28.09149	-	-	-	28.09149	-
1000	0.00001473906	-	27.96646	-	-	-	27.96646	-
990	0.00001464414	-	27.84143	-	-	-	27.84143	-
980	0.00001454735	-	27.7164	-	-	-	27.7164	-
970	0.00001444864	-	27.59136	-	-	-	27.59136	-
960	0.00001434793	-	27.46632	-	-	-	27.46632	-
950	0.00001424516	-	27.34127	-	-	-	27.34127	-
940	0.00001414027	-	27.21622	-	-	-	27.21622	-
930	0.00001403318	-	27.09117	-	-	-	27.09117	-
920	0.00001392382	-	26.96611	-	-	-	26.96611	-
910	0.00001381211	-	26.84105	-	-	-	26.84105	-
900	0.00001369796	-	26.71599	-	-	-	26.71599	-
892.66	0.00001361257	-	26.62417	-	-	-	26.65363	-
890	0.00001357968	-	26.59127	25.99736	-	-	26.59127	-
880	0.00001345440	-	26.46758	26.00142	-	-	26.46758	-
870	0.00001332653	-	26.34397	26.01551	-	-	26.34397	-
860	0.00001319595	-	26.22044	26.03992	-	-	26.22044	-
850	0.00001306255	-	26.09699	26.0749	-	-	26.09699	-
840	0.00001292622	-	25.97363	26.12071	-	-	25.97363	-
830	0.00001278681	-	25.85037	26.17758	-	-	25.85037	-
820	0.00001264419	-	25.7272	26.24571	-	-	25.7272	-
810	0.00001249822	-	25.60414	26.32529	-	-	25.60414	-
800	0.00001234873	-	25.48119	26.41652	-	-	25.48119	-
790	0.00001219556	-	25.35836	26.51953	-	-	25.35836	-
780	0.00001203854	-	25.23566	26.63445	-	-	25.23566	-
770	0.00001187747	-	25.1131	26.76138	-	-	25.1131	-
760	0.00001171216	-	24.99069	26.90034	-	-	24.99069	-
750	0.00001154240	-	24.86846	27.05131	-	-	24.86846	-
740	0.00001136795	-	24.74641	27.21415	-	-	24.74641	-
732.22	0.00001122881	-	24.65158	27.34892	-	-	24.65161	-
731.27	0.00001120815	-	24.64107	27.32786	-	21.19948	24.620325	-
730	0.00001131422	31.85023	24.61678	27.23329	-	21.15979	24.58904	7.62785
720	0.00001208035	32.12264	24.41351	26.50905	-	20.84266	24.4639	7.63147
710	0.00001272268	32.37493	24.19169	25.82447	-	20.51883	24.33876	7.63552
700	0.00001325018	32.6094	23.95398	25.18685	-	20.19072	24.21362	7.63989
690	0.00001367634	32.82811	23.70228	24.60508	-	19.86376	24.08847	7.64452
680	0.00001401472	33.03264	23.43823	24.08467	-	19.54603	23.96332	7.64932

Propiedades AISI 4330 (continuación)

Temperatura (°C)	Densidad (g/(cm) ³)-AUSTENITA	Densidad (g/(cm) ³)-M(C,N)	Densidad (g/(cm) ³)-CEMENTITE	Densidad (g/(cm) ³)-M ₂₃ C ₆	Densidad (g/(cm) ³)-TOTAL	Calor específico (J/(g K))-TOTAL	Calor Latente (J/g) - Ferrita	Calor Latente (J/g) Perlita
1300	7.39847	-	-	-	7.39847	0.67234	132.48886	137.05451
1290	7.40353	-	-	-	7.40353	0.6707		
1280	7.4086	-	-	-	7.4086	0.66909		
1270	7.41367	-	-	-	7.41367	0.66748		
1260	7.41875	-	-	-	7.41875	0.66587		
1250	7.42383	-	-	-	7.42383	0.66425		
1240	7.42892	-	-	-	7.42892	0.66265		
1230	7.43401	-	-	-	7.43401	0.66107		
1220	7.4391	-	-	-	7.4391	0.65948		
1210	7.4442	-	-	-	7.4442	0.65789		
1200	7.4493	-	-	-	7.4493	0.65631		
1190	7.4544	-	-	-	7.4544	0.65472		
1180	7.45951	-	-	-	7.45951	0.65314		
1170	7.46463	-	-	-	7.46463	0.65156		
1160	7.46974	-	-	-	7.46974	0.64998		
1150	7.47487	-	-	-	7.47487	0.6484		
1140	7.47999	-	-	-	7.47999	0.64682		
1130	7.48513	-	-	-	7.48513	0.64524		
1120	7.49026	-	-	-	7.49026	0.64367		
1110	7.4954	-	-	-	7.4954	0.64209		
1100	7.50055	-	-	-	7.50055	0.64051		
1090	7.50569	-	-	-	7.50569	0.63894		
1080	7.51085	-	-	-	7.51085	0.63737		
1070	7.51601	-	-	-	7.51601	0.6358		
1060	7.52117	-	-	-	7.52117	0.63423		
1050	7.52633	-	-	-	7.52633	0.63266		
1040	7.53151	-	-	-	7.53151	0.63109		
1030	7.53668	-	-	-	7.53668	0.62952		
1020	7.54186	-	-	-	7.54186	0.62796		
1010	7.54705	-	-	-	7.54705	0.62639		
1000	7.55224	-	-	-	7.55224	0.62482		
990	7.55743	-	-	-	7.55743	0.62326		
980	7.56263	-	-	-	7.56263	0.6217		
970	7.56783	-	-	-	7.56783	0.62013		
960	7.57304	-	-	-	7.57304	0.61857		
950	7.57826	-	-	-	7.57826	0.61701		
940	7.58347	-	-	-	7.58347	0.61545		
930	7.5887	-	-	-	7.5887	0.61389		
920	7.59392	-	-	-	7.59392	0.61233		
910	7.59916	-	-	-	7.59916	0.61077		
900	7.60439	-	-	-	7.60439	0.60921		
892.66	7.60824	-	-	-	7.607075	-		
890	7.60976	6.20237	-	-	7.60976	0.64099		
880	7.61545	6.23411	-	-	7.61545	0.63704		
870	7.6211	6.26746	-	-	7.6211	0.63325		
860	7.62671	6.3025	-	-	7.62671	0.62961		
850	7.6323	6.33928	-	-	7.6323	0.62613		
840	7.63786	6.37784	-	-	7.63786	0.62279		
830	7.6434	6.41824	-	-	7.6434	0.61962		
820	7.64891	6.46052	-	-	7.64891	0.61659		
810	7.65439	6.50472	-	-	7.65439	0.61371		
800	7.65986	6.55088	-	-	7.65986	0.61098		
790	7.66531	6.59902	-	-	7.66531	0.60839		
780	7.67074	6.64916	-	-	7.67074	0.60596		
770	7.67616	6.70131	-	-	7.67616	0.60366		
760	7.68156	6.75545	-	-	7.68156	0.60151		
750	7.68695	6.81158	-	-	7.68695	0.5995		
740	7.69233	6.86963	-	-	7.69233	0.59763		
732.22	7.69651	6.91609	-	-	7.6965	-		
731.27	7.6971	6.91483	-	7.6115	7.69784	-		
730	7.69742	6.90158	-	7.61124	7.69918	1.86662		
720	7.69997	6.7999	-	7.60818	7.70453	1.79673		
710	7.70269	6.70373	-	7.60331	7.70989	1.70253		
700	7.70563	6.61468	-	7.59707	7.71525	1.60218		
690	7.70885	6.53478	-	7.59027	7.72062	1.50379		
680	7.71242	6.46547	-	7.58388	7.726	1.41034		

Propiedades AISI 4330 (continuación)

Temperatura (°C)	Densidad (g/(cm) ³)-AUSTENITA	Densidad (g/(cm) ³)-M(C,N)	Densidad (g/(cm) ³)-CEMENTITE	Densidad (g/(cm) ³)-M ₂₃ C ₆	Densidad (g/(cm) ³)-TOTAL	Calor específico (J/(g K))-TOTAL
670	7.7164	6.40702	-	7.57862	7.73138	1.32173
660	7.72085	6.35864	-	7.57487	7.73677	1.23792
650	7.72577	6.31896	-	7.57266	7.74216	1.1595
646.06	7.72784	6.30538	-	7.57219	7.744855	-
640	7.73217	6.30311	7.43905	7.5778	7.74755	1.12233
630	7.73936	6.29673	7.4407	7.58618	7.75296	1.03571
620	7.74667	6.28809	7.44197	7.59368	7.75836	0.96821
610	7.75416	6.27805	7.44298	7.60051	7.76378	0.91505
600	7.7619	6.2672	7.44381	7.60681	7.7692	0.87281
590	7.76712	6.26869	7.44707	7.61054	7.77462	0.75971
580	7.77234	6.27018	7.4503	7.61427	7.78005	0.74922
570	7.77757	6.27166	7.45349	7.618	7.78549	0.73916
560	7.7828	6.27314	7.45665	7.62173	7.79093	0.7295
550	7.78803	6.27462	7.45977	7.62546	7.79638	0.72021
540	7.79327	6.27609	7.46286	7.62918	7.80184	0.71127
530	7.79851	6.27756	7.46591	7.63291	7.8073	0.70265
520	7.80375	6.27902	7.46894	7.63663	7.81276	0.69433
510	7.809	6.28048	7.47192	7.64035	7.81823	0.68629
500	7.81425	6.28194	7.47488	7.64407	7.82371	0.67851
490	7.81951	6.28339	7.4778	7.64779	7.8292	0.67098
480	7.82477	6.28484	7.48069	7.65151	7.83465	0.66367
470	7.83004	6.28628	7.48355	7.65523	7.83987	0.65659
460	7.8353	6.28772	7.48637	7.65895	7.84402	0.64971
450	7.84058	6.28915	7.48916	7.66266	7.8447	0.64303
440	7.84585	6.29058	7.49192	7.66637	7.83737	0.63653
430	7.85113	6.29201	7.49465	7.67009	7.82157	0.6302
420	7.85641	6.29343	7.49735	7.6738	7.80784	0.62404
410	7.8617	6.29485	7.50002	7.67751	7.8003	0.61804
400	7.86699	6.29626	7.50266	7.68122	7.79689	0.61218
390	7.87229	6.29767	7.50527	7.68492	7.79585	0.60647
380	7.87759	6.29907	7.50785	7.68863	7.79624	0.60089
370	7.88289	6.30047	7.5104	7.69233	7.79756	0.59545
360	7.8882	6.30187	7.51291	7.69604	7.79951	0.59012
350	7.89351	6.30326	7.51541	7.69974	7.8019	0.58492
340	7.89882	6.30465	7.51787	7.70344	7.80464	0.57983
330	7.90414	6.30603	7.5203	7.70714	7.8076	0.57485
320	7.90946	6.30741	7.52271	7.71083	7.81075	0.56997
310	7.91479	6.30879	7.52508	7.71453	7.81315	0.56519
300	7.92012	6.31016	7.52743	7.71822	7.81145	0.56051
290	7.92545	6.31153	7.52976	7.72192	7.81057	0.55591
280	7.93079	6.31289	7.53205	7.72561	7.81035	0.55141
270	7.93613	6.31425	7.53432	7.7293	7.8107	0.54698
260	7.94147	6.31561	7.53657	7.73299	7.81151	0.54264
250	7.94682	6.31696	7.53879	7.73667	7.8127	0.53837
240	7.95218	6.3183	7.54098	7.74036	7.81422	0.53417
230	7.95753	6.31965	7.54314	7.74404	7.816	0.53003
220	7.96289	6.32099	7.54529	7.74772	7.81799	0.52596
210	7.96826	6.32232	7.5474	7.7514	7.82017	0.52194
200	7.97363	6.32365	7.5495	7.75508	7.82249	0.51798
190	7.979	6.32498	7.55156	7.75876	7.82493	0.51407
180	7.98438	6.3263	7.55361	7.76243	7.82747	0.51019
170	7.98976	6.32762	7.55563	7.7661	7.8301	0.50636
160	7.99514	6.32893	7.55763	7.76978	7.83278	0.50256
150	8.00053	6.33024	7.55961	7.77345	7.83552	0.49879
140	8.00592	6.33155	7.56156	7.77711	7.8383	0.49504
130	8.01131	6.33285	7.56349	7.78078	7.8411	0.4913
120	8.01671	6.33415	7.5654	7.78444	7.84394	0.48757
110	8.02212	6.33544	7.56729	7.78811	7.84678	0.48384
100	8.02753	6.33673	7.56916	7.79177	7.84964	0.4801
90	8.03294	6.33802	7.571	7.79543	7.85251	0.47634
80	8.03835	6.3393	7.57283	7.79908	7.85538	0.47255
70	8.04377	6.34058	7.57463	7.80274	7.85826	0.46871
60	8.04919	6.34185	7.57642	7.80639	7.86113	0.46482
50	8.05462	6.34312	7.57819	7.81004	7.86399	0.46086
40	8.06005	6.34439	7.57993	7.81369	7.86685	0.4568
30	8.06549	6.34565	7.58166	7.81734	7.8697	0.45263
25	8.0682	6.34628	7.58252	7.81916	7.87033	0.4505

Propiedades AISI 4330 (continuación)

Esfuerzo de cedencia (MPa) de Austenita a velocidad de deformación fija de: 0.001										
Temperatura	550 °C	600 °C	650 °C	700 °C	750 °C	800 °C	850 °C	900 °C	950 °C	1000 °C
0	129.1298	76.3535	75.3699	74.6673	74.2071	73.9582	73.8951	73.3815	66.1427	55.2934
0.02	254.4591	166.7088	158.5289	150.4069	142.3451	118.8943	96.8316	79.6749	66.1428	55.2934
0.04	306.0263	201.9016	190.1753	178.4572	147.8024	118.8898	96.8279	79.6719	66.1404	55.2913
0.06	340.9087	225.8383	211.5402	186.4598	147.7767	118.869	96.8109	79.6579	66.1293	55.2818
0.08	368.0439	244.5236	228.1392	186.376	147.7094	118.8144	96.7663	79.6211	66.1004	55.2569
0.1	390.5703	260.0753	239.1368	186.2028	147.5699	118.7011	96.6736	79.545	66.041	55.2057
0.12	409.9954	273.5134	238.7563	185.909	147.3355	118.5104	96.5176	79.4172	65.9349	55.1208
0.14	420.3909	285.4154	238.1966	185.4684	146.9966	118.2338	96.2914	79.2325	65.7712	55.0003
0.16	419.0866	296.1433	237.4538	184.8961	146.5301	117.8688	96.003	78.9979	65.5579	54.8144
0.18	417.5002	305.9401	236.5556	184.1944	145.9857	117.4147	95.6242	78.6815	65.3088	54.5932
0.2	415.7058	309.0203	235.5378	183.3984	145.3467	116.9195	95.2151	78.3387	65.0454	54.3541
0.22	413.7618	307.569	234.4354	182.5394	144.6663	116.3602	94.7689	77.9942	64.7222	54.1152
0.24	411.7302	306.064	233.2854	181.6434	143.9669	115.7937	94.2978	77.584	64.3944	53.8478
0.26	409.658	304.5183	232.1156	180.7306	143.2321	115.2089	93.8306	77.2	64.0909	53.5526
0.28	407.5803	302.9818	230.9408	179.8164	142.5004	114.6186	93.343	76.811	63.752	53.2829
0.3	405.5226	301.4443	229.7694	178.9125	141.7869	114.0554	92.8865	76.4078	63.4162	53.0453
0.32	403.4961	299.9451	228.6181	178.0217	141.0842	113.4664	92.4037	76.0523	63.1202	52.755
0.34	401.5174	298.4666	227.4957	177.142	140.3793	112.928	91.9774	75.6546	62.8053	52.4774
0.36	399.5881	297.0406	226.4026	176.2851	139.7073	112.3669	91.506	75.29	62.4827	52.2351
0.38	397.7153	295.6399	225.3414	175.4553	139.0635	111.8519	91.0962	74.9658	62.2023	52.0269
0.4	395.8994	294.2881	224.3108	174.654	138.4112	111.3281	90.6629	74.589	61.9421	51.7567
0.42	394.1347	292.9852	223.3113	173.8845	137.8025	110.8429	90.2601	74.261	61.6308	51.5059
0.44	392.422	291.7069	222.3423	173.1292	137.2032	110.3497	89.8832	73.9684	61.3592	51.2878
0.46	390.7693	290.4745	221.4036	172.3897	136.6184	109.9013	89.4818	73.6218	61.1238	51.0993
0.48	389.1675	289.2848	220.4948	171.6844	136.0727	109.4308	89.1322	73.319	60.8783	50.895
0.5	387.6112	288.1342	219.6156	171.0141	135.5126	109.0207	88.77	73.0557	60.6062	50.6585
0.6	380.5268	282.8687	215.601	167.882	133.0541	107.0273	87.1504	71.693	59.4905	49.7381
0.7	374.4021	278.3105	212.1376	165.1753	130.91	105.2806	85.7394	70.5282	58.5307	48.9797
0.8	369.0441	274.3215	209.0993	162.8078	129.0379	103.7769	84.4982	69.515	57.7015	48.2257
0.9	364.2802	270.7876	206.3932	160.7037	127.3524	102.4266	83.4078	68.6213	57.0035	47.5911
1	360.0234	267.6141	203.9935	158.8281	125.8759	101.2349	82.4297	67.8385	56.2818	47.0763
1.1	356.162	264.7497	201.7973	157.1281	124.51	100.1566	81.5462	67.1132	55.6811	46.5216
1.2	352.6429	262.1399	199.8058	155.5652	123.2849	99.1665	80.7528	66.4204	55.1462	46.1029
1.3	349.4152	259.7372	197.9876	154.1516	122.1641	98.2512	80.0377	65.8396	54.6185	45.6475
1.4	346.436	257.5193	196.2849	152.8375	121.1257	97.4057	79.3205	65.2587	54.1695	45.2572
1.5	343.6724	255.464	194.719	151.6073	120.156	96.6305	78.6913	64.7437	53.7305	44.9515
1.6	341.1004	253.5481	193.2585	150.4685	119.2478	95.9313	78.1173	64.2514	53.313	44.5473
1.7	338.682	251.7581	191.8997	149.4042	118.3976	95.2322	77.5392	63.8109	52.9988	44.2425
1.8	336.4137	250.0792	190.6034	148.4039	117.6058	94.5865	77.0555	63.3596	52.5778	44.0102
1.9	334.2788	248.4803	189.3923	147.4604	116.8754	94.0197	76.5294	63.0104	52.2512	43.6651
2	332.2594	246.9937	188.2515	146.5698	116.1636	93.4154	76.0958	62.5758	51.9921	43.386
2.1	330.3433	245.5557	187.1704	145.7303	115.4803	92.9036	75.6318	62.2257	51.6306	43.1647
2.2	328.5234	244.2083	186.1414	144.9422	114.8622	92.3661	75.2224	61.9116	51.3405	42.9756
2.3	326.7952	242.9271	185.1588	144.168	114.2456	91.9048	74.8378	61.5428	51.1061	42.687
2.4	325.1442	241.6895	184.2192	143.4282	113.6646	91.4123	74.4338	61.2418	50.8465	42.4512
2.5	323.5585	240.5124	183.3201	142.7372	113.1252	91.0072	74.1015	60.9911	50.5619	42.2572
2.6	322.0546	239.3883	182.4605	142.0811	112.5796	90.542	73.7387	60.6545	50.3261	42.0968
2.7	320.5945	238.3109	181.64	141.4229	112.0922	90.1515	73.3928	60.3735	50.1296	41.9242
2.8	319.2041	237.2755	180.8594	140.8191	111.5845	89.7531	73.1026	60.1377	49.9354	41.693
2.9	317.8656	236.2786	180.1013	140.2232	111.1314	89.3651	72.7842	59.8984	49.6798	41.4975
3	316.5679	235.3176	179.3578	139.6487	110.667	89.0358	72.4686	59.6178	49.4626	41.3315
3.1	315.3236	234.3904	178.653	139.112	110.2351	88.6548	72.1992	59.3783	49.2772	41.1899
3.2	314.1264	233.4959	177.9899	138.5663	109.8215	88.3152	71.9516	59.1729	49.1182	41.0686
3.3	312.9684	232.6334	177.3134	138.0725	109.4004	88.0228	71.6477	58.9934	48.9655	40.9248
3.4	311.8394	231.8028	176.6769	137.5574	109.036	87.6743	71.3847	58.7367	48.7449	40.7347
3.5	310.7481	231.0035	176.0725	137.0941	108.6287	87.3632	71.1561	58.5135	48.553	40.5692
3.6	309.6918	230.2082	175.4591	136.6126	108.2632	87.0919	70.9337	58.3189	48.3856	40.4249
3.7	308.668	229.4422	174.893	136.1706	107.9248	86.7933	70.6654	58.1485	48.2391	40.2986
3.8	307.6746	228.7066	174.3186	135.7273	107.5518	86.4967	70.4296	57.9983	48.1105	40.1876
3.9	306.71	228.0025	173.7763	135.2987	107.223	86.2354	70.2218	57.775	47.9948	40.09
4	305.7731	227.2909	173.2427	134.8993	106.9101	86.0045	70.0382	57.5773	47.8054	40.0037

Propiedades AISI 4330 (continuación)

Esfuerzo de cedencia (MPa) de Ferrita a velocidad de deformación fija de: 0.001										
Temperatura	550 °C	600 °C	650 °C	700 °C	750 °C	800 °C	850 °C	900 °C	950 °C	1000 °C
0	168.4238	166.3796	164.8852	153.0701	94.6733	60.3277	39.6108	26.7436	18.5448	13.1291
0.02	285.7681	277.762	253.2718	153.0658	94.6704	60.3259	39.6095	26.7426	18.5443	13.1287
0.04	329.2599	319.0765	253.1574	152.9979	94.6256	60.2977	39.5886	26.7268	18.5358	13.1228
0.06	357.708	346.0369	252.6984	152.7134	94.4503	60.1894	39.5067	26.6639	18.503	13.0998
0.08	379.3708	366.5361	251.725	152.1278	94.0956	59.9731	39.3405	26.5306	18.4308	13.0477
0.1	397.0731	383.2692	250.3024	151.2613	93.5431	59.5923	39.1313	26.3514	18.3267	12.9742
0.12	412.1485	397.5066	248.6437	150.2574	92.9486	59.2004	38.8877	26.182	18.2062	12.889
0.14	425.3402	409.956	246.9307	149.2167	92.2752	58.7957	38.5527	26.0545	18.0793	12.8007
0.16	437.1082	407.9634	245.2293	148.1936	91.6379	58.3599	38.2805	25.8799	17.9544	12.7115
0.18	447.7582	405.26	243.6038	147.2116	91.06	58.0319	38.0802	25.6226	17.8357	12.6261
0.2	457.5047	402.7095	242.0823	146.28	90.4485	57.6073	37.8359	25.4196	17.7238	12.5458
0.22	466.5041	400.3079	240.627	145.4024	89.9518	57.2632	37.5461	25.267	17.6184	12.4718
0.24	474.8744	398.0592	239.2724	144.5827	89.3995	57.0082	37.3248	25.1551	17.519	12.4038
0.26	482.7069	395.9379	238.0127	143.8256	88.9712	56.6332	37.1588	25.0736	17.4252	12.3345
0.28	490.0738	393.9407	236.8001	143.1043	88.4708	56.3366	37.035	25.0142	17.3368	12.273
0.3	497.0332	392.057	235.6619	142.3992	88.0839	56.1088	36.8232	24.8438	17.2537	12.215
0.32	503.6328	390.2683	234.5892	141.7623	87.6539	55.8605	36.5981	24.6586	17.1762	12.1578
0.34	509.9119	388.5797	233.5751	141.154	87.2742	55.5689	36.4189	24.5094	17.1036	12.1079
0.36	515.9037	386.9913	232.6133	140.5568	86.957	55.336	36.2763	24.3896	17.0308	12.0552
0.38	521.6362	385.456	231.7007	140.0346	86.5652	55.1497	36.1628	24.2935	16.9638	12.0102
0.4	527.1335	384.0179	230.8351	139.4749	86.2476	55.0004	36.0721	24.2161	16.9024	11.9628
0.42	532.4163	382.621	230.0134	139.0085	85.9827	54.7364	35.9973	24.1537	16.8387	11.9205
0.44	537.5026	381.2976	229.2028	138.49	85.6334	54.5175	35.8	24.1031	16.7816	11.8797
0.46	542.4081	380.0389	228.4326	138.0585	85.3438	54.3362	35.6348	24.0619	16.7251	11.8384
0.48	547.1468	378.816	227.7052	137.5885	85.103	54.1855	35.4963	24.0281	16.6715	11.8041
0.5	551.7309	377.6423	227.0198	137.1765	84.8363	54.06	35.38	24.0002	16.6204	11.7644
0.6	572.678	372.406	223.8639	135.2659	83.6331	53.2515	35.019	23.4546	16.3912	11.6045
0.7	591.0078	367.9871	221.194	133.6526	82.6361	52.6128	34.4663	23.1896	16.1967	11.4629
0.8	594.1578	364.1446	218.8958	132.2612	81.7928	52.1046	34.1494	23.0533	16.0255	11.3428
0.9	588.6476	360.7666	216.8644	131.0589	81.0569	51.5723	33.8995	22.8473	15.8774	11.2377
1	583.7377	357.7562	215.0603	129.9717	80.3324	51.1669	33.5024	22.528	15.7437	11.1437
1.1	579.3089	355.0507	213.4093	128.9884	79.7385	50.7905	33.2524	22.3259	15.625	11.0594
1.2	575.2816	352.5697	211.9463	128.079	79.185	50.3876	33.09	22.1942	15.517	10.9849
1.3	571.5879	350.3084	210.5647	127.2368	78.6651	50.1159	32.9255	22.106	15.4173	10.914
1.4	568.1851	348.2233	209.3121	126.4677	78.2032	49.8202	32.6243	22.0452	15.3247	10.8464
1.5	565.0301	346.2845	208.1567	125.7801	77.7749	49.4855	32.4089	22.0024	15.2388	10.7896
1.6	562.0825	344.4762	207.0782	125.1306	77.3448	49.2419	32.2522	21.7711	15.1594	10.7303
1.7	559.3185	342.7917	206.0635	124.4933	77.0261	49.0616	32.1363	21.5859	15.087	10.6792
1.8	556.7276	341.2028	205.1045	123.955	76.6108	48.8109	32.0492	21.4457	15.0164	10.6283
1.9	554.2833	339.7023	204.1966	123.3732	76.2764	48.545	31.9277	21.3381	14.9489	10.5835
2	551.9797	338.2854	203.3378	122.8862	76.0171	48.3385	31.7106	21.2547	14.889	10.5368
2.1	549.7813	336.9531	202.5279	122.3701	75.6578	48.1763	31.5395	21.1893	14.828	10.5002
2.2	547.6956	335.6638	201.7688	121.942	75.3607	48.0478	31.4034	21.1374	14.772	10.4551
2.3	545.71	334.4447	201.0508	121.4616	75.1225	47.8553	31.2942	21.0959	14.7189	10.4188
2.4	543.8164	333.2854	200.3319	121.0726	74.8697	47.6366	31.2058	21.0624	14.6669	10.3835
2.5	542.0084	332.1776	199.6647	120.6407	74.5777	47.4578	31.1337	21.0351	14.6188	10.3461
2.6	540.2622	331.1154	199.0442	120.2571	74.3372	47.3105	31.0745	21.0127	14.5714	10.3152
2.7	538.5919	330.0941	198.4063	119.9104	74.1379	47.1884	31.0254	20.9476	14.5262	10.2838
2.8	536.9984	329.1102	197.8281	119.5196	73.9467	47.0866	30.9314	20.8088	14.4842	10.2504
2.9	535.4439	328.1613	197.2522	119.1912	73.6851	47.0011	30.7786	20.6918	14.4406	10.2222
3	533.9652	327.2458	196.7032	118.8727	73.464	46.8094	30.6493	20.5927	14.4038	10.1976
3.1	532.5197	326.3625	196.1796	118.5245	73.276	46.6448	30.5392	20.5084	14.362	10.1658
3.2	531.1379	325.511	195.6609	118.2269	73.1155	46.504	30.4452	20.4362	14.325	10.1386
3.3	529.7944	324.6915	195.1744	117.958	72.958	46.3831	30.3644	20.3743	14.2908	10.1152
3.4	528.4915	323.9044	194.6891	117.6316	72.7337	46.279	30.2948	20.3209	14.253	10.0923
3.5	527.2357	323.1304	194.2281	117.349	72.5394	46.1888	30.2345	20.2746	14.2202	10.0647
3.6	526.0219	322.3735	193.7806	117.1033	72.3704	46.1104	30.1821	20.2344	14.1886	10.0406
3.7	524.8317	321.648	193.3362	116.8347	72.223	46.0421	30.1365	20.1994	14.1541	10.0197
3.8	523.6768	320.9557	192.9324	116.5552	72.0939	45.9512	30.0965	20.1687	14.1239	10.0014
3.9	522.5562	320.2584	192.4969	116.3095	71.9627	45.8069	30.0614	20.1417	14.0964	9.9765

Propiedades AISI 8630

Temperatura (°C)	% peso - FERRITA	% peso - AUSTENITA	% peso - M ₂₃ C ₆	% peso - M(C,N)	% peso - CEMENTITA	Modulo de Young (GPa)- FERRITA	Modulo de Young (GPa)- AUSTENITA	Modulo de Young (GPa)- M(C,N)
1300	-	100	-	-	-	-	77.84271	-
1290	-	100	-	-	-	-	78.88166	-
1280	-	100	-	-	-	-	79.91922	-
1270	-	100	-	-	-	-	80.9554	-
1260	-	100	-	-	-	-	81.9902	-
1250	-	100	-	-	-	-	83.02362	-
1240	-	100	-	-	-	-	84.05565	-
1230	-	100	-	-	-	-	85.08631	-
1220	-	100	-	-	-	-	86.11558	-
1210	-	100	-	-	-	-	87.14347	-
1200	-	100	-	-	-	-	88.16998	-
1190	-	100	-	-	-	-	89.1951	-
1180	-	100	-	-	-	-	90.21884	-
1170	-	100	-	-	-	-	91.24121	-
1160	-	100	-	-	-	-	92.26219	-
1154.91	-	100	-	0	-	-	92.78147	-
1150	-	99.99834	-	0.00166755	-	-	93.28301	407.66019
1140	-	99.99512	-	0.00488543	-	-	94.30363	408.23959
1130	-	99.99213	-	0.00787456	-	-	95.32273	408.81214
1120	-	99.98935	-	0.0106485	-	-	96.34031	409.37737
1110	-	99.98678	-	0.0132202	-	-	97.35639	409.93478
1100	-	99.9844	-	0.0156026	-	-	98.37096	410.48385
1090	-	99.9822	-	0.0178079	-	-	99.38403	411.02399
1080	-	99.98016	-	0.019848	-	-	100.3956	411.55455
1070	-	99.97827	-	0.0217344	-	-	101.40569	412.07488
1060	-	99.97653	-	0.0234784	-	-	102.41429	412.58421
1050	-	99.97491	-	0.0250906	-	-	103.42141	413.08174
1040	-	99.97342	-	0.0265814	-	-	104.42706	413.56656
1030	-	99.97204	-	0.027961	-	-	105.43124	414.03772
1020	-	99.97077	-	0.029239	-	-	106.43396	414.49411
1010	-	99.96958	-	0.0304249	-	-	107.43522	414.93461
1000	-	99.96848	-	0.0315278	-	-	108.43502	415.35788
990	-	99.96745	-	0.0325569	-	-	109.43337	415.76255
980	-	99.96648	-	0.0335205	-	-	110.43027	416.147
970	-	99.96558	-	0.0344274	-	-	111.42573	416.50956
960	-	99.96472	-	0.035286	-	-	112.41975	416.84834
950	-	99.9639	-	0.0361048	-	-	113.41234	417.16133
940	-	99.96311	-	0.0368922	-	-	114.40348	417.44625
930	-	99.96234	-	0.0376568	-	-	115.3932	417.70075
920	-	99.96159	-	0.0384071	-	-	116.38149	417.92216
910	-	99.96085	-	0.0391522	-	-	117.36836	418.1078
900	-	99.9601	-	0.0399012	-	-	118.35379	418.25469
890	-	99.95934	-	0.0406637	-	-	119.33781	418.35987
880	-	99.95855	-	0.0414497	-	-	120.32039	418.42026
870	-	99.95773	-	0.0422698	-	-	121.30156	418.43288
860	-	99.95687	-	0.0431351	-	-	122.28129	418.39486
850	-	99.95594	-	0.0440571	-	-	123.2596	418.30369
840	-	99.95495	-	0.0450482	-	-	124.23648	418.15728
830	-	99.95388	-	0.046121	-	-	125.21191	417.95433
820	-	99.95271	-	0.0472882	-	-	126.1859	417.69437
810	-	99.95144	-	0.0485632	-	-	127.15843	417.37795
800	-	99.95004	-	0.0499591	-	-	128.12949	417.00677
790	-	99.94851	-	0.0514892	-	-	129.09906	416.5834
780	-	99.94683	-	0.0531663	-	-	130.06713	416.11161
776.3	0	99.94618	-	0.0538263	-	-	130.42452	415.92564
770	6.41111	93.53337	-	0.055525	-	132.37758	131.19672	415.39194
760	15.98141	83.95988	-	0.0587051	-	133.94877	132.4402	414.37288
750	24.69094	75.24649	-	0.0625691	-	135.51062	133.70538	413.15377
749.62	25.0071	74.93016	7.83E-06	0.062732	-	135.56986	133.754	413.1032
740	38.98223	60.14232	0.8146	0.0608433	-	136.95888	134.85169	414.66348
730	51.74482	46.55393	1.64195	0.0593076	-	138.41958	136.02024	416.02098
720	62.80835	34.67434	2.45915	0.0581598	-	139.89438	137.20607	417.14924
710	72.38285	24.28755	3.27227	0.0573398	-	141.37878	138.3971	418.10033
705.18	76.51876	19.76381	3.66039	0.0570399	0	142.09672	138.96974	418.51125
700	83.31526	12.40937	3.52241	0.0566428	0.69633	142.89748	139.51825	419.04725
690	92.56964	2.41592	3.38519	0.0562925	1.57296	144.41957	140.56612	419.80523
686.66	94.81328	0	3.36446	0.0562416	1.76602	144.92184	-	420.01104
680	94.79662	-	3.40315	0.0564126	1.74382	145.90488	-	420.22808

Propiedades AISI 8630 (continuación)

Temperatura (°C)	% peso - FERRITA	% peso - AUSTENITA	% peso - M ₂₃ C ₆	% peso - M(C,N)	% peso - CEMENTITA	Modulo de Young (GPa)- FERRITA	Modulo de Young (GPa)- AUSTENITA	Modulo de Young (GPa)- M(C,N)
670	94.77468	-	3.45197	0.056656	1.71669	147.37417	-	420.56131
660	94.75609	-	3.49078	0.0568829	1.69625	148.83576	-	420.90355
650	94.74051	-	3.52064	0.057093	1.68176	150.28918	-	421.25464
640	94.72764	-	3.54251	0.0572862	1.67256	151.73395	-	421.61428
630	94.71721	-	3.55727	0.0574624	1.66806	153.16961	-	421.98208
620	94.70897	-	3.56566	0.0576218	1.66774	154.5957	-	422.35759
610	94.70271	-	3.56838	0.0577647	1.67115	156.01178	-	422.74031
600	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	157.4174	-	423.12968
590	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	158.81847	-	423.54241
580	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	160.20736	-	423.95514
570	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	161.58369	-	424.36787
560	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	162.94709	-	424.7806
550	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	164.2972	-	425.19334
540	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	165.63363	-	425.60607
530	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	166.95602	-	426.0188
520	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	168.26402	-	426.43153
510	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	169.55727	-	426.84426
500	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	170.8354	-	427.25699
490	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	172.09807	-	427.66973
480	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	173.34493	-	428.08246
470	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	174.57564	-	428.49519
460	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	175.78986	-	428.90792
450	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	176.98727	-	429.32065
440	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	178.16753	-	429.73338
430	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	179.33032	-	430.14611
420	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	180.47533	-	430.55885
410	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	181.60225	-	430.97158
400	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	182.71078	-	431.38431
390	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	183.80064	-	431.79704
380	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	184.87152	-	432.20977
370	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	185.92317	-	432.6225
360	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	186.95532	-	433.03523
350	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	187.96771	-	433.44797
340	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	188.9601	-	433.8607
330	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	189.93226	-	434.27343
320	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	190.88398	-	434.68616
310	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	191.81504	-	435.09889
300	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	192.72527	-	435.51162
290	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	193.61451	-	435.92435
280	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	194.48259	-	436.33709
270	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	195.32939	-	436.74982
260	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	196.1548	-	437.16255
250	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	196.95875	-	437.57528
240	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	197.74118	-	437.98801
230	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	198.50206	-	438.40074
220	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	199.24141	-	438.81348
210	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	199.95927	-	439.22621
200	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	200.65572	-	439.63894
190	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	201.3309	-	440.05167
180	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	201.98499	-	440.4644
170	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	202.61822	-	440.87713
160	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	203.23089	-	441.28986
150	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	203.82336	-	441.7026
140	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	204.39608	-	442.11533
130	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	204.94957	-	442.52806
120	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	205.48447	-	442.94079
110	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	206.00151	-	443.35352
100	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	206.50155	-	443.76625
90	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	206.98559	-	444.17898
80	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	207.45481	-	444.59172
70	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	207.91056	-	445.00445
60	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	208.3544	-	445.41718
50	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	208.78816	-	445.82991
40	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	209.21393	-	446.24264
30	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	209.63415	-	446.65537
25	94.69821	-	3.56604	0.0578914	1.67786	209.84305	-	446.86174

Propiedades AISI 8630 (continuación)

Temperatura (°C)	Modulo de Young (GPa)- CEMENTITA	Modulo de Young (GPa)- M ₂₃ C ₆	Modulo de Young (GPa)- TOTAL	Coefficiente de Poisson FERRITA	Coefficiente de Poisson AUSTENITA	Coefficiente de Poisson M(C,N)	Coefficiente de Poisson CEMENTITA	Coefficiente de Poisson M ₂₃ C ₆	Coefficiente de Poisson TOTAL
1300	-	-	77.84271	-	0.36793	-	-	-	0.36793
1290	-	-	78.88166	-	0.36734	-	-	-	0.36734
1280	-	-	79.91922	-	0.36676	-	-	-	0.36676
1270	-	-	80.9554	-	0.36618	-	-	-	0.36618
1260	-	-	81.9902	-	0.3656	-	-	-	0.3656
1250	-	-	83.02362	-	0.36502	-	-	-	0.36502
1240	-	-	84.05565	-	0.36443	-	-	-	0.36443
1230	-	-	85.08631	-	0.36385	-	-	-	0.36385
1220	-	-	86.11558	-	0.36327	-	-	-	0.36327
1210	-	-	87.14347	-	0.36269	-	-	-	0.36269
1200	-	-	88.16998	-	0.36211	-	-	-	0.36211
1190	-	-	89.1951	-	0.36153	-	-	-	0.36153
1180	-	-	90.21884	-	0.36094	-	-	-	0.36094
1170	-	-	91.24121	-	0.36036	-	-	-	0.36036
1160	-	-	92.26219	-	0.35978	-	-	-	0.35978
1154.91	-	-	92.78147	-	0.35948	-	-	-	0.35948
1150	-	-	93.28718	-	0.3592	0.24317	-	-	0.3592
1140	-	-	94.3159	-	0.35862	0.24308	-	-	0.35861
1130	-	-	95.34261	-	0.35804	0.24299	-	-	0.35803
1120	-	-	96.36733	-	0.35746	0.2429	-	-	0.35744
1110	-	-	97.39009	-	0.35688	0.24281	-	-	0.35686
1100	-	-	98.41092	-	0.3563	0.24272	-	-	0.35628
1090	-	-	99.42984	-	0.35572	0.24264	-	-	0.35569
1080	-	-	100.44689	-	0.35514	0.24256	-	-	0.35511
1070	-	-	101.46209	-	0.35456	0.24248	-	-	0.35453
1060	-	-	102.47546	-	0.35398	0.2424	-	-	0.35394
1050	-	-	103.48704	-	0.3534	0.24232	-	-	0.35336
1040	-	-	104.49685	-	0.35282	0.24225	-	-	0.35278
1030	-	-	105.50492	-	0.35224	0.24217	-	-	0.35219
1020	-	-	106.51126	-	0.35166	0.2421	-	-	0.35161
1010	-	-	107.51591	-	0.35108	0.24203	-	-	0.35103
1000	-	-	108.51888	-	0.3505	0.24196	-	-	0.35044
990	-	-	109.52021	-	0.34992	0.2419	-	-	0.34986
980	-	-	110.51991	-	0.34934	0.24184	-	-	0.34928
970	-	-	111.51801	-	0.34876	0.24178	-	-	0.3487
960	-	-	112.51452	-	0.34818	0.24172	-	-	0.34811
950	-	-	113.50948	-	0.34759	0.24166	-	-	0.34753
940	-	-	114.50289	-	0.34701	0.24161	-	-	0.34695
930	-	-	115.49479	-	0.34643	0.24156	-	-	0.34637
920	-	-	116.48519	-	0.34585	0.24151	-	-	0.34579
910	-	-	117.47411	-	0.34527	0.24146	-	-	0.3452
900	-	-	118.46157	-	0.34469	0.24142	-	-	0.34462
890	-	-	119.4476	-	0.34411	0.24138	-	-	0.34404
880	-	-	120.43221	-	0.34352	0.24134	-	-	0.34346
870	-	-	121.41543	-	0.34294	0.24131	-	-	0.34287
860	-	-	122.39727	-	0.34236	0.24128	-	-	0.34229
850	-	-	123.37775	-	0.34178	0.24126	-	-	0.34171
840	-	-	124.35689	-	0.3412	0.24123	-	-	0.34113
830	-	-	125.33471	-	0.34062	0.24122	-	-	0.34055
820	-	-	126.31121	-	0.34004	0.2412	-	-	0.33996
810	-	-	127.28641	-	0.33946	0.24119	-	-	0.33938
800	-	-	128.26031	-	0.33887	0.24119	-	-	0.3388
790	-	-	129.23292	-	0.33829	0.24119	-	-	0.33822
780	-	-	130.20422	-	0.33771	0.24119	-	-	0.33764
776.3	-	-	130.56286	-	0.3375	0.24119	-	-	0.33742
770	-	-	131.50021	0.31958	0.33704	0.24116	-	-	0.33583
760	-	-	132.96546	0.31922	0.33628	0.24113	-	-	0.33345
750	-	-	134.43584	0.31886	0.3355	0.24111	-	-	0.33128
749.62	-	210.59512	134.49225	0.31885	0.33547	0.24111	-	0.23999	0.3312
740	-	209.2184	136.48824	0.31851	0.33483	0.24092	-	0.23998	0.32758
730	-	207.65321	138.56477	0.31814	0.33414	0.24076	-	0.23998	0.32419
720	-	206.03036	140.65687	0.31777	0.33344	0.24063	-	0.23998	0.32117
710	-	204.47029	142.76785	0.31739	0.33274	0.24053	-	0.23997	0.31847
705.18	-	203.78272	143.79116	0.31721	0.3324	0.24049	-	0.23997	0.31726
700	180.56167	204.16447	144.99044	0.31702	0.33213	0.24047	0.26914	0.23996	0.31573
690	181.05447	205.02749	147.16116	0.31666	0.3316	0.24045	0.26916	0.23995	0.31356
686.66	181.25866	205.34134	147.8472	0.31654	-	0.24044	0.26918	0.23995	0.31301
680	181.68674	206.01457	148.83167	0.31628	-	0.24043	0.26922	0.23995	0.31275

Propiedades AISI 8630 (continuación)

Temperatura (°C)	Modulo de Young (GPa)- CEMENTITA	Modulo de Young (GPa)- M ₂₃ C ₆	Modulo de Young (GPa)- TOTAL	Coefficiente de Poisson - FERRITA	Coefficiente de Poisson - AUSTENITA	Coefficiente de Poisson - M(C,N)	Coefficiente de Poisson - CEMENTITA	Coefficiente de Poisson - M ₂₃ C ₆	Coefficiente de Poisson - TOTAL
670	182.3356	207.03246	150.30029	0.31588	-	0.24041	0.26929	0.23995	0.31235
660	182.99189	208.05893	151.75819	0.31549	-	0.24039	0.26935	0.23995	0.31196
650	183.65528	209.09354	153.20522	0.31509	-	0.24037	0.26941	0.23995	0.31157
640	184.32545	210.13584	154.64122	0.3147	-	0.24036	0.26946	0.23994	0.31118
630	185.00206	211.18543	156.06599	0.3143	-	0.24034	0.26951	0.23994	0.3108
620	185.68478	212.2419	157.47932	0.31391	-	0.24032	0.26956	0.23994	0.31042
610	186.37324	213.30489	158.88098	0.31351	-	0.2403	0.2696	0.23994	0.31004
600	187.06711	214.37402	160.27073	0.31312	-	0.24028	0.26964	0.23994	0.30967
590	187.56711	214.87579	161.63494	0.31272	-	0.24028	0.26964	0.23994	0.30929
580	188.06711	215.37752	162.98712	0.31233	-	0.24028	0.26964	0.23994	0.30892
570	188.56711	215.87921	164.32692	0.31193	-	0.24028	0.26964	0.23994	0.30854
560	189.06711	216.38086	165.65401	0.31154	-	0.24028	0.26964	0.23994	0.30817
550	189.56711	216.88247	166.96803	0.31114	-	0.24028	0.26964	0.23994	0.3078
540	190.06711	217.38404	168.26866	0.31074	-	0.24028	0.26964	0.23994	0.30742
530	190.56711	217.88558	169.55556	0.31035	-	0.24028	0.26964	0.23994	0.30705
520	191.06711	218.38707	170.8284	0.30995	-	0.24028	0.26964	0.23994	0.30667
510	191.56711	218.88853	172.08685	0.30956	-	0.24027	0.26964	0.23994	0.3063
500	192.06711	219.38995	173.33059	0.30916	-	0.24027	0.26964	0.23994	0.30592
490	192.56711	219.89133	174.5593	0.30876	-	0.24027	0.26964	0.23994	0.30555
480	193.06711	220.39268	175.77265	0.30837	-	0.24027	0.26964	0.23994	0.30517
470	193.56711	220.89398	176.97034	0.30797	-	0.24027	0.26964	0.23994	0.3048
460	194.06711	221.39525	178.15205	0.30758	-	0.24027	0.26964	0.23994	0.30442
450	194.56711	221.89647	179.3175	0.30718	-	0.24027	0.26964	0.23994	0.30405
440	195.06711	222.39766	180.46636	0.30678	-	0.24027	0.26964	0.23994	0.30368
430	195.56711	222.89881	181.59836	0.30639	-	0.24027	0.26964	0.23994	0.3033
420	196.06711	223.39992	182.7132	0.30599	-	0.24026	0.26964	0.23994	0.30293
410	196.56711	223.901	183.8106	0.3056	-	0.24026	0.26964	0.23994	0.30255
400	197.06711	224.40203	184.89029	0.3052	-	0.24026	0.26964	0.23994	0.30218
390	197.56711	224.90303	185.952	0.3048	-	0.24026	0.26964	0.23994	0.3018
380	198.06711	225.40399	186.99547	0.30441	-	0.24026	0.26964	0.23994	0.30143
370	198.56711	225.9049	188.02046	0.30401	-	0.24026	0.26964	0.23994	0.30105
360	199.06711	226.40579	189.02671	0.30362	-	0.24026	0.26964	0.23994	0.30068
350	199.56711	226.90663	190.01399	0.30322	-	0.24026	0.26964	0.23994	0.30031
340	200.06711	227.40743	190.98209	0.30282	-	0.24026	0.26964	0.23994	0.29993
330	200.56711	227.9082	191.9308	0.30243	-	0.24026	0.26964	0.23994	0.29956
320	201.06711	228.40892	192.85991	0.30203	-	0.24025	0.26964	0.23994	0.29918
310	201.56711	228.90961	193.76924	0.30164	-	0.24025	0.26964	0.23994	0.29881
300	202.06711	229.41026	194.65863	0.30124	-	0.24025	0.26964	0.23994	0.29843
290	202.56711	229.91087	195.52792	0.30084	-	0.24025	0.26964	0.23994	0.29806
280	203.06711	230.41145	196.37699	0.30045	-	0.24025	0.26964	0.23994	0.29768
270	203.56711	230.91198	197.2057	0.30005	-	0.24025	0.26964	0.23994	0.29731
260	204.06711	231.41248	198.01397	0.29966	-	0.24025	0.26964	0.23994	0.29694
250	204.56711	231.91293	198.80173	0.29926	-	0.24025	0.26964	0.23994	0.29656
240	205.06711	232.41335	199.56893	0.29886	-	0.24025	0.26964	0.23994	0.29619
230	205.56711	232.91373	200.31556	0.29847	-	0.24025	0.26964	0.23994	0.29581
220	206.06711	233.41407	201.04163	0.29807	-	0.24024	0.26964	0.23994	0.29544
210	206.56711	233.91438	201.74719	0.29768	-	0.24024	0.26964	0.23994	0.29506
200	207.06711	234.41464	202.43232	0.29728	-	0.24024	0.26964	0.23994	0.29469
190	207.56711	234.91487	203.09715	0.29689	-	0.24024	0.26964	0.23994	0.29432
180	208.06711	235.41506	203.74187	0.29649	-	0.24024	0.26964	0.23994	0.29394
170	208.56711	235.9152	204.36669	0.29609	-	0.24024	0.26964	0.23994	0.29357
160	209.06711	236.41532	204.9719	0.2957	-	0.24024	0.26964	0.23994	0.29319
150	209.56711	236.91539	205.55786	0.2953	-	0.24024	0.26964	0.23994	0.29282
140	210.06711	237.41542	206.12498	0.29491	-	0.24024	0.26964	0.23994	0.29244
130	210.56711	237.91542	206.67378	0.29451	-	0.24023	0.26964	0.23994	0.29207
120	211.06711	238.41537	207.20484	0.29411	-	0.24023	0.26964	0.23994	0.2917
110	211.56711	238.91529	207.71888	0.29372	-	0.24023	0.26964	0.23994	0.29132
100	212.06711	239.41517	208.21672	0.29332	-	0.24023	0.26964	0.23994	0.29095
90	212.56711	239.91501	208.69932	0.29293	-	0.24023	0.26964	0.23994	0.29057
80	213.06711	240.41482	209.16778	0.29253	-	0.24023	0.26964	0.23994	0.2902
70	213.56711	240.91458	209.6234	0.29214	-	0.24023	0.26964	0.23994	0.28982
60	214.06711	241.41431	210.06766	0.29174	-	0.24023	0.26964	0.23994	0.28945
50	214.56711	241.91399	210.50231	0.29134	-	0.24023	0.26964	0.23994	0.28908
40	215.06711	242.41364	210.92934	0.29095	-	0.24023	0.26964	0.23994	0.2887
30	215.56711	242.91325	211.35106	0.29055	-	0.24022	0.26964	0.23994	0.28833
25	215.81711	243.16304	211.56076	0.29035	-	0.24022	0.26964	0.23994	0.28814

Propiedades AISI 8630 (continuación)

Temperatura (°C)	Expansión térmica	Conductividad térmica (W/(m*K))- FERRITA	Conductividad térmica (W/(m*K))- AUSTENITA	Conductividad térmica (W/(m*K))- M(C,N)	Conductividad térmica (W/(m*K))- CEMENTITA	Conductividad térmica (W/(m*K))- M ₂₃ C ₆	Conductividad térmica (W/(m*K))- TOTAL	Densidad (g/(cm) ³)- FERRITA
1300	0.00001652763	-	32.28861	-	-	-	32.28861	-
1290	0.00001646252	-	32.1674	-	-	-	32.1674	-
1280	0.00001639649	-	32.04619	-	-	-	32.04619	-
1270	0.00001632951	-	31.92497	-	-	-	31.92497	-
1260	0.00001626157	-	31.80375	-	-	-	31.80375	-
1250	0.00001619263	-	31.68252	-	-	-	31.68252	-
1240	0.00001612268	-	31.56128	-	-	-	31.56128	-
1230	0.00001605168	-	31.44005	-	-	-	31.44005	-
1220	0.00001597961	-	31.3188	-	-	-	31.3188	-
1210	0.00001590644	-	31.19756	-	-	-	31.19756	-
1200	0.00001583215	-	31.0763	-	-	-	31.0763	-
1190	0.00001575670	-	30.95504	-	-	-	30.95504	-
1180	0.00001568005	-	30.83378	-	-	-	30.83378	-
1170	0.00001560219	-	30.71251	-	-	-	30.71251	-
1160	0.00001552308	-	30.59124	-	-	-	30.59124	-
1154.91	0.00001548232	-	30.52949	-	-	-	30.52949	-
1150	0.00001544194	-	30.4702	20.80719	-	-	30.46986	-
1140	0.00001535875	-	30.34939	20.70134	-	-	30.34838	-
1130	0.00001527425	-	30.22853	20.59594	-	-	30.22691	-
1120	0.00001518841	-	30.10764	20.491	-	-	30.10545	-
1110	0.00001510119	-	29.98672	20.38653	-	-	29.98399	-
1100	0.00001501254	-	29.86576	20.28255	-	-	29.86255	-
1090	0.00001492241	-	29.74477	20.17906	-	-	29.74111	-
1080	0.00001483077	-	29.62375	20.07608	-	-	29.61967	-
1070	0.00001473756	-	29.5027	19.97365	-	-	29.49825	-
1060	0.00001464273	-	29.38163	19.87181	-	-	29.37682	-
1050	0.00001454623	-	29.26053	19.77059	-	-	29.25541	-
1040	0.00001444800	-	29.13941	19.67007	-	-	29.13399	-
1030	0.00001434800	-	29.01826	19.57032	-	-	29.01258	-
1020	0.00001424616	-	28.8971	19.47144	-	-	28.89117	-
1010	0.00001414241	-	28.77592	19.37358	-	-	28.76976	-
1000	0.00001403671	-	28.65472	19.2769	-	-	28.64836	-
990	0.00001392896	-	28.53351	19.18162	-	-	28.52696	-
980	0.00001381913	-	28.41227	19.08799	-	-	28.40555	-
970	0.00001370713	-	28.29103	18.99635	-	-	28.28415	-
960	0.00001359289	-	28.16977	18.9071	-	-	28.16276	-
950	0.00001347632	-	28.04851	18.82072	-	-	28.04136	-
940	0.00001335735	-	27.92723	18.7378	-	-	27.91997	-
930	0.00001323589	-	27.80594	18.65901	-	-	27.79858	-
920	0.00001311187	-	27.68465	18.58517	-	-	27.67719	-
910	0.00001298517	-	27.56335	18.51719	-	-	27.55581	-
900	0.00001285572	-	27.44204	18.45611	-	-	27.43444	-
890	0.00001272340	-	27.32073	18.40308	-	-	27.31307	-
880	0.00001258811	-	27.19943	18.35937	-	-	27.19172	-
870	0.00001244973	-	27.07812	18.32629	-	-	27.07038	-
860	0.00001230816	-	26.95681	18.30525	-	-	26.94905	-
850	0.00001216326	-	26.83552	18.29763	-	-	26.82775	-
840	0.00001201492	-	26.71423	18.30485	-	-	26.70647	-
830	0.00001186299	-	26.59295	18.32824	-	-	26.58521	-
820	0.00001170734	-	26.47169	18.36907	-	-	26.464	-
810	0.00001154779	-	26.35046	18.42858	-	-	26.34282	-
800	0.00001138422	-	26.22924	18.50789	-	-	26.22169	-
790	0.00001121642	-	26.10806	18.60813	-	-	26.10061	-
780	0.00001104426	-	25.98692	18.73037	-	-	25.9796	-
776.3	0.00001097949	-	25.94217	18.78135	-	-	25.93489	-
770	0.00001124606	31.22685	25.85702	18.9651	-	-	26.15187	7.5771
760	0.00001165850	31.38717	25.71791	19.32146	-	-	26.50518	7.58452
750	0.00001204727	31.55663	25.57412	19.76266	-	-	26.86383	7.59083
749.62	0.00001206166	31.5633	25.56856	19.78131	-	20.69159	26.87767	7.59106
740	0.00001269871	31.85929	25.44519	19.30623	-	20.29347	27.60104	7.59634
730	0.00001328216	32.15039	25.30094	18.86322	-	19.85311	28.36457	7.60129
720	0.00001377884	32.42316	25.14148	18.47612	-	19.39692	29.12592	7.60608
710	0.00001419136	32.67501	24.96774	18.14331	-	18.94214	29.87122	7.61084
705.18	0.00001436141	32.78775	24.87904	18.00019	-	18.72931	30.21987	7.61313
700	0.00001459153	32.84714	24.76444	17.92931	16.69649	18.6637	30.75432	7.61615
690	0.00001488989	32.94165	24.53802	17.79597	16.48177	18.54997	31.55052	7.62129
686.66	0.00001495764	32.97024	-	17.75084	16.41555	18.51477	31.76157	7.62288
680	0.00001492913	33.13392	-	17.66983	16.33055	18.47183	31.89906	7.62554

Propiedades AISI 8630 (continuación)

Temperatura (°C)	Expansión térmica	Conductividad ad térmica (W/(m*K))- FERRITA	Conductividad ad térmica (W/(m*K))- AUSTENITA	Conductividad ad térmica (W/(m*K))- M(C,N)	Conductividad ad térmica (W/(m*K))- CEMENTITA	Conductividad ad térmica (W/(m*K))- M ₂₃ C ₆	Conductividad ad térmica (W/(m*K))- TOTAL	Densidad (g/(cm ³))- FERRITA
670	0.00001488620	33.38637	-	17.54731	16.20324	18.40826	32.11144	7.62953
660	0.00001484311	33.64687	-	17.42368	16.07617	18.34568	32.33093	7.63351
650	0.00001479985	33.91532	-	17.29893	15.94926	18.28404	32.55739	7.63749
640	0.00001475642	34.19162	-	17.1731	15.82244	18.22329	32.79068	7.64146
630	0.00001471282	34.47566	-	17.04625	15.69563	18.1634	33.03064	7.64542
620	0.00001466903	34.76735	-	16.91842	15.56878	18.10434	33.27715	7.64938
610	0.00001462506	35.06659	-	16.78969	15.4418	18.04608	33.53007	7.65332
600	0.00001458088	35.37327	-	16.66013	15.31464	17.98861	33.78927	7.65726
590	0.00001454429	35.63217	-	16.54016	15.19464	17.86864	34.00241	7.66099
580	0.00001450771	35.89488	-	16.42019	15.07464	17.74867	34.21839	7.66471
570	0.00001447115	36.16109	-	16.30023	14.95464	17.62871	34.4369	7.66842
560	0.00001443460	36.43047	-	16.18026	14.83464	17.50874	34.65766	7.67211
550	0.00001439807	36.70268	-	16.0603	14.71464	17.38877	34.88033	7.67579
540	0.00001436155	36.97736	-	15.94033	14.59464	17.2688	35.10461	7.67946
530	0.00001432504	37.25416	-	15.82037	14.47464	17.14883	35.33016	7.68312
520	0.00001428855	37.5327	-	15.7004	14.35464	17.02886	35.55665	7.68676
510	0.00001425207	37.8126	-	15.58044	14.23464	16.9089	35.78375	7.69038
500	0.00001421561	38.09349	-	15.46048	14.11464	16.78893	36.0111	7.694
490	0.00001417916	38.37496	-	15.34052	13.99464	16.66896	36.23837	7.6976
480	0.00001414272	38.65663	-	15.22056	13.87464	16.54899	36.46519	7.70119
470	0.00001410630	38.93807	-	15.10059	13.75464	16.42902	36.69121	7.70476
460	0.00001406989	39.21889	-	14.98063	13.63464	16.30905	36.91608	7.70832
450	0.00001403350	39.49867	-	14.86068	13.51464	16.18909	37.13943	7.71187
440	0.00001399712	39.77699	-	14.74072	13.39464	16.06912	37.3609	7.7154
430	0.00001396075	40.05344	-	14.62076	13.27464	15.94915	37.58012	7.71892
420	0.00001392440	40.32758	-	14.5008	13.15464	15.82918	37.79675	7.72243
410	0.00001388806	40.599	-	14.38085	13.03464	15.70921	38.0104	7.72592
400	0.00001385174	40.86726	-	14.26089	12.91464	15.58925	38.22073	7.7294
390	0.00001381543	41.13196	-	14.14094	12.79464	15.46928	38.42737	7.73286
380	0.00001377913	41.39265	-	14.02098	12.67464	15.34931	38.62996	7.73632
370	0.00001374285	41.64893	-	13.90103	12.55464	15.22934	38.82815	7.73975
360	0.00001370659	41.90036	-	13.78108	12.43464	15.10937	39.02159	7.74318
350	0.00001367033	42.14655	-	13.66113	12.31464	14.9894	39.20992	7.74659
340	0.00001363409	42.38706	-	13.54118	12.19464	14.86944	39.39282	7.74998
330	0.00001359787	42.6215	-	13.42123	12.07464	14.74947	39.56993	7.75336
320	0.00001356166	42.84946	-	13.30128	11.95464	14.6295	39.74093	7.75673
310	0.00001352546	43.07055	-	13.18134	11.83464	14.50953	39.9055	7.76009
300	0.00001348928	43.28438	-	13.06139	11.71464	14.38956	40.06332	7.76343
290	0.00001345311	43.49057	-	12.94145	11.59464	14.26959	40.21407	7.76675
280	0.00001341696	43.68874	-	12.82151	11.47464	14.14963	40.35745	7.77006
270	0.00001338082	43.87854	-	12.70157	11.35464	14.02966	40.49318	7.77336
260	0.00001334469	44.05961	-	12.58163	11.23464	13.90969	40.62096	7.77664
250	0.00001330858	44.2316	-	12.4617	11.11464	13.78972	40.74052	7.77991
240	0.00001327248	44.39419	-	12.34176	10.99464	13.66975	40.8516	7.78317
230	0.00001323640	44.54706	-	12.22183	10.87464	13.54979	40.95393	7.78641
220	0.00001320033	44.68988	-	12.1019	10.75464	13.42982	41.04729	7.78963
210	0.00001316427	44.82239	-	11.98197	10.63464	13.30985	41.13143	7.79284
200	0.00001312823	44.94428	-	11.86205	10.51464	13.18988	41.20614	7.79604
190	0.00001309220	45.05529	-	11.74212	10.39464	13.06991	41.2712	7.79922
180	0.00001305619	45.15517	-	11.6222	10.27464	12.94994	41.32643	7.80239
170	0.00001302019	45.24367	-	11.50228	10.15464	12.82998	41.37162	7.80554
160	0.00001298420	45.32058	-	11.38237	10.03464	12.71001	41.40663	7.80868
150	0.00001294823	45.38569	-	11.26246	9.91464	12.59004	41.43128	7.81181
140	0.00001291227	45.4388	-	11.14255	9.79464	12.47007	41.44543	7.81492
130	0.00001287633	45.47973	-	11.02265	9.67464	12.3501	41.44896	7.81801
120	0.00001284040	45.50833	-	10.90275	9.55464	12.23014	41.44173	7.82109
110	0.00001280448	45.52444	-	10.78285	9.43464	12.11017	41.42366	7.82416
100	0.00001276858	45.52795	-	10.66296	9.31464	11.9902	41.39465	7.82721
90	0.00001273270	45.51874	-	10.54308	9.19464	11.87023	41.35462	7.83024
80	0.00001269682	45.49672	-	10.4232	9.07464	11.75026	41.30351	7.83326
70	0.00001266096	45.46181	-	10.30332	8.95464	11.63029	41.24128	7.83627
60	0.00001262512	45.41395	-	10.18346	8.83464	11.51033	41.16788	7.83926
50	0.00001258929	45.35309	-	10.0636	8.71464	11.39036	41.0833	7.84224
40	0.00001255347	45.2792	-	9.94375	8.59464	11.27039	40.98753	7.8452
30	0.00001251766	45.19229	-	9.8239	8.47464	11.15042	40.88058	7.84814
25	0	45.14394	-	9.76399	8.41464	11.09044	40.82291	7.84961

Propiedades AISI 8630 (continuación)

Temperatura (°C)	Densidad (g/(cm) ³)-AUSTENITA	Densidad (g/(cm) ³)-M(C,N)	Densidad (g/(cm) ³)-CEMENTITE	Densidad (g/(cm) ³)-M ₂₃ C ₆	Densidad (g/(cm) ³)-TOTAL	Calor específico (J/(g K))-TOTAL	Calor Latente (J/g) - Ferrita	Calor Latente (J/g) Perlita
1300	7.37409	-	-	-	7.37409	0.67385	138.74572	145.56897
1290	7.37925	-	-	-	7.37925	0.67223		
1280	7.38441	-	-	-	7.38441	0.67062		
1270	7.38958	-	-	-	7.38958	0.66901		
1260	7.39474	-	-	-	7.39474	0.66739		
1250	7.39992	-	-	-	7.39992	0.66577		
1240	7.4051	-	-	-	7.4051	0.66417		
1230	7.41028	-	-	-	7.41028	0.66259		
1220	7.41546	-	-	-	7.41546	0.66101		
1210	7.42065	-	-	-	7.42065	0.65942		
1200	7.42585	-	-	-	7.42585	0.65784		
1190	7.43105	-	-	-	7.43105	0.65626		
1180	7.43625	-	-	-	7.43625	0.65468		
1170	7.44146	-	-	-	7.44146	0.6531		
1160	7.44667	-	-	-	7.44667	0.65153		
1154.91	7.44932	-	-	-	7.44932	-		
1150	7.45198	4.57242	-	-	7.4519	0.65812		
1140	7.45739	4.57547	-	-	7.45716	0.65593		
1130	7.46279	4.57865	-	-	7.46242	0.65376		
1120	7.46818	4.58196	-	-	7.46768	0.65163		
1110	7.47357	4.58542	-	-	7.47294	0.64957		
1100	7.47895	4.58904	-	-	7.47821	0.64746		
1090	7.48432	4.59283	-	-	7.48348	0.64543		
1080	7.48969	4.59682	-	-	7.48875	0.64347		
1070	7.49506	4.60102	-	-	7.49403	0.64149		
1060	7.50042	4.60546	-	-	7.49931	0.63955		
1050	7.50578	4.61016	-	-	7.50459	0.63764		
1040	7.51113	4.61514	-	-	7.50988	0.63574		
1030	7.51649	4.62044	-	-	7.51517	0.63388		
1020	7.52184	4.62608	-	-	7.52047	0.63209		
1010	7.52719	4.63212	-	-	7.52576	0.63027		
1000	7.53255	4.63858	-	-	7.53107	0.62848		
990	7.5379	4.64553	-	-	7.53637	0.62674		
980	7.54325	4.653	-	-	7.54168	0.62503		
970	7.54861	4.66107	-	-	7.547	0.6233		
960	7.55396	4.6698	-	-	7.55232	0.6216		
950	7.55932	4.67927	-	-	7.55764	0.62004		
940	7.56468	4.68957	-	-	7.56297	0.61837		
930	7.57004	4.7008	-	-	7.5683	0.6168		
920	7.57541	4.71306	-	-	7.57364	0.61518		
910	7.58077	4.72649	-	-	7.57898	0.61365		
900	7.58614	4.74122	-	-	7.58433	0.61206		
890	7.59152	4.75742	-	-	7.58968	0.61048		
880	7.5969	4.77525	-	-	7.59504	0.60893		
870	7.60228	4.79491	-	-	7.6004	0.60739		
860	7.60767	4.81661	-	-	7.60577	0.60587		
850	7.61307	4.84058	-	-	7.61114	0.60434		
840	7.61846	4.86707	-	-	7.61652	0.6028		
830	7.62387	4.89633	-	-	7.62191	0.60119		
820	7.62928	4.92864	-	-	7.6273	0.59947		
810	7.63469	4.96428	-	-	7.6327	0.59782		
800	7.64011	5.00352	-	-	7.6381	0.59678		
790	7.64554	5.04664	-	-	7.64351	0.59582		
780	7.65097	5.09392	-	-	7.64893	0.59445		
776.3	7.65298	5.1125	-	-	7.65094	-		
770	7.65514	5.16	-	-	7.64804	1.03407		
760	7.65761	5.24734	-	-	7.64377	1.05693		
750	7.65911	5.35065	-	-	7.64008	1.11725		
749.62	7.65915	5.35494	-	7.57028	7.63995	-		
740	7.66037	5.28293	-	7.56037	7.63238	1.7648		
730	7.66108	5.21785	-	7.54786	7.62604	1.71828		
720	7.66149	5.16418	-	7.5347	7.62132	1.65688		
710	7.66181	5.12223	-	7.52271	7.6181	1.58724		
705.18	7.66199	5.10591	-	7.51775	7.61705	-		
700	7.66385	5.10579	7.42158	7.52469	7.61526	1.79402		
690	7.66719	5.10635	7.42231	7.5343	7.61409	1.45065		
686.66	-	5.1064	7.42218	7.5367	7.6142	-		
680	-	5.10706	7.4227	7.53936	7.61683	0.93167		

Propiedades AISI 8630 (continuación)

Temperatura (°C)	Densidad (g/(cm) ³)-AUSTENITA	Densidad (g/(cm) ³)-M(C,N)	Densidad (g/(cm) ³)-CEMENTITE	Densidad (g/(cm) ³)-M ₂₃ C ₆	Densidad (g/(cm) ³)-TOTAL	Calor específico (J/(g K))-TOTAL
670	-	5.10783	7.42345	7.5433	7.62076	0.91318
660	-	5.10833	7.42416	7.54716	7.62468	0.89558
650	-	5.10855	7.42485	7.55097	7.62858	0.87891
640	-	5.1085	7.4255	7.55472	7.63247	0.86324
630	-	5.10818	7.42614	7.5584	7.63635	0.84841
620	-	5.10762	7.42674	7.56204	7.64022	0.83427
610	-	5.10682	7.42733	7.56563	7.64407	0.82087
600	-	5.1058	7.42789	7.56918	7.64791	0.80809
590	-	5.10698	7.43129	7.57301	7.65164	0.76719
580	-	5.10815	7.43466	7.57683	7.65535	0.7565
570	-	5.10933	7.438	7.58066	7.65906	0.74624
560	-	5.11049	7.4413	7.58449	7.66274	0.73639
550	-	5.11166	7.44457	7.58831	7.66642	0.72692
540	-	5.11282	7.44781	7.59213	7.67008	0.71779
530	-	5.11398	7.45101	7.59596	7.67373	0.70899
520	-	5.11514	7.45418	7.59978	7.67737	0.7005
510	-	5.1163	7.45732	7.6036	7.68099	0.69229
500	-	5.11745	7.46043	7.60742	7.6846	0.68434
490	-	5.11859	7.4635	7.61124	7.6882	0.67665
480	-	5.11974	7.46654	7.61505	7.69178	0.66919
470	-	5.12088	7.46955	7.61887	7.69535	0.66196
460	-	5.12202	7.47253	7.62268	7.69891	0.65493
450	-	5.12315	7.47548	7.6265	7.70245	0.6481
440	-	5.12428	7.4784	7.63031	7.70598	0.64146
430	-	5.12541	7.48129	7.63412	7.7095	0.63499
420	-	5.12654	7.48414	7.63793	7.713	0.6287
410	-	5.12766	7.48697	7.64174	7.71649	0.62256
400	-	5.12878	7.48977	7.64555	7.71997	0.61658
390	-	5.1299	7.49254	7.64935	7.72343	0.61075
380	-	5.13101	7.49528	7.65316	7.72688	0.60505
370	-	5.13212	7.49799	7.65696	7.73032	0.59949
360	-	5.13323	7.50067	7.66076	7.73374	0.59406
350	-	5.13433	7.50333	7.66457	7.73715	0.58874
340	-	5.13543	7.50595	7.66837	7.74054	0.58355
330	-	5.13653	7.50855	7.67216	7.74392	0.57846
320	-	5.13762	7.51113	7.67596	7.74729	0.57349
310	-	5.13871	7.51367	7.67976	7.75064	0.56861
300	-	5.1398	7.51619	7.68355	7.75398	0.56383
290	-	5.14089	7.51868	7.68735	7.75731	0.55915
280	-	5.14197	7.52115	7.69114	7.76062	0.55455
270	-	5.14305	7.52358	7.69493	7.76391	0.55004
260	-	5.14412	7.526	7.69872	7.7672	0.54562
250	-	5.1452	7.52839	7.7025	7.77047	0.54126
240	-	5.14627	7.53075	7.70629	7.77372	0.53699
230	-	5.14733	7.53309	7.71007	7.77696	0.53278
220	-	5.1484	7.5354	7.71386	7.78019	0.52863
210	-	5.14946	7.53769	7.71764	7.7834	0.52454
200	-	5.15051	7.53996	7.72142	7.7866	0.52051
190	-	5.15157	7.5422	7.7252	7.78979	0.51653
180	-	5.15262	7.54442	7.72898	7.79296	0.51259
170	-	5.15367	7.54662	7.73275	7.79612	0.5087
160	-	5.15471	7.54879	7.73653	7.79926	0.50484
150	-	5.15575	7.55095	7.7403	7.80239	0.501
140	-	5.15679	7.55308	7.74407	7.8055	0.49719
130	-	5.15783	7.55518	7.74784	7.8086	0.4934
120	-	5.15886	7.55727	7.75161	7.81168	0.48961
110	-	5.15989	7.55934	7.75537	7.81476	0.48582
100	-	5.16091	7.56138	7.75914	7.81781	0.48202
90	-	5.16194	7.56341	7.7629	7.82085	0.47821
80	-	5.16296	7.56541	7.76666	7.82388	0.47436
70	-	5.16398	7.5674	7.77042	7.82689	0.47047
60	-	5.16499	7.56936	7.77418	7.82989	0.46652
50	-	5.166	7.57131	7.77794	7.83288	0.46249
40	-	5.16701	7.57324	7.78169	7.83584	0.45838
30	-	5.16801	7.57514	7.78545	7.8388	0.45414
25	-	5.16852	7.57609	7.78732	7.84027	0.45198

Propiedades AISI 8630 (continuación)

Esfuerzo de cedencia (MPa) de Austenita a velocidad de deformación fija de: 0.001											
Temperatura	25 °C	50 °C	100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C	400 °C	450 °C	500 °C
0	409.7142	373.7433	322.1356	287.3913	262.8664	245.0283	231.8395	222.0413	214.8147	209.6016	206.0017
0.02	626.4917	595.2925	549.4064	516.917	492.1685	472.1044	454.943	439.5831	425.3213	411.6986	398.4107
0.04	703.2294	673.54	629.6059	598.0352	573.3809	552.6725	534.171	516.8071	499.9106	483.0635	466.0107
0.06	753.9553	725.4728	683.2009	652.5373	628.169	607.1819	587.8675	569.1814	550.4819	531.386	511.6814
0.08	792.624	765.1817	724.3874	694.5828	670.5568	649.4392	629.5458	609.8538	589.7467	568.8729	547.0587
0.1	824.1893	797.6739	758.2216	729.2265	705.5603	684.389	664.0494	643.5379	622.2607	599.8951	576.3023
0.12	851.0239	825.3514	787.1358	758.905	735.6014	714.4218	693.7218	672.5147	650.228	626.5657	601.4214
0.14	874.4608	849.5654	812.5011	784.9949	762.0504	740.8917	719.8909	698.0775	674.8982	650.0821	623.5531
0.16	895.3282	871.1562	835.1726	808.3559	785.7644	764.6462	743.3888	721.0362	697.0537	671.1938	643.4089
0.18	914.178	890.685	855.7221	829.5639	807.3178	786.2541	764.7737	741.9348	717.2199	690.4038	661.4659
0.2	931.3979	908.5458	874.5519	849.0247	827.1162	806.1168	784.4403	761.1577	735.7682	708.0675	678.0612
0.22	947.2707	925.027	891.9569	867.036	845.4572	824.5294	802.6784	778.9874	752.9713	724.4461	693.4421
0.24	962.0102	940.3461	908.16	883.8231	862.5663	841.7157	819.7079	795.6381	769.0361	739.7374	707.7961
0.26	975.7816	954.6718	923.334	899.5611	878.6188	857.8493	835.6999	811.2766	784.1237	754.0955	721.2689
0.28	988.7154	968.1374	937.6161	914.3886	893.7538	873.0686	850.7901	826.0352	798.3619	767.6426	733.9763
0.3	1000.917	980.8504	951.1166	928.4178	908.0836	887.485	865.0885	840.021	811.8542	780.4776	746.0118
0.32	1012.4724	992.8987	963.9263	941.7406	921.7005	901.1902	878.6852	853.322	824.6854	792.6817	757.4522
0.34	1023.4529	1004.3555	976.1201	954.4333	934.6812	914.2606	891.6553	866.0114	836.9262	804.3224	768.3614
0.36	1033.9185	1015.2818	987.7615	966.5602	947.0903	926.7602	904.062	878.1509	848.6362	815.4566	778.7931
0.38	1043.9196	1025.7297	998.9039	978.1757	958.9824	938.7435	915.959	889.7927	859.8658	826.1327	788.7931
0.4	1053.4998	1035.7436	1009.5932	989.3267	970.4047	950.2575	927.3924	900.9819	870.6587	836.392	798.4004
0.42	1062.6965	1045.3617	1019.8692	1000.0536	981.3978	961.3425	938.4021	911.7574	881.0522	846.2705	807.6489
0.44	1071.542	1054.6175	1029.7664	1010.3914	991.997	972.0338	949.0229	922.1531	891.0791	855.7993	816.5682
0.46	1080.0649	1063.5401	1039.3149	1020.371	1002.2335	982.3623	959.2851	932.1986	900.7681	865.0061	825.1842
0.48	1088.2901	1072.1552	1048.5414	1030.0195	1012.1345	992.3552	969.2158	941.9203	910.1445	873.9148	833.5196
0.5	1096.2397	1080.4855	1057.4694	1039.3611	1021.7244	1002.0368	978.8387	951.3414	919.2309	882.5469	841.5947
0.6	1132.4759	1118.5035	1098.2962	1082.1422	1065.6904	1046.4567	1023.0094	994.5942	960.9448	922.1643	878.6367
0.7	1164.0646	1151.7071	1134.0593	1119.7006	1104.3519	1085.5614	1061.9216	1032.709	997.7005	957.0578	911.2366
0.8	1192.1515	1181.2767	1165.9898	1153.298	1138.9842	1120.6247	1096.833	1066.9135	1030.6832	988.3578	940.4602
0.9	1217.4961	1207.9967	1194.9077	1183.7762	1170.4397	1152.4985	1128.5853	1098.0296	1060.6861	1016.821	967.0197
1	1240.6298	1232.416	1221.3884	1211.7271	1199.3182	1181.7831	1157.7716	1126.6368	1088.2685	1042.98	991.417
1.1	1261.9398	1254.9353	1245.8524	1237.5839	1226.0591	1208.9185	1184.8271	1153.1603	1113.8405	1067.227	1014.02
1.2	1281.7171	1275.8562	1268.6172	1261.6739	1250.995	1234.2378	1210.0814	1177.9218	1137.7129	1089.856	1035.107
1.3	1300.1867	1295.4121	1289.9283	1284.2509	1274.3838	1257.9997	1233.7905	1201.1717	1160.1269	1111.099	1054.894
1.4	1317.5262	1313.7872	1309.9804	1305.5158	1296.43	1280.4091	1256.1573	1223.1083	1181.2742	1131.137	1073.552
1.5	1333.8784	1331.1299	1328.9302	1325.631	1317.2987	1301.632	1277.3461	1243.8921	1201.3096	1150.118	1091.22
1.6	1349.36	1347.5615	1346.906	1344.7293	1337.1253	1321.8043	1297.4915	1263.6549	1220.36	1168.163	1108.012
1.7	1364.0675	1363.1825	1364.0141	1362.921	1356.0223	1341.0389	1316.7055	1282.506	1238.5311	1185.372	1124.021
1.8	1378.082	1378.0772	1380.3441	1380.2988	1374.0844	1359.4309	1335.0823	1300.5376	1255.9119	1201.83	1139.328
1.9	1391.4718	1392.3169	1395.9716	1396.9415	1391.3917	1377.0612	1352.702	1317.8281	1272.5777	1217.609	1153.999
2	1404.2957	1405.9627	1410.9615	1412.9165	1408.0133	1393.9988	1369.6333	1334.4444	1288.5935	1232.771	1168.092
2.1	1416.604	1419.0674	1425.3699	1428.282	1424.0085	1410.3037	1385.9354	1350.4448	1304.0152	1247.368	1181.658
2.2	1428.4407	1431.6766	1439.2454	1443.0886	1439.4291	1426.0281	1401.6602	1365.8798	1318.8917	1261.447	1194.74
2.3	1439.844	1443.8303	1452.6307	1457.3808	1454.3206	1441.2176	1416.853	1380.7938	1333.2656	1275.049	1207.376
2.4	1450.8476	1455.5638	1465.5632	1471.1977	1468.723	1455.9124	1431.5537	1395.2259	1347.1749	1288.21	1219.599
2.5	1461.4813	1466.9082	1478.0763	1484.5739	1482.6717	1470.1484	1445.7978	1409.2108	1360.6529	1300.962	1231.44
2.6	1471.7717	1477.8913	1490.1994	1497.5402	1496.1983	1483.9574	1459.617	1422.7794	1373.7294	1313.332	1242.925
2.7	1481.7424	1488.5376	1501.9592	1510.1243	1509.3311	1497.3679	1473.0395	1435.9594	1386.4313	1325.347	1254.078
2.8	1491.4146	1498.8696	1513.3792	1522.351	1522.0956	1510.4055	1486.0909	1448.7758	1398.7825	1337.029	1264.92
2.9	1500.8074	1508.9072	1524.4811	1534.2427	1534.5146	1523.0934	1498.794	1461.2511	1410.8047	1348.399	1275.471
3	1509.9382	1518.6686	1535.2841	1545.8196	1546.609	1535.4525	1511.1697	1473.4055	1422.5176	1359.475	1285.747
3.1	1518.8226	1528.1701	1545.8058	1557.1001	1558.3977	1547.5019	1523.237	1485.2578	1433.9391	1370.275	1295.766
3.2	1527.4749	1537.4267	1556.0623	1568.1011	1569.8978	1559.259	1535.0131	1496.8247	1445.0855	1380.814	1305.541
3.3	1535.9082	1546.4522	1566.0683	1578.8379	1581.1252	1570.7397	1546.5138	1508.1217	1455.9717	1391.106	1315.085
3.4	1544.1343	1555.259	1575.8373	1589.3245	1592.0942	1581.9585	1557.7537	1519.1631	1466.6113	1401.164	1324.412
3.5	1552.1642	1563.8586	1585.3814	1599.5739	1602.8182	1592.9289	1568.746	1529.9618	1477.017	1411	1333.531
3.6	1560.0081	1572.2616	1594.7122	1609.598	1613.3094	1603.6632	1579.503	1540.53	1487.2005	1420.626	1342.454
3.7	1567.6752	1580.4778	1603.8401	1619.4078	1623.5791	1614.1729	1590.0362	1550.8788	1497.1723	1430.05	1351.19
3.8	1575.1741	1588.5162	1612.7749	1629.0135	1633.6379	1624.4686	1600.356	1561.0184	1506.9425	1439.284	1359.747
3.9	1582.5127	1596.3852	1621.5255	1638.4245	1643.4953	1634.56	1610.4722	1570.9584	1516.5202	1448.335	1368.134
4	1589.6986	1604.0926	1630.1003	1647.6497	1653.1605	1644.4563	1620.3939	1580.7077	1525.9141	1457.211	1376.359

Propiedades AISI 8630 (continuación)

Esfuerzo de cedencia (MPa) de Austenita a velocidad de deformación fija de: 0.001										
Temperatura	550 °C	600 °C	650 °C	700 °C	750 °C	800 °C	850 °C	900 °C	950 °C	1000 °C
0	203.7208	107.3238	107.6314	108.5447	126.4046	125.5322	124.9469	124.6104	124.49	124.558
0.02	385.2626	251.4834	240.1243	228.8437	215.7736	204.8025	198.0407	195.1489	192.447	189.902
0.04	448.6158	298.6179	282.7497	266.8385	249.8556	234.1533	224.9981	221.7895	218.787	215.956
0.06	491.2821	330.5544	311.453	292.2399	272.2362	253.2356	242.4377	239.0287	235.836	232.824
0.08	524.2626	355.3765	333.6722	311.8108	289.321	267.7105	255.625	252.0669	248.733	245.585
0.1	551.4818	375.9565	352.0389	327.9315	303.308	279.5055	266.3459	262.6678	259.22	255.963
0.12	574.8322	393.6803	367.8185	341.7425	315.2366	289.5275	275.4385	271.6595	268.116	264.767
0.14	595.3836	409.3323	381.7256	353.8862	325.6875	298.2808	283.3679	279.5016	275.875	272.447
0.16	613.8048	423.4035	394.2066	364.7626	335.02	306.0769	290.4209	286.4775	282.778	279.279
0.18	630.5438	436.2237	405.5608	374.6397	343.4737	313.1225	296.7877	292.775	289.009	285.448
0.2	645.9166	448.0256	415.9993	383.706	351.2163	319.5623	302.6012	298.5256	294.7	291.081
0.22	660.1553	458.9807	425.677	392.0996	358.3706	325.5018	307.9581	303.8249	299.944	296.273
0.24	673.4356	469.2188	434.7113	399.9252	365.0292	331.0205	312.9314	308.7448	304.813	301.093
0.26	685.8939	478.8409	443.1936	407.2639	371.2636	336.1798	317.5773	313.3411	309.362	305.597
0.28	697.6385	487.9274	451.1963	414.1801	377.1307	341.0283	321.9401	317.6575	313.635	309.827
0.3	708.757	496.5432	458.7779	420.7258	382.6762	345.6049	326.0557	321.7294	317.665	313.817
0.32	719.3212	504.7418	465.9865	426.9437	387.9374	349.9416	329.9532	325.5857	321.482	317.596
0.34	729.3908	512.5676	472.8621	432.869	392.9454	354.0649	333.6568	329.2502	325.109	321.188
0.36	739.016	520.058	479.4383	438.5316	397.7263	357.997	337.1867	332.7429	328.567	324.611
0.38	748.2394	527.2449	485.7438	443.9568	402.3021	361.7565	340.56	336.0809	331.871	327.883
0.4	757.0977	534.1555	491.8031	449.1663	406.6919	365.3597	343.7915	339.2785	335.036	331.017
0.42	765.6223	540.8135	497.6374	454.1788	410.9118	368.8203	346.8937	342.3484	338.075	334.027
0.44	773.841	547.2395	503.2651	459.0105	414.9762	372.1504	349.8776	345.3012	340.998	336.921
0.46	781.7778	553.4516	508.7025	463.6758	418.8975	375.3606	352.7529	348.1466	343.815	339.711
0.48	789.454	559.4658	513.9639	468.1874	422.6865	378.46	355.5279	350.8928	346.534	341.296
0.5	796.8885	565.2962	519.0619	472.5562	426.3531	381.457	358.2101	353.5473	349.162	341.24
0.6	830.9667	592.0913	542.4591	492.5751	443.1209	395.1346	370.4387	365.65	361.144	340.851
0.7	860.9254	615.7396	563.0667	510.1651	457.8114	407.0807	381.103	376.2053	371.596	340.261
0.8	887.7561	636.9902	581.5524	525.9117	470.93	417.7204	390.5886	385.5948	380.893	339.45
0.9	912.1208	656.3446	598.3631	540.2059	482.8131	427.3359	399.1514	394.0712	389.287	338.431
1	934.4857	674.1572	613.8136	553.3228	493.6967	436.1247	406.9699	401.8114	396.952	337.233
1.1	955.1921	690.688	628.1347	565.4636	503.7533	444.2307	414.1745	408.9441	402.447	335.898
1.2	974.4981	706.1341	641.5014	576.7804	513.1131	451.7624	420.8631	415.5663	400.729	334.46
1.3	992.604	720.6487	654.0492	587.3914	521.8768	458.8037	427.1114	421.7528	398.94	332.97
1.4	1009.669	734.3535	665.8859	597.3901	530.124	465.4206	432.979	427.5626	397.111	331.437
1.5	1025.82	747.3471	677.0985	606.852	537.9191	471.6666	438.5141	433.0434	395.269	329.907
1.6	1041.163	759.7102	687.7584	615.8389	545.3147	477.5852	443.7559	438.2339	393.437	328.375
1.7	1055.786	771.5102	697.925	624.4022	552.3544	483.2124	448.7368	443.1662	391.63	326.87
1.8	1069.761	782.8035	707.6481	632.5852	559.0747	488.5787	453.4842	447.8674	389.857	325.383
1.9	1083.152	793.6385	716.9703	640.4245	565.5069	493.7096	458.021	452.3603	388.121	323.94
2	1096.01	804.0564	725.9279	647.9516	571.6775	498.627	462.367	456.6643	386.424	322.52
2.1	1108.384	814.0929	734.5523	655.1936	577.6094	503.3499	466.5392	460.7962	384.776	321.147
2.2	1120.311	823.7793	742.871	662.1741	583.3226	507.8947	470.5523	462.2771	383.172	319.806
2.3	1131.829	833.1428	750.908	668.9138	588.8346	512.2758	474.4192	460.394	381.608	318.5
2.4	1142.968	842.2076	758.6845	675.4311	594.1607	516.5058	478.1513	458.5648	380.097	317.238
2.5	1153.755	850.9951	766.2192	681.7419	599.3147	520.5959	481.7587	456.7909	378.62	316.016
2.6	1164.216	859.5243	773.5289	687.8609	604.3086	524.5561	485.2501	455.0682	377.193	314.817
2.7	1174.371	867.8124	780.6286	693.8008	609.1533	528.3953	488.6337	453.3874	375.803	313.654
2.8	1184.24	875.8747	787.5319	699.5732	613.8586	532.1214	491.9165	451.7606	374.45	312.526
2.9	1193.843	883.7251	794.2507	705.1886	618.4331	535.7416	495.105	450.1787	373.143	311.431
3	1203.193	891.3762	800.7963	710.6565	622.8849	539.2625	498.205	448.6374	371.868	310.367
3.1	1212.307	898.8396	807.1786	715.9855	627.2213	542.6899	501.2218	447.1432	370.622	309.332
3.2	1221.198	906.1255	813.4067	721.1834	631.4487	546.0293	504.1603	445.6841	369.415	308.324
3.3	1229.877	913.2436	819.4891	726.2574	635.5732	549.2855	507.0247	444.2677	368.242	307.344
3.4	1238.356	920.2027	825.4334	731.214	639.6003	552.463	509.8192	442.8902	367.101	306.388
3.5	1246.645	927.0108	831.2467	736.0593	643.535	555.566	512.5475	441.5405	365.989	305.457
3.6	1254.754	933.6755	836.9355	740.799	647.3821	558.5983	515.2128	440.2315	364.9	304.55
3.7	1262.691	940.2035	842.5057	745.438	651.1459	561.5634	517.8184	438.9572	363.838	303.666
3.8	1270.466	946.6013	847.9631	749.9813	654.8303	564.4645	520.3672	437.7046	362.804	302.807
3.9	1278.084	952.8747	853.3127	754.4332	658.439	567.3047	522.8618	436.4859	361.794	301.97
4	1285.553	959.0294	858.5593	758.7978	661.9755	570.0867	525.3048	435.2984	360.809	301.143

Propiedades AISI 8630 (continuación)

Esfuerzo de cedencia (MPa) de Ferrita a velocidad de deformación fija de: 0.001											
Temperatura	25 °C	50 °C	100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C	400 °C	450 °C	500 °C
0	260.9603	235.8658	199.9347	175.8038	158.7965	146.4286	137.2716	130.4458	125.3835	121.6978	138.0076
0.02	410.8508	389.1314	357.0895	334.4071	317.2455	303.52	292.0082	281.9455	272.838	264.3521	254.2884
0.04	456.8186	436.0397	405.1526	382.9852	365.8872	351.8566	339.7108	328.7078	318.3704	308.3812	297.3683
0.06	486.6217	466.5881	436.6862	415.0416	398.1282	384.0014	371.507	359.9209	348.78	337.7807	325.8768
0.08	509.108	489.7102	460.6789	439.5296	422.8324	408.687	395.963	383.9512	372.2007	360.4205	347.7465
0.1	527.3371	508.501	480.2556	459.5719	443.0984	428.9724	416.0836	403.7357	391.489	379.0637	365.7158
0.12	542.7543	524.4254	496.9004	476.6548	460.4043	446.3189	433.3055	420.6797	408.012	395.0329	381.0848
0.14	556.1641	538.2999	511.4426	491.611	475.5798	461.5474	448.4368	435.5741	422.5392	409.0722	394.582
0.16	568.0631	550.6294	524.3963	504.9575	489.1403	475.1689	461.9806	448.9115	435.5499	421.6452	406.6596
0.18	578.7804	561.7489	536.1034	517.0387	501.4298	487.5245	474.2732	461.0211	447.3648	433.0621	417.6192
0.2	588.5461	571.893	546.8034	528.0963	512.6902	498.8543	485.5513	472.1349	458.2096	443.5411	427.673
0.22	597.5278	581.2324	556.6714	538.3072	523.0983	509.3339	495.9881	482.4229	468.2497	453.2421	436.9761
0.24	605.8514	589.8958	565.8394	547.8048	532.7877	519.0962	505.7149	492.0134	477.6102	462.2861	445.6458
0.26	613.6141	597.9826	574.4093	556.6922	541.862	528.2441	514.8333	501.0063	486.3883	470.7672	453.773
0.28	620.8925	605.5711	582.4617	565.0514	550.4033	536.8594	523.424	509.4807	494.661	478.7598	461.4296
0.3	627.7483	612.7244	590.0617	572.9481	558.4776	545.0078	531.552	517.5004	502.4906	486.3239	468.6738
0.32	634.2318	619.4941	597.2623	580.4363	566.1392	552.7434	539.2707	525.1177	509.9279	493.5089	475.5533
0.34	640.3846	625.9228	604.1075	587.5608	573.433	560.1108	546.6244	532.3762	517.0154	500.3558	482.1075
0.36	646.2415	632.0462	610.6344	594.3589	580.3968	567.1479	553.6503	539.3123	523.7886	506.899	488.3697
0.38	651.8321	637.8946	616.874	600.8627	587.0626	573.8865	560.3801	545.9573	530.2779	513.1677	494.368
0.4	657.1814	643.4938	622.8533	607.0993	593.4579	580.3541	566.8408	552.3375	536.5092	519.187	500.1267
0.42	662.3113	648.8661	628.5952	613.0923	599.6063	586.5743	573.056	558.4762	542.5048	524.9786	505.6666
0.44	667.2404	654.0309	634.1199	618.8621	605.5285	592.5676	579.0459	564.3932	548.2843	530.5613	511.0059
0.46	671.9852	659.0051	639.4448	624.4265	611.2425	598.3521	584.8284	570.1061	553.8648	535.9516	516.1605
0.48	676.5603	663.8035	644.5854	629.8015	616.7643	603.9437	590.4192	575.6304	559.2612	541.1641	521.1443
0.5	680.9783	668.4393	649.5554	635.0008	622.1078	609.3564	595.8323	580.9797	564.4871	546.2118	525.9699
0.6	701.0704	689.5473	672.2295	658.7558	646.5483	634.1334	620.6249	605.4883	588.4333	569.3402	548.0736
0.7	718.526	707.9191	692.022	679.5376	667.9649	655.8711	642.3942	627.0192	609.4744	589.6615	567.4851
0.8	734.0017	724.2324	709.641	698.072	687.0926	675.3055	661.8709	646.2908	628.311	607.8526	584.855
0.9	747.9314	738.9362	725.5566	714.8421	704.4207	692.9274	679.5421	663.7826	645.4106	624.3653	600.6171
1	760.6178	752.3439	740.0975	730.1862	720.2928	709.0816	695.7504	679.8317	661.102	639.5175	615.0764
1.1	772.2808	764.6835	753.5035	744.3514	734.9599	724.0201	710.7465	694.685	675.626	653.5419	628.4561
1.2	783.0855	776.1264	765.9553	757.5239	748.6115	737.9335	724.7197	708.5289	689.1646	666.6142	640.9248
1.3	793.1592	786.8048	777.5922	769.848	761.3942	750.9691	737.817	721.5083	701.8589	678.871	652.6132
1.4	802.6021	796.8231	788.5244	781.4376	773.4243	763.244	750.1546	733.7376	713.821	690.4203	663.6249
1.5	811.4949	806.2651	798.8407	792.3845	784.7953	774.8524	761.8264	745.3096	725.1409	701.3494	674.0435
1.6	819.9032	815.1992	808.6136	802.7639	795.5838	785.8715	772.9094	756.2999	735.8928	711.7297	683.9375
1.7	827.8812	823.682	817.903	812.6379	805.8534	796.3653	783.4673	766.7715	746.138	721.6207	693.3637
1.8	835.4746	831.761	826.7593	822.0589	815.6575	806.3877	793.5539	776.7775	755.9284	731.0272	702.3699
1.9	842.7217	839.4762	835.2251	831.0711	825.0413	815.9844	803.2148	786.3627	765.3076	740.1267	710.9967
2	849.6553	846.862	843.3369	839.7125	834.0437	825.1944	812.4888	795.5656	774.3134	748.8205	719.2788
2.1	856.3036	853.9478	851.1262	848.0157	842.6981	834.0516	821.4098	804.4194	782.9782	757.1849	727.2463
2.2	862.6913	860.7593	858.6202	856.0091	851.0336	842.5854	830.007	812.9532	791.3302	765.2473	734.9252
2.3	868.8396	867.3189	865.8428	863.7178	859.0756	850.8214	838.3062	821.1923	799.3943	773.0314	742.3384
2.4	874.7674	873.6463	872.815	871.1634	866.8466	858.7824	846.33	829.159	807.1922	780.5586	749.5062
2.5	880.4913	879.7588	879.5554	878.3655	874.3665	866.4885	854.0985	836.8732	814.7432	787.8473	756.4463
2.6	886.0261	885.6719	886.0805	885.3412	881.653	873.9574	861.6294	844.3524	822.0647	794.9144	763.1748
2.7	891.3849	891.3995	892.4052	892.106	888.7218	881.2054	868.9389	851.6125	829.172	801.7746	769.7057
2.8	896.5796	896.9538	898.5425	898.6738	895.5872	888.2466	876.0412	858.6676	836.079	808.4413	776.052
2.9	901.6207	902.3461	904.5046	905.0569	902.2621	895.0941	882.9494	865.5307	842.7982	814.9267	782.2252
3	906.5179	907.5865	910.3022	911.2668	908.7579	901.7597	889.6751	872.2131	849.3409	821.2417	788.2357
3.1	911.2799	912.684	915.945	917.3136	915.0852	908.2539	896.2291	878.7256	855.7174	827.3961	794.093
3.2	915.9145	917.647	921.4421	923.2067	921.2537	914.5866	902.621	885.0777	861.9371	833.3992	799.8058
3.3	920.4291	922.483	926.8016	928.9546	927.272	920.7665	908.8598	891.2781	868.0086	839.2591	805.3821
3.4	924.8302	927.1991	932.0308	934.5652	933.1483	926.8019	914.9535	897.335	873.9397	844.9835	810.829
3.5	929.1239	931.8016	937.1368	940.0455	938.89	932.7002	920.9098	903.2557	879.7377	850.5793	816.1532
3.6	933.3158	936.2964	942.1257	945.4023	944.5037	938.4684	926.7354	909.047	885.4092	856.053	821.361
3.7	937.411	940.6888	947.0035	950.6417	949.9958	944.1127	932.4367	914.7154	890.9605	861.4105	826.4579
3.8	941.4143	944.9839	951.7754	955.7692	955.3722	949.6391	938.0197	920.2665	896.3971	866.6574	831.4493
3.9	945.3301	949.1863	956.4465	960.7901	960.6382	955.0531	943.4899	925.7058	901.7244	871.7987	832.7915
4	949.1624	953.3004	961.0215	965.7094	965.7988	960.3598	948.8523	931.0384	906.9474	876.8392	831.059

Propiedades AISI 8630 (continuación)

Esfuerzo de cedencia (MPa) de Ferrita a velocidad de deformación fija de: 0.001										
Temperatura	550 °C	600 °C	650 °C	700 °C	750 °C	800 °C	850 °C	900 °C	950 °C	1000 °C
0	135.5802	133.7495	132.4131	131.4782	94.3045	60.0901	39.4348	26.6062	18.4467	13.0503
0.02	246.4823	238.8088	231.1991	152.5159	94.3018	60.0884	39.4335	26.6051	18.4462	13.0499
0.04	287.5518	277.659	252.4415	152.4457	94.2588	60.0624	39.4132	26.5891	18.4377	13.0439
0.06	314.679	303.2524	251.9916	152.1731	94.0936	59.9554	39.3349	26.5262	18.405	13.0205
0.08	335.4644	322.8295	251.0218	151.5797	93.7192	59.6986	39.1825	26.3982	18.3333	12.9698
0.1	352.5276	338.8809	249.5958	150.7244	93.1885	59.3444	39.0022	26.2364	18.2296	12.898
0.12	367.1116	352.5865	247.9533	149.7242	92.5561	58.9992	38.6755	26.0933	18.1097	12.8116
0.14	379.9119	364.6061	246.2271	148.6833	91.9438	58.5256	38.3758	25.9698	17.9839	12.7218
0.16	391.3603	375.3485	244.5335	147.6611	91.2814	58.1461	38.143	25.6955	17.8594	12.6338
0.18	401.7444	385.0865	242.93	146.6846	90.6774	57.7544	37.9413	25.4701	17.7412	12.5498
0.2	411.2666	394.0112	241.3876	145.7652	90.1222	57.3624	37.6195	25.2983	17.6297	12.4715
0.22	420.0748	399.7567	239.9645	144.9077	89.5585	57.0709	37.3717	25.1726	17.5248	12.4
0.24	428.2807	397.4999	238.595	144.0892	89.0851	56.7145	37.1864	25.0822	17.4259	12.3268
0.26	435.9708	395.3819	237.3242	143.3028	88.5768	56.3873	37.0497	25.0172	17.3327	12.2606
0.28	443.2138	393.387	236.1353	142.5762	88.15	56.1377	36.8453	24.8458	17.2449	12.2021
0.3	450.065	391.5054	235.0153	141.9184	87.7175	55.8917	36.6064	24.6523	17.1626	12.1401
0.32	456.5697	389.7294	233.9448	141.2544	87.3089	55.5818	36.4175	24.4975	17.086	12.0873
0.34	462.7655	388.053	232.933	140.64	86.9813	55.3363	36.2687	24.3744	17.0121	12.0328
0.36	468.6841	386.4437	231.9768	140.0814	86.569	55.1417	36.1514	24.2765	16.9404	11.9852
0.38	474.3522	384.934	231.0608	139.5048	86.2376	54.9726	36.0586	24.1986	16.8745	11.9359
0.4	479.7929	383.4746	230.1822	139.0149	85.9515	54.7019	35.9502	24.1364	16.8119	11.8943
0.42	485.026	382.1002	229.3449	138.4774	85.5933	54.4796	35.7521	24.0865	16.7495	11.8477
0.44	490.0687	380.7733	228.5494	138.0314	85.2985	54.2969	35.5873	24.0462	16.694	11.8095
0.46	494.9362	379.5019	227.7974	137.5389	85.0553	54.1462	35.4502	24.0134	16.6361	11.7681
0.48	499.6418	378.2891	227.0756	137.1189	84.7555	54.0215	35.336	23.9181	16.5842	11.7301
0.5	504.1974	377.1272	226.3595	136.6806	84.4726	53.8152	35.2405	23.779	16.5317	11.6976
0.6	525.0559	371.9008	223.226	134.7936	83.3052	53.0803	34.8099	23.332	16.3048	11.5315
0.7	543.3634	367.4644	220.5623	133.1868	82.3112	52.3829	34.3147	23.1192	16.1101	11.3983
0.8	559.7372	363.6353	218.2671	131.8003	81.4456	51.9129	34.0565	23.0107	15.9401	11.2764
0.9	574.589	360.2666	216.2448	130.5622	80.7054	51.3527	33.6727	22.6514	15.7951	11.1713
1	584.0769	357.2609	214.4343	129.4706	80.0647	51.0185	33.3475	22.3935	15.6606	11.0788
1.1	579.6404	354.5476	212.8187	128.4878	79.4069	50.5365	33.1439	22.2315	15.5415	10.9975
1.2	575.61	352.0928	211.3297	127.5965	78.9034	50.2039	33.0122	22.1264	15.4337	10.9181
1.3	571.9223	349.8296	209.9974	126.7915	78.3491	49.9511	32.6961	22.0561	15.3345	10.8461
1.4	568.5069	347.7416	208.7251	126.0532	77.9363	49.5641	32.45	22.0078	15.2429	10.7841
1.5	565.3459	345.8099	207.5583	125.3209	77.444	49.2881	32.2747	21.7904	15.1582	10.7227
1.6	562.3979	344.0159	206.4753	124.6698	77.0859	49.0877	32.1474	21.591	15.0805	10.6662
1.7	559.6386	342.3142	205.4619	124.0814	76.6743	48.8455	32.0533	21.4424	15.0076	10.6153
1.8	557.0527	340.7296	204.5096	123.4753	76.3108	48.5597	31.9277	21.3301	14.9356	10.5645
1.9	554.5996	339.2344	203.6134	122.9756	76.0326	48.3406	31.7003	21.2442	14.8705	10.5191
2	552.2881	337.8226	202.7713	122.4202	75.6643	48.1707	31.5233	21.1777	14.8101	10.4751
2.1	550.0996	336.4735	201.9835	121.9765	75.3532	48.0375	31.3841	21.1256	14.7489	10.4323
2.2	548.0176	335.2037	201.2004	121.4706	75.1063	47.8216	31.2735	21.0843	14.6963	10.3973
2.3	546.03	333.9997	200.4613	121.0645	74.8301	47.5995	31.1849	21.0513	14.6397	10.3547
2.4	544.1294	332.8299	199.7741	120.6128	74.5329	47.4194	31.1132	21.0246	14.5916	10.3202
2.5	542.3101	331.7153	199.1146	120.2191	74.2901	47.2723	31.0548	21.0029	14.5401	10.2874
2.6	540.5698	330.6497	198.4594	119.8456	74.0903	47.1512	31.0068	20.8669	14.4969	10.2511
2.7	538.9074	329.6281	197.8625	119.4502	73.8591	47.051	30.8536	20.7342	14.4486	10.2209
2.8	537.2971	328.6468	197.2628	119.1201	73.6003	46.9126	30.7059	20.623	14.4082	10.1933
2.9	535.7535	327.7033	196.695	118.7678	73.3828	46.7242	30.5816	20.5294	14.3646	10.1599
3	534.2641	326.7959	196.1561	118.4216	73.199	46.5649	30.4765	20.4502	14.325	10.1318
3.1	532.8297	325.9234	195.6175	118.1274	73.0429	46.4294	30.3871	20.3829	14.2881	10.1078
3.2	531.4368	325.074	195.1217	117.8165	72.8293	46.3137	30.3107	20.3253	14.2484	10.08
3.3	530.101	324.2444	194.6146	117.4968	72.6131	46.2144	30.2452	20.2759	14.2143	10.0522
3.4	528.7984	323.4451	194.149	117.2212	72.4266	46.1288	30.1887	20.2333	14.179	10.0283
3.5	527.5349	322.677	193.6771	116.974	72.2652	46.0548	30.1398	20.1965	14.1437	10.0075
3.6	526.3146	321.9415	193.2318	116.6653	72.1248	45.9739	30.0974	20.1645	14.113	9.9832
3.7	525.1332	321.2077	192.8003	116.3959	72.0024	45.8199	30.0604	20.1366	14.0809	9.9582
3.8	523.986	320.4972	192.3671	116.1599	71.8001	45.6848	30.028	20.1121	14.0482	9.9362
3.9	522.8614	319.8198	191.9826	115.929	71.6203	45.5661	29.9982	20.0907	14.0195	9.9169
4	521.7692	319.1539	191.5547	115.6559	71.4617	45.4613	29.8806	20.0718	13.992	9.8999

Propiedades AISI 8630 (continuación)

Esfuerzo de cedencia (MPa) de Perlita a velocidad de deformación fija de: 0.001											
Temperatura	25 °C	50 °C	100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C	400 °C	450 °C	500 °C
0	687.0802	641.8057	576.178	531.2201	498.7737	474.4818	455.8211	441.2307	429.6895	416.0257	409.3914
0.02	774.0986	736.3441	682.3979	645.7211	619.0003	598.3997	581.7305	567.6595	555.3313	537.4487	527.1341
0.04	803.8336	768.3394	717.9102	683.7618	658.836	639.4445	623.4884	609.6928	597.2435	581.9915	570.8467
0.06	822.6086	788.5676	740.4256	707.9467	684.2247	665.6595	650.2062	636.6254	624.1286	609.7396	598.0786
0.08	836.4541	803.5056	757.0966	725.8952	703.1032	685.1837	670.1304	656.7296	644.2114	630.2258	618.1842
0.1	847.4671	815.4025	770.4036	740.2491	718.2246	700.842	686.1254	672.8812	660.3544	646.5891	634.2436
0.12	856.6329	825.3145	781.5119	752.2506	730.8843	713.965	699.5415	686.4369	673.9087	660.2737	647.6744
0.14	864.4953	833.8252	791.0658	762.587	741.7998	725.29	711.1274	698.1494	685.6239	672.0695	659.2515
0.16	871.3872	841.2918	799.4599	771.6797	751.4113	735.2698	721.3433	708.4814	695.9615	682.4578	669.4472
0.18	877.5275	847.9491	806.9543	779.8064	760.0092	744.2034	730.493	717.7388	705.2263	691.7541	678.5713
0.2	883.0679	853.9602	813.7293	787.1604	767.7956	752.2987	738.7881	726.1344	713.6305	700.1771	686.8383
0.22	888.1182	859.443	819.9157	793.8813	774.9168	759.7066	746.3821	733.8227	721.3284	707.8851	694.4036
0.24	892.7602	864.4855	825.611	800.0737	781.4823	766.5399	753.3898	740.9195	728.4354	714.9959	701.3828
0.26	897.0566	869.1552	830.8902	805.818	787.5763	772.8855	759.8997	747.5139	735.0403	721.6003	707.865
0.28	901.0568	873.5051	835.8121	811.1773	793.2651	778.8116	765.9813	753.676	741.2133	727.7694	713.92
0.3	904.8	877.5775	840.4237	816.2021	798.6015	784.3729	771.6903	759.4618	747.0102	733.5601	719.6036
0.32	908.3182	881.4068	844.7633	820.9333	803.6286	789.614	777.072	764.9171	752.4767	739.186	724.9612
0.34	911.6375	885.0212	848.8624	825.4049	808.3819	794.5714	782.1639	770.0797	757.6505	744.1831	730.0302
0.36	914.78	888.4443	852.7472	829.645	812.8912	799.2758	786.9972	774.9809	762.5631	749.0854	734.8418
0.38	917.764	891.6961	856.4398	833.6774	817.1814	803.7531	791.5983	779.6475	767.241	753.7522	739.4225
0.4	920.6051	894.7933	859.9592	837.5225	821.2738	808.0253	795.9896	784.1021	771.7069	758.2065	743.7945
0.42	923.3169	897.7505	863.3213	841.1976	825.1867	812.1113	800.1904	788.3642	775.9802	762.4679	747.9771
0.44	925.9109	900.5801	866.5403	844.7177	828.936	816.0275	804.2175	792.4506	780.0778	766.5532	751.987
0.46	928.3972	903.2932	869.6283	848.096	832.5355	819.7882	808.0855	796.376	784.0144	770.4774	755.8387
0.48	930.7847	905.8992	872.5959	851.344	835.9971	823.4058	811.807	800.1535	787.8028	774.2534	759.545
0.5	933.0811	908.4065	875.4525	854.4717	839.3317	826.8915	815.3935	803.7942	791.4546	777.8926	763.117
0.6	943.414	919.6971	888.3334	868.5897	854.3959	842.6485	831.6142	820.2665	807.9803	794.3562	779.2767
0.7	952.2478	929.3611	899.3804	880.7171	867.3524	856.2142	845.5894	834.4661	822.231	808.5474	793.2063
0.8	959.972	937.8198	909.0664	891.3649	878.7404	868.1477	857.891	846.971	834.7847	821.0453	805.4737
0.9	966.8408	945.3485	917.7004	900.8676	888.9134	878.8159	868.8945	858.1608	846.021	832.2294	816.4517
1	973.0293	952.1369	925.496	909.4567	898.116	888.4728	878.8598	868.2985	856.2033	842.3629	826.3985
1.1	978.6635	958.3216	932.6069	917.2991	906.525	897.3021	887.9752	877.5745	865.5221	851.6361	835.5009
1.2	983.8369	964.0044	939.1479	924.5192	914.2721	905.4408	896.381	886.131	874.1196	860.1909	843.8983
1.3	988.6213	969.2629	945.2068	931.2124	921.4585	912.9942	904.1852	894.0772	882.1054	868.1365	851.6976
1.4	993.0725	974.158	950.8522	937.4536	928.1633	920.0447	911.4724	901.4988	889.565	875.5583	858.9829
1.5	997.2352	978.7382	956.139	943.3023	934.45	926.6582	918.3101	908.4643	896.5674	882.525	865.8214
1.6	1001.1455	983.0427	961.1116	948.8071	940.3701	932.8885	924.7535	915.0295	903.1682	889.092	872.2676
1.7	1004.8331	987.1039	965.8068	954.0079	945.9658	938.7797	930.8479	921.2404	909.4136	895.3052	878.3666
1.8	1008.3227	990.9487	970.255	958.9378	951.2725	944.3686	936.6311	927.1352	915.3419	901.203	884.156
1.9	1011.6351	994.5997	974.4818	963.625	956.3201	949.6862	942.135	932.7464	920.9856	906.8175	889.6673
2	1014.7879	998.0761	978.5091	968.0931	961.1337	954.7591	947.3868	938.1014	926.3722	912.1764	894.9277
2.1	1017.7962	1001.3944	982.3556	972.3628	965.7352	959.6098	952.4097	943.2239	931.5255	917.3031	899.9602
2.2	1020.673	1004.5688	986.0374	976.4515	970.1434	964.258	957.224	948.1343	936.466	922.2181	904.7849
2.3	1023.4297	1007.6117	989.5686	980.3748	974.3746	968.7208	961.8472	952.8506	941.2116	926.9392	909.4193
2.4	1026.0762	1010.5338	992.9616	984.146	978.4432	973.0132	966.2948	957.3883	945.7779	931.4819	913.8786
2.5	1028.6213	1013.3447	996.2271	987.777	982.3618	977.1484	970.5802	961.7612	950.1787	935.8602	918.1764
2.6	1031.0725	1016.0529	999.3748	991.2783	986.1416	981.1381	974.7156	965.9816	954.4264	940.086	922.3247
2.7	1033.4369	1018.6658	1002.4131	994.6594	989.7926	984.9928	978.7117	970.0603	958.5318	944.1704	926.3341
2.8	1035.7205	1021.1901	1005.3499	997.9285	993.3237	988.7216	982.5781	974.007	962.5047	948.123	930.2142
2.9	1037.9289	1023.6319	1008.1918	1001.0931	996.743	992.3331	986.3233	977.8306	966.3539	951.9526	933.9734
3	1040.0669	1025.9965	1010.945	1004.1601	1000.0576	995.8348	989.9553	981.5389	970.0873	955.667	937.6197
3.1	1042.1391	1028.2889	1013.6153	1007.1355	1003.2741	999.2335	993.481	985.139	973.7122	959.2734	941.1599
3.2	1044.1495	1030.5134	1016.2075	1010.025	1006.3984	1002.5354	996.9067	988.6376	977.2349	962.7782	944.6005
3.3	1046.1018	1032.6741	1018.7263	1012.8335	1009.4359	1005.7462	1000.2384	992.0403	980.6614	966.1874	947.9471
3.4	1047.9993	1034.7747	1021.176	1015.5657	1012.3915	1008.871	1003.4813	995.3528	983.9972	969.5064	951.2052
3.5	1049.8452	1036.8185	1023.5604	1018.2258	1015.2698	1011.9146	1006.6404	998.5799	987.2473	972.7401	954.3796
3.6	1051.6422	1038.8087	1025.883	1020.8176	1018.0749	1014.8813	1009.72	1001.7261	990.4161	975.893	957.4747
3.7	1053.393	1040.7481	1028.147	1023.3449	1020.8107	1017.7752	1012.7244	1004.7958	993.5079	978.9693	960.4946
3.8	1055.1	1042.6392	1030.3555	1025.8108	1023.4805	1020.5998	1015.6572	1007.7926	996.5265	981.9729	963.4431
3.9	1056.7653	1044.4846	1032.5112	1028.2184	1026.0878	1023.3586	1018.5221	1010.7202	999.4756	984.9073	966.3237
4	1058.391	1046.2864	1034.6168	1030.5705	1028.6355	1026.0548	1021.3223	1013.5819	1002.3585	987.7758	969.1396

Propiedades AISI 8630 (continuación)

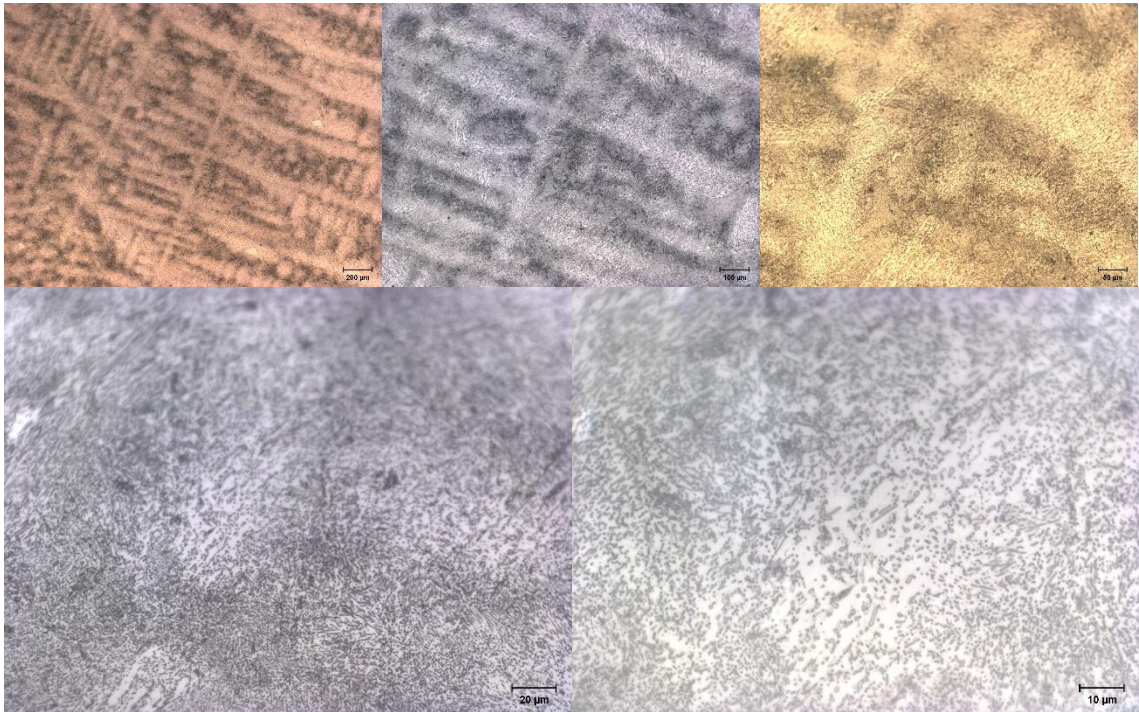
Temperatura	Esfuerzo de cedencia (MPa) de Perlita a velocidad de deformación fija de: 0.001									
	550 °C	600 °C	650 °C	700 °C	750 °C	800 °C	850 °C	900 °C	950 °C	1000 °C
0	404.1255	399.9844	396.7549	342.0829	283.5118	242.5971	159.4571	107.7507	74.6055	52.7605
0.02	517.3515	507.9002	442.6569	342.0786	283.509	242.5901	159.4525	107.7475	74.6033	52.7588
0.04	559.919	549.0275	442.5402	342.0105	283.4646	242.4789	159.3795	107.6966	74.5675	52.7322
0.06	586.4251	574.6125	442.0854	341.7255	283.2921	242.0462	159.0964	107.4971	74.428	52.6273
0.08	605.989	593.4852	441.1083	341.137	282.9373	241.1126	158.4738	107.0916	74.147	52.4099
0.1	621.6123	606.7216	439.6769	340.2675	282.3789	239.7479	157.5765	106.4675	73.7155	52.1277
0.12	634.676	603.9582	438.0233	339.2599	281.7624	238.1623	156.5297	105.7687	73.2216	51.7713
0.14	645.9352	601.0794	436.2832	338.2154	281.1211	236.5048	155.4427	105.0502	72.7099	51.379
0.16	655.8496	598.2457	434.5806	337.1887	280.4598	234.8935	154.3759	104.3021	72.2089	51.0729
0.18	664.721	595.5341	432.9683	336.2033	279.8788	233.3303	153.3544	103.6089	71.7302	50.6984
0.2	672.7584	592.9829	431.4131	335.2682	279.278	231.8709	152.3872	102.9958	71.2675	50.3551
0.22	680.1128	590.5605	429.982	334.387	278.7428	230.4766	151.4766	102.3389	70.8721	50.1003
0.24	686.897	588.2953	428.6027	333.5633	278.229	229.1848	150.6246	101.7745	70.4293	49.8113
0.26	693.1976	586.1675	427.3233	332.8017	277.7542	227.9748	149.8343	101.2258	70.0939	49.4977
0.28	699.0826	584.1613	426.1268	332.0824	277.2913	226.8138	149.0842	100.7137	69.7155	49.2567
0.3	704.6062	582.2659	425.0003	331.3728	276.8975	225.7247	148.3504	100.2312	69.364	49.0727
0.32	709.8128	580.4739	423.9194	330.7303	276.4556	224.6978	147.6792	99.7825	69.0905	48.84
0.34	714.7386	578.7843	422.9005	330.1252	276.1075	223.728	147.0615	99.3347	68.7745	48.578
0.36	719.4141	577.177	421.9372	329.5219	275.7285	222.8102	146.4289	98.9686	68.4614	48.3683
0.38	723.8649	575.6436	421.0217	329.0033	275.37	221.9429	145.8736	98.5323	68.2102	48.2006
0.4	728.1128	574.19	420.1369	328.4368	275.0803	221.103	145.307	98.1788	68.0081	48.066
0.42	732.1765	572.7986	419.2929	327.9649	274.7458	220.2942	144.7924	97.8321	67.7068	47.8958
0.44	736.0723	571.463	418.4902	327.4481	274.4277	219.5281	144.2825	97.4659	67.4521	47.6763
0.46	739.8142	570.1937	417.7301	327.0206	274.1647	218.8074	143.8125	97.1629	67.2415	47.4937
0.48	743.4147	568.9792	417.0127	326.5418	273.9112	218.111	143.3385	96.8615	67.0667	47.3414
0.5	746.8846	567.797	416.2884	326.1341	273.607	217.4236	142.9208	96.5312	66.8485	47.2141
0.6	762.581	562.5326	413.1375	324.2157	272.4186	214.4089	140.9419	95.206	65.9421	46.5384
0.7	776.1092	558.0894	410.4502	322.5892	271.4168	211.8707	139.2412	94.0914	65.1271	46.0582
0.8	786.1374	554.2306	408.1474	321.2008	270.5522	209.6498	137.7958	93.1069	64.4068	45.4949
0.9	780.5931	550.8433	406.1134	319.9988	269.8197	207.7086	136.5021	92.2236	63.8591	45.1224
1	775.6533	547.8186	404.2862	318.8852	269.1384	205.997	135.3643	91.4384	63.2829	44.7304
1.1	771.2014	545.096	402.6471	317.897	268.494	204.4076	134.3379	90.765	62.8405	44.3502
1.2	767.1509	542.6067	401.1658	317.0096	268.0053	203.012	133.401	90.1403	62.3563	44.1025
1.3	763.432	540.3341	399.7993	316.1602	267.4246	201.6868	132.5442	89.5338	62.0299	43.8203
1.4	760.0147	538.2395	398.5292	315.3815	267.0187	200.48	131.7672	89.0482	61.5895	43.4936
1.5	756.8308	536.2923	397.3618	314.6811	266.5163	199.3662	131.0534	88.5028	61.2523	43.2609
1.6	753.8685	534.476	396.2755	314.0506	266.1399	198.3277	130.3392	88.0822	61.0075	43.0919
1.7	751.0949	532.7834	395.2563	313.3989	265.7488	197.3534	129.7052	87.6135	60.6306	42.9042
1.8	748.481	531.1882	394.2958	312.842	265.3683	196.4369	129.1187	87.2172	60.3397	42.6299
1.9	746.0315	529.6797	393.3889	312.279	265.0772	195.5751	128.528	86.8542	60.1172	42.4195
2	743.699	528.2578	392.5333	311.771	264.7288	194.7676	128.0301	86.4546	59.8809	42.2562
2.1	741.4919	526.9164	391.7289	311.2726	264.4048	194.0127	127.4824	86.1407	59.5886	42.1281
2.2	739.3959	525.6225	390.9776	310.8205	264.1474	193.2553	127.0369	85.8146	59.3563	42.0266
2.3	737.3982	524.3991	390.2247	310.3574	263.8914	192.5487	126.5388	85.4723	59.1699	41.8355
2.4	735.4905	523.2358	389.5158	309.9742	263.5832	191.8988	126.1222	85.1951	59.0192	41.6373
2.5	733.6671	522.1239	388.8604	309.526	263.3313	191.2456	125.6852	84.9462	58.7724	41.4753
2.6	731.925	521.0577	388.2106	309.157	263.124	190.6278	125.2807	84.6249	58.5502	41.3418
2.7	730.2416	520.0322	387.586	308.7811	262.911	190.0595	124.9206	84.3584	58.3658	41.2311
2.8	728.6262	519.0439	387.0184	308.4058	262.6439	189.4703	124.5148	84.1359	58.2119	41.1388
2.9	727.0798	518.0905	386.4209	308.0905	262.4194	188.9507	124.1738	83.9114	58.0827	41.0613
3	725.5757	517.1701	385.8885	307.7406	262.2296	188.401	123.8337	83.6371	57.9412	40.9873
3.1	724.1364	516.2817	385.3413	307.4067	262.0684	187.9153	123.4776	83.4039	57.7349	40.8152
3.2	722.7376	515.4247	384.8403	307.1216	261.87	187.4044	123.1735	83.2046	57.5585	40.6681
3.3	721.3858	514.5991	384.3322	306.8178	261.6479	186.9563	122.8723	83.0337	57.407	40.5416
3.4	720.086	513.8054	383.8657	306.5056	261.4563	186.4717	122.5439	82.8011	57.2765	40.4326
3.5	718.8167	513.0385	383.3846	306.2351	261.2904	186.0519	122.2595	82.5778	57.1634	40.3382
3.6	717.5844	512.275	382.9572	306.0001	261.1463	185.5982	122.0123	82.3835	57.0652	40.2561
3.7	716.3922	511.5422	382.4936	305.6955	261.0205	185.1892	121.7023	82.214	56.9538	40.1845
3.8	715.2365	510.8419	382.0875	305.4286	260.8298	184.7828	121.4256	82.0656	56.7842	40.1218
3.9	714.114	510.1524	381.6574	305.1941	260.646	184.378	121.1825	81.8857	56.635	40.0667
4	713.0222	509.4735	381.2571	304.9811	260.4839	184.0211	120.9531	81.6829	56.5035	40.0182

Anexo II

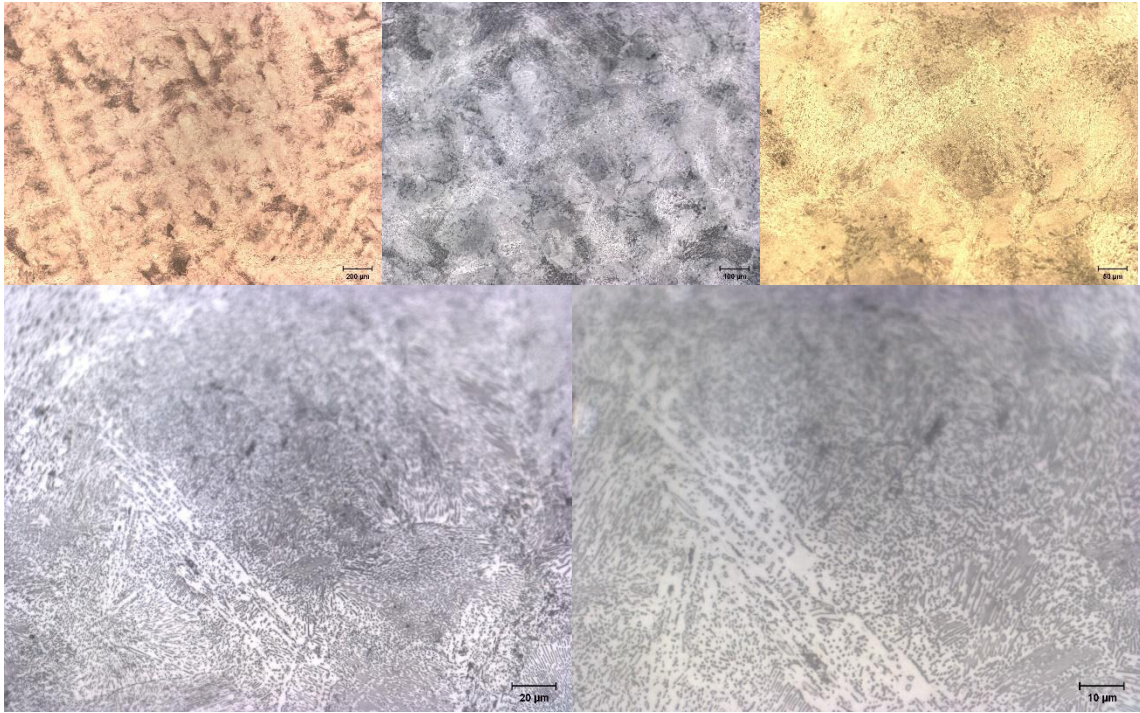
Micrografías tomadas con el microscopio óptico

Superficie

Zona 1

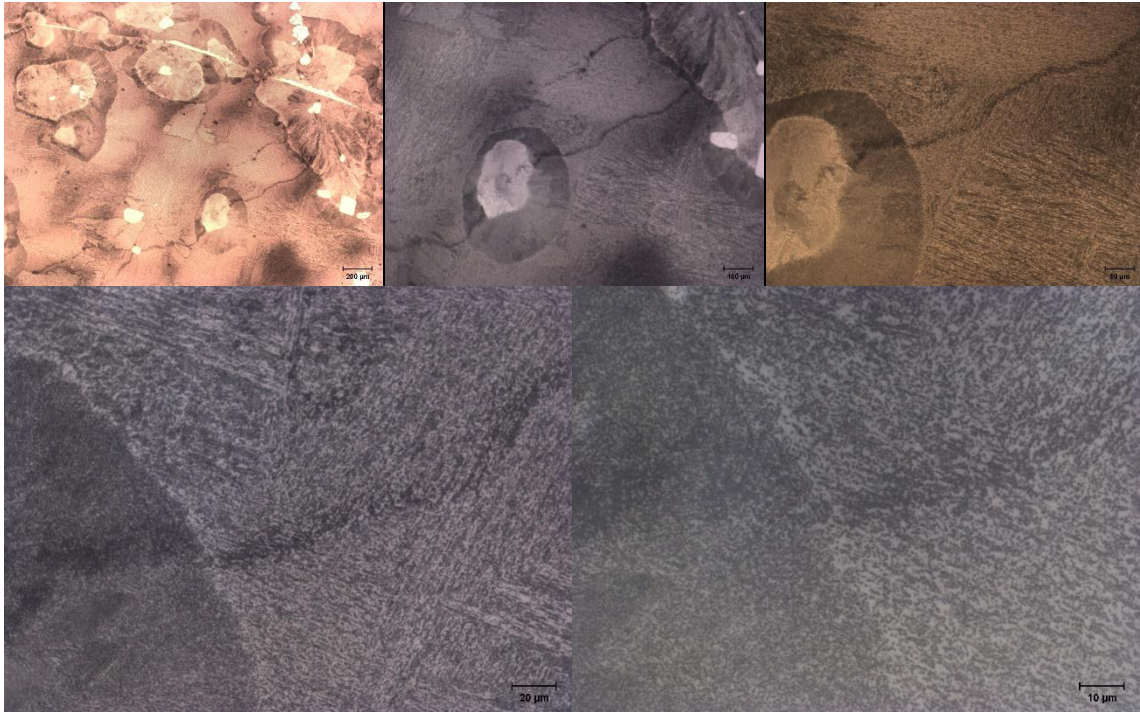


Zona 2

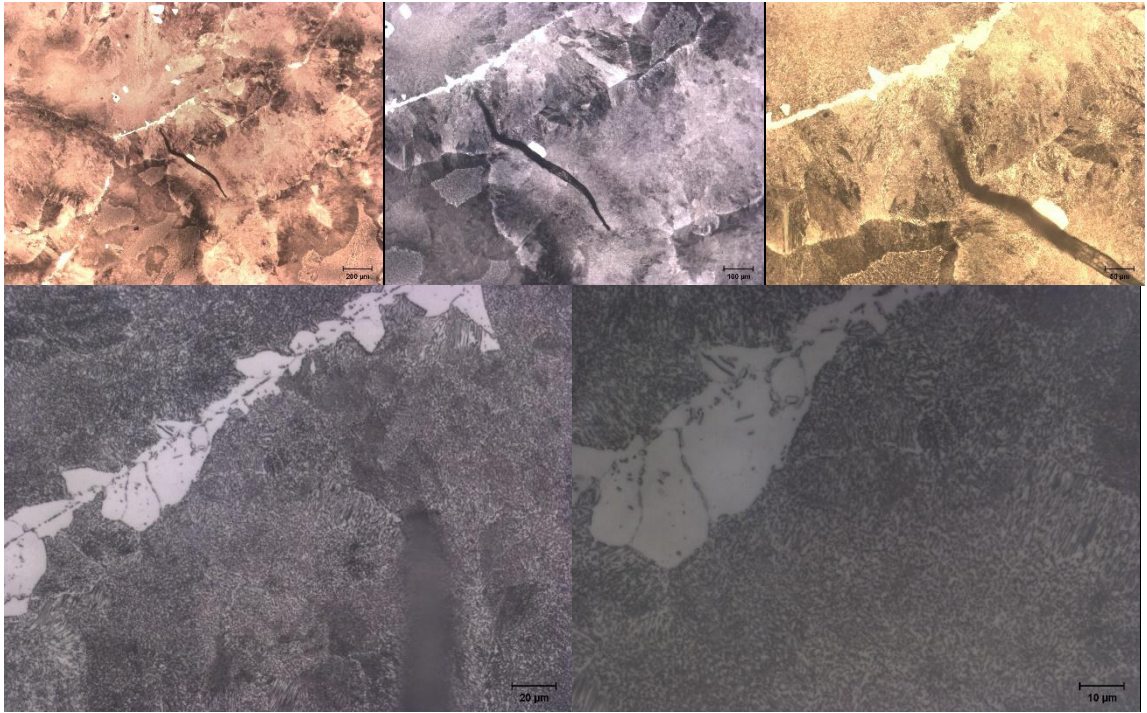


Medio radio

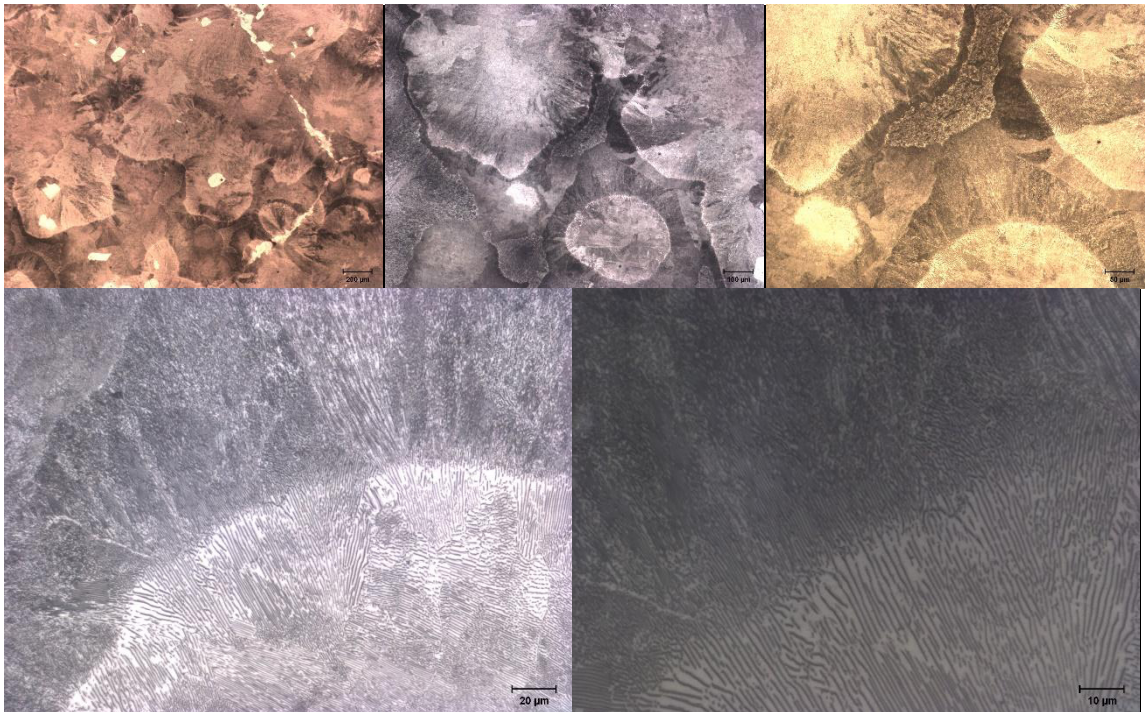
Zona 1



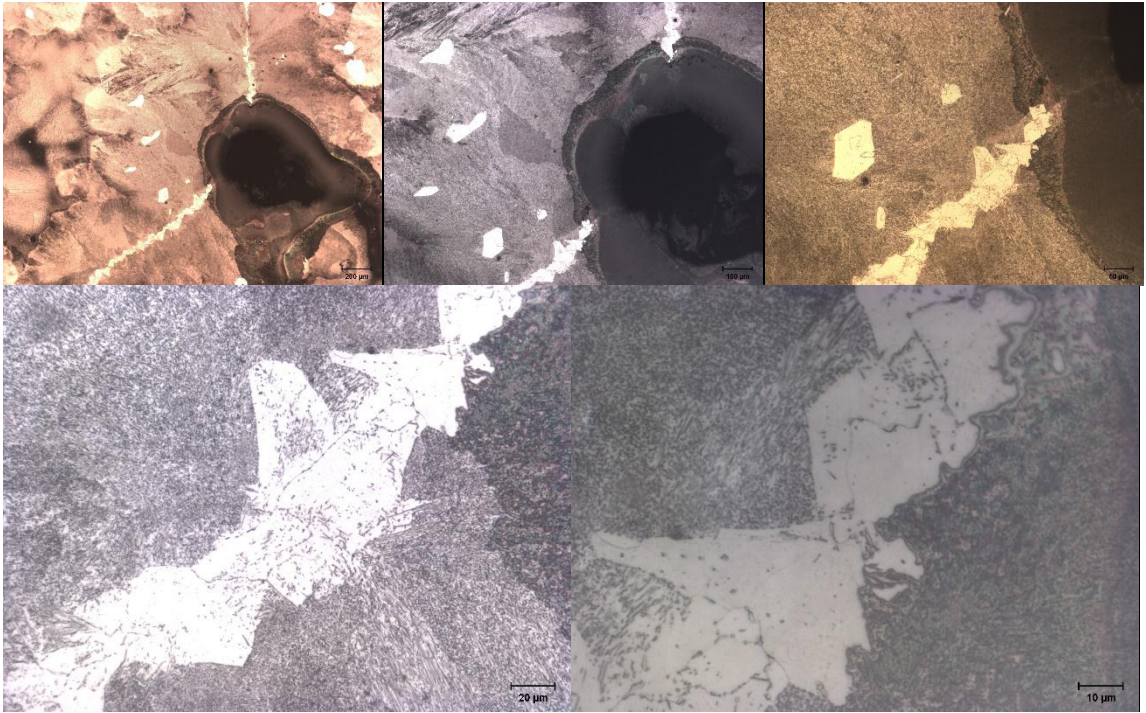
Zona 2



Centro
Zona 1



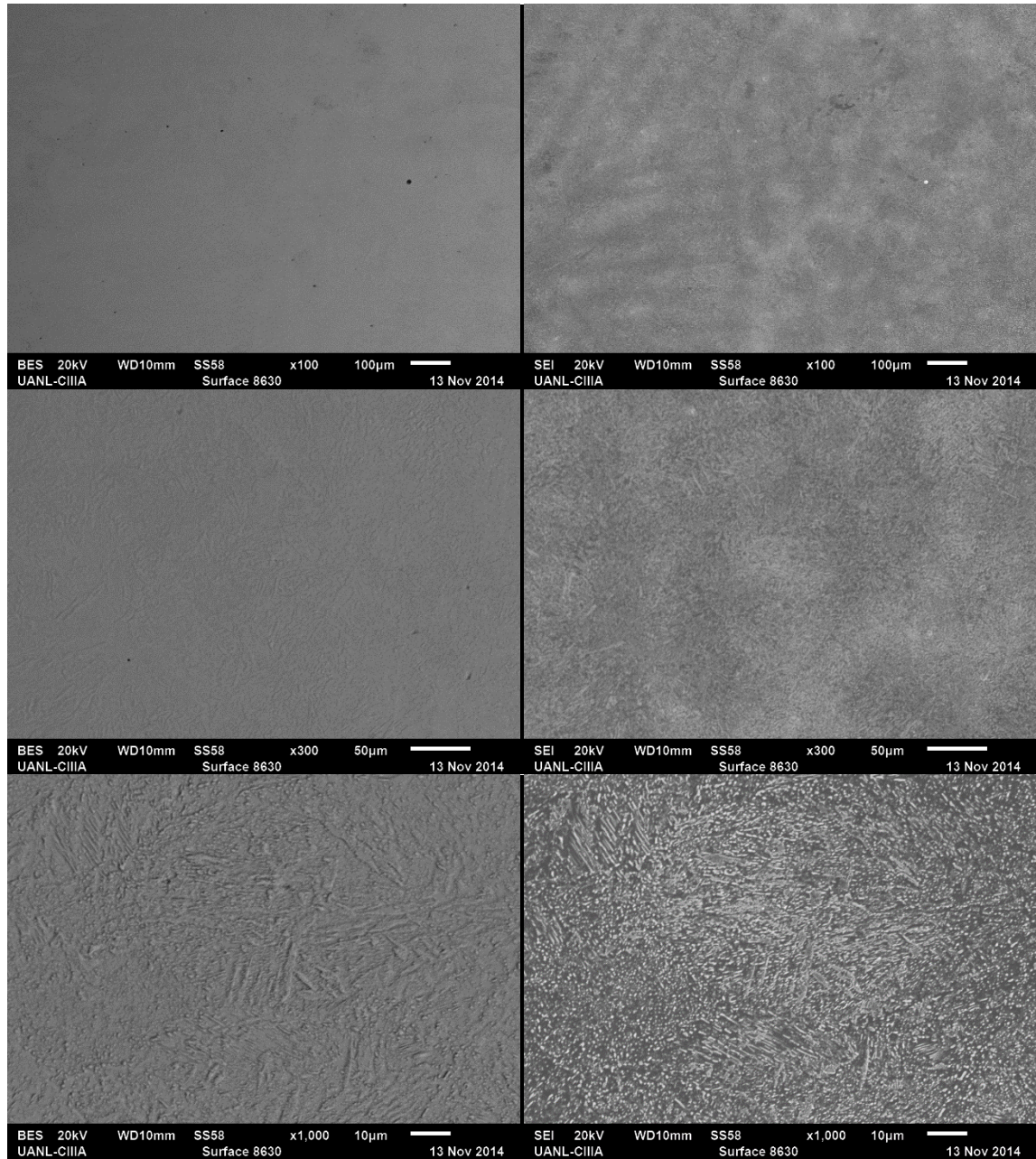
Zona 2

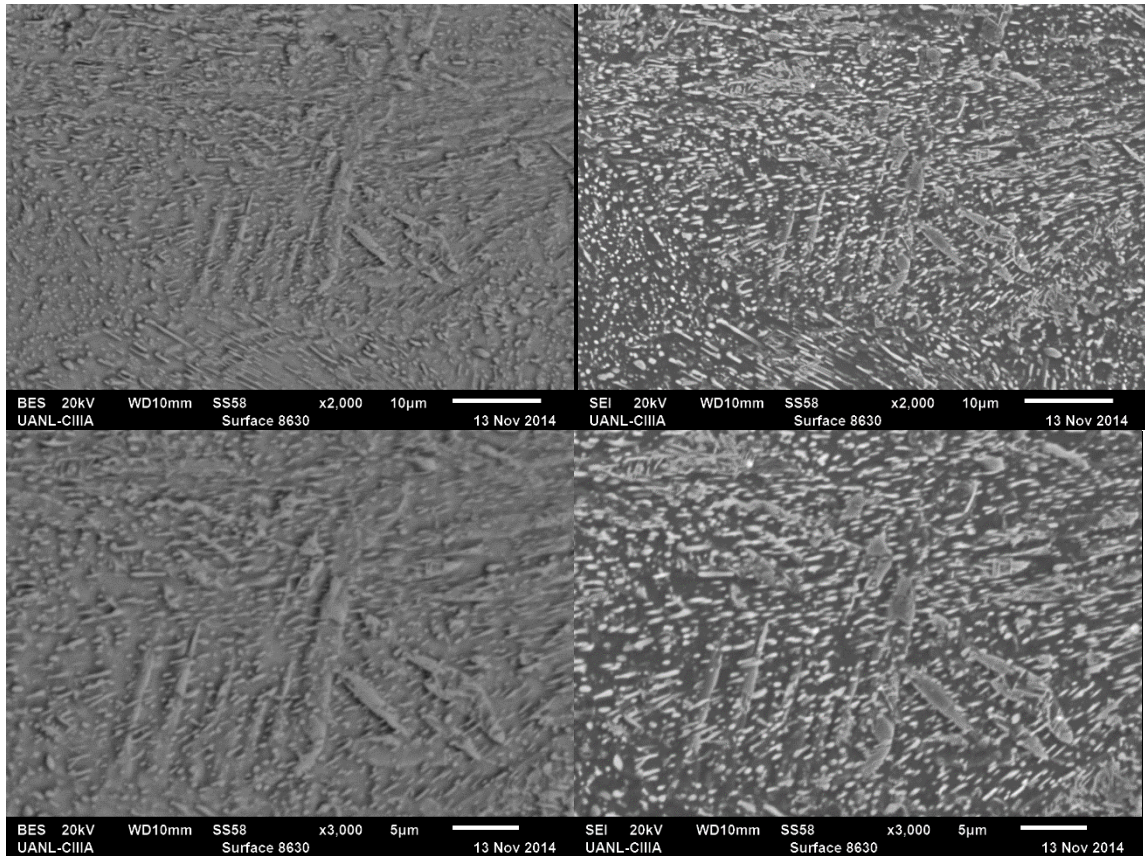


Anexo III

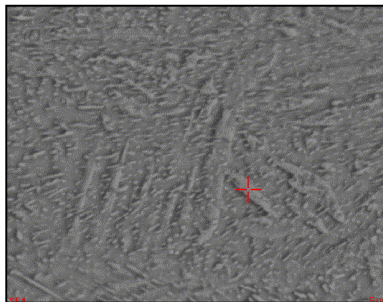
Imágenes de microscopio electrónico de barrido

- Muestra de la superficie del lingote

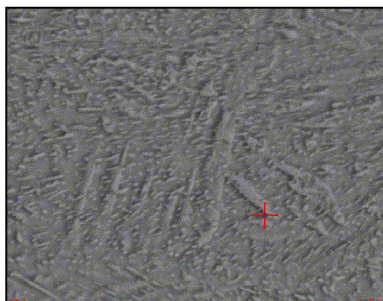
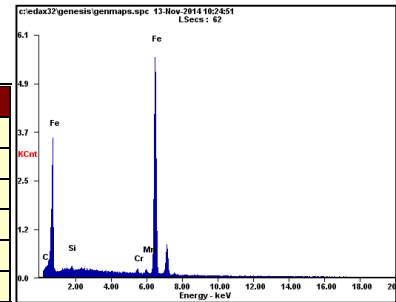




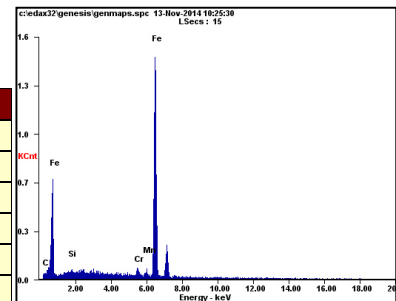
Sobre la imagen a 3000X de BES se hizo análisis químico puntual y por área.

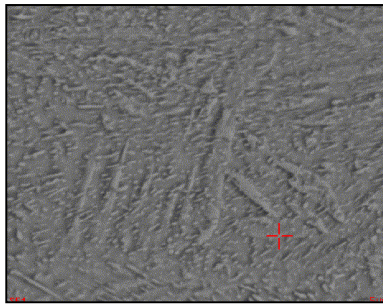


<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	06.89	25.50
<i>SiK</i>	00.37	00.58
<i>CrK</i>	01.06	00.90
<i>MnK</i>	01.59	01.29
<i>FeK</i>	90.09	71.72
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

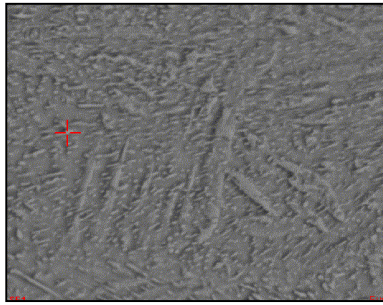
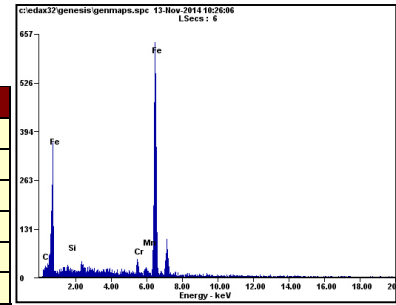


<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	05.02	19.59
<i>SiK</i>	00.77	01.28
<i>CrK</i>	01.70	01.53
<i>MnK</i>	01.93	01.65
<i>FeK</i>	90.58	75.95
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

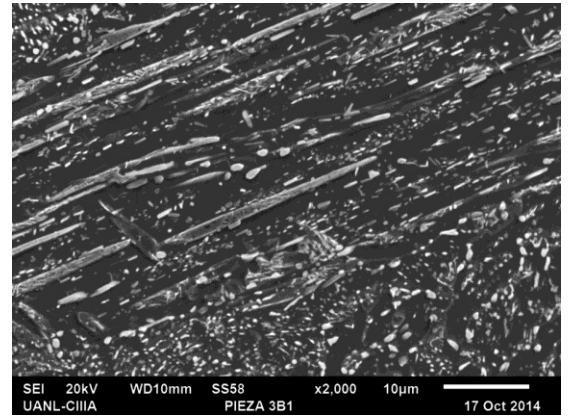
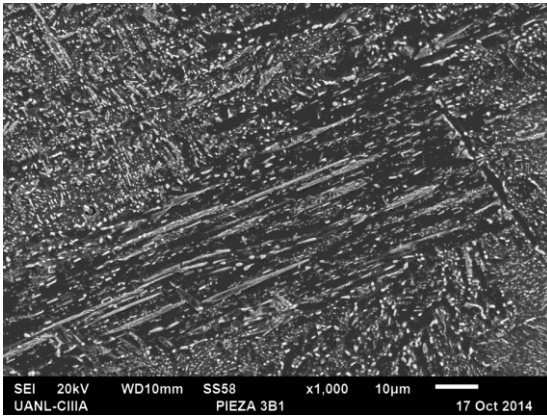
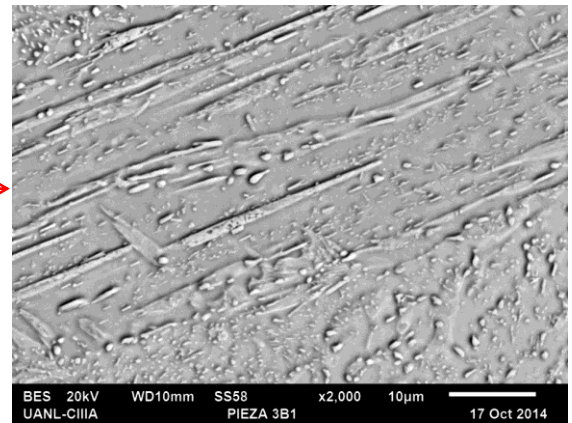
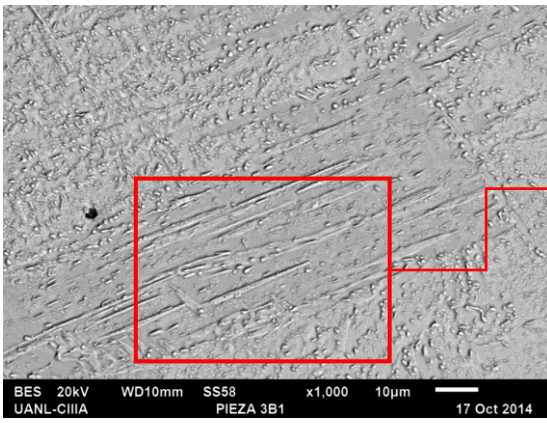
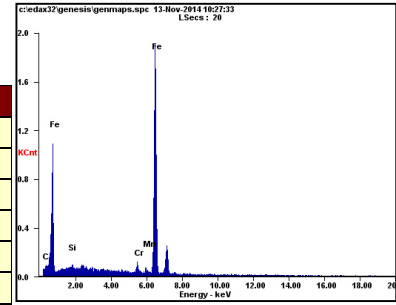


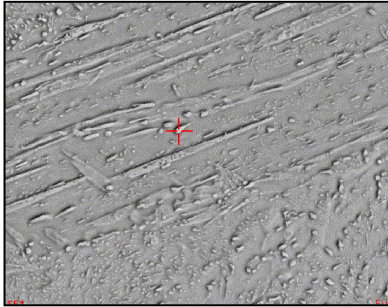


Element	Wt%	At%
CK	07.26	26.47
SiK	00.82	01.28
CrK	02.79	02.35
MnK	01.70	01.36
FeK	87.42	68.55
Matrix	Correction	ZAF

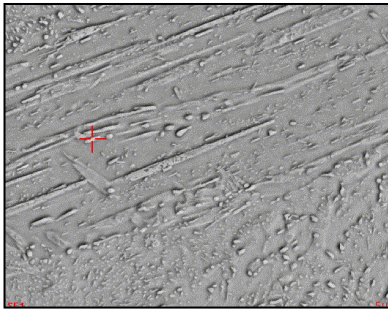
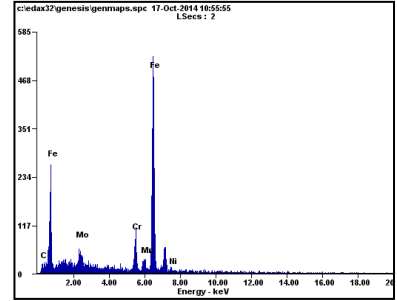


Element	Wt%	At%
CK	06.16	23.27
SiK	00.50	00.80
CrK	02.23	01.94
MnK	01.62	01.34
FeK	89.49	72.65
Matrix	Correction	ZAF

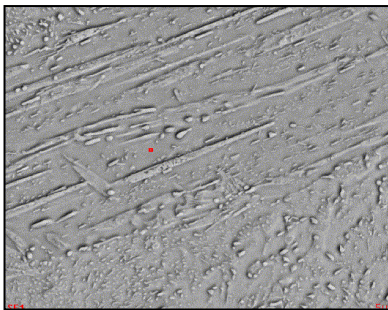
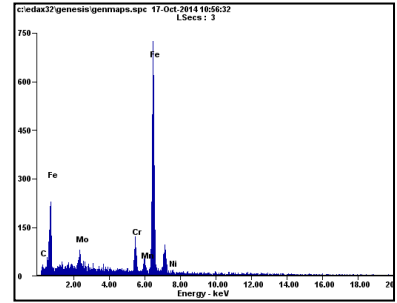




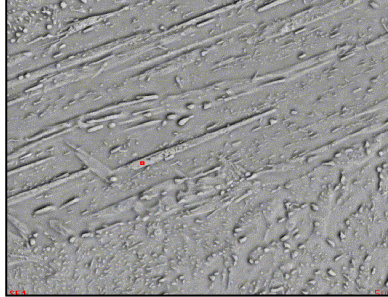
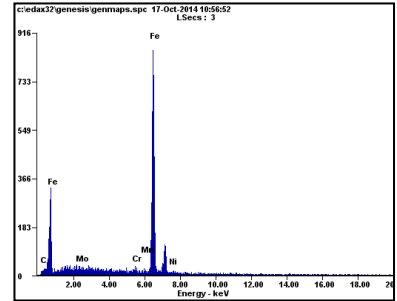
Element	Wt%	At%
CK	06.43	24.51
MoL	04.83	02.30
CrK	07.95	07.00
MnK	03.35	02.79
FeK	76.28	62.50
NiK	01.15	00.90
Matrix	Correction	ZAF



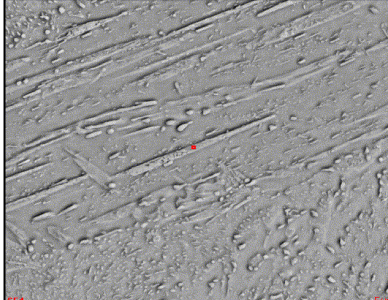
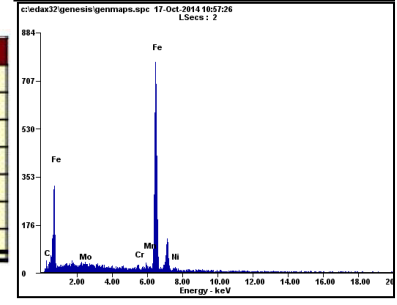
Element	Wt%	At%
CK	06.39	24.34
MoL	04.16	01.99
CrK	06.70	05.90
MnK	02.93	02.44
FeK	78.67	64.45
NiK	01.14	00.89
Matrix	Correction	ZAF



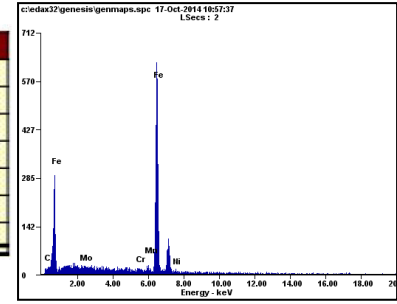
Element	Wt%	At%
CK	03.07	12.85
MoL	00.85	00.45
CrK	01.20	01.16
MnK	01.24	01.14
FeK	92.19	83.15
NiK	01.45	01.24
Matrix	Correction	ZAF

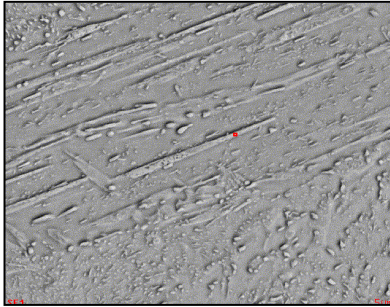


Element	Wt%	At%
CK	07.20	26.59
MoL	00.98	00.45
CrK	01.12	00.95
MnK	01.93	01.56
FeK	87.14	69.21
NiK	01.63	01.23
Matrix	Correction	ZAF

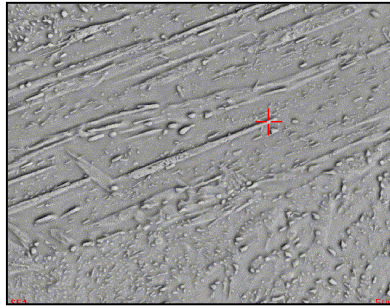
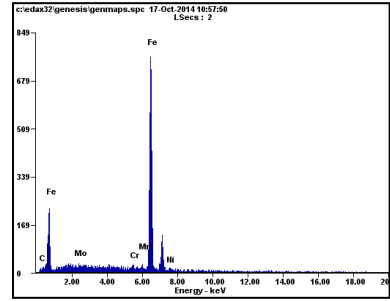


Element	Wt%	At%
CK	04.68	18.61
MoL	00.70	00.35
CrK	01.19	01.10
MnK	02.34	02.03
FeK	89.01	76.21
NiK	02.08	01.69
Matrix	Correction	ZAF

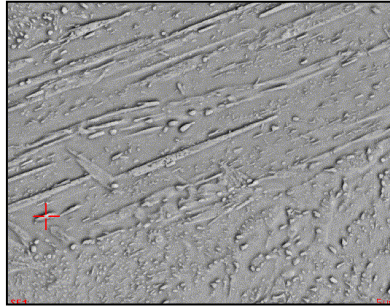
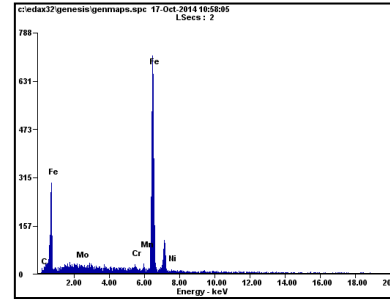




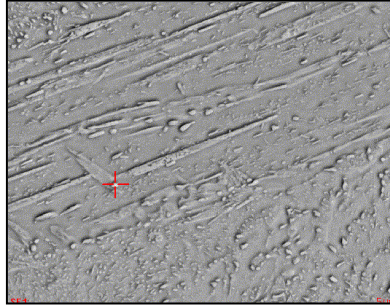
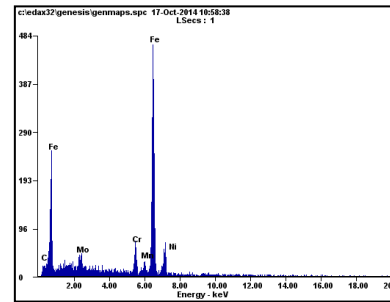
Element	Wt%	At%
CK	02.65	11.23
MoL	00.47	00.25
CrK	01.59	01.56
MnK	01.71	01.58
FeK	92.18	84.16
NiK	01.40	01.22
Matrix	Correction	ZAF



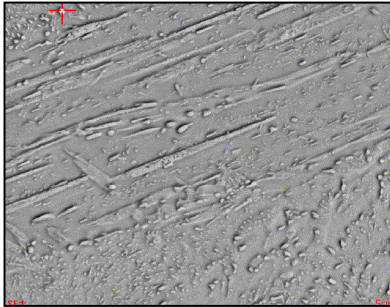
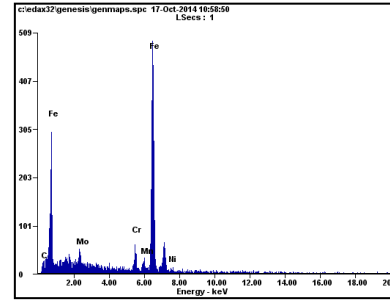
Element	Wt%	At%
CK	03.45	14.28
MoL	00.61	00.32
CrK	01.39	01.33
MnK	01.42	01.28
FeK	91.52	81.43
NiK	01.61	01.36
Matrix	Correction	ZAF



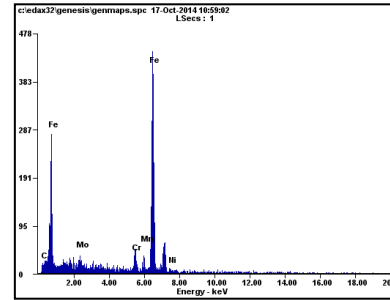
Element	Wt%	At%
CK	06.69	25.18
MoL	03.29	01.55
CrK	05.58	04.85
MnK	02.90	02.39
FeK	80.75	65.42
NiK	00.80	00.62
Matrix	Correction	ZAF

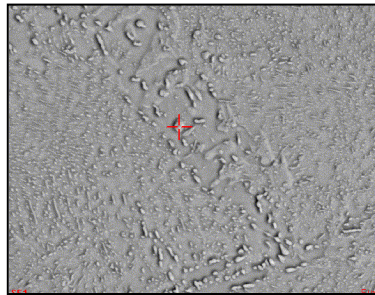
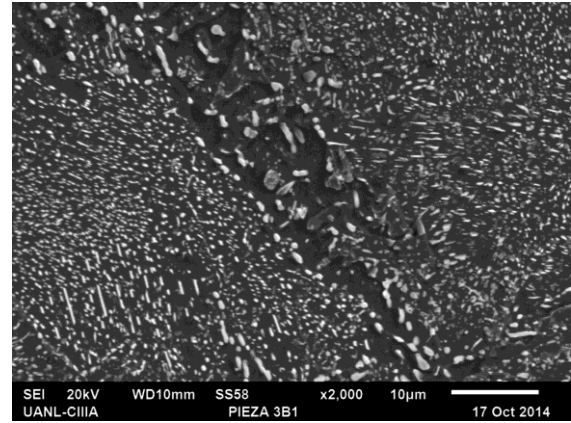
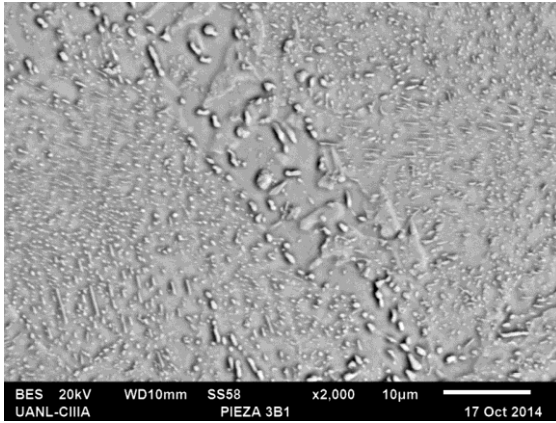


Element	Wt%	At%
CK	07.25	26.97
MoL	04.28	01.99
CrK	05.06	04.35
MnK	02.33	01.89
FeK	79.38	63.50
NiK	01.71	01.30
Matrix	Correction	ZAF

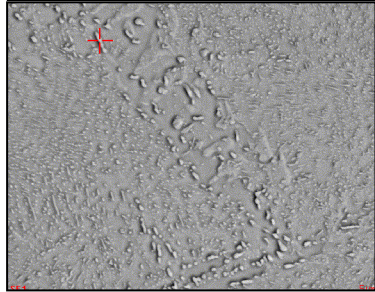
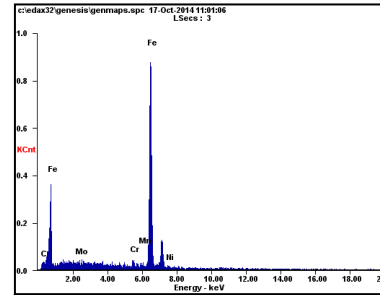


Element	Wt%	At%
CK	06.41	24.38
MoL	03.52	01.68
CrK	04.70	04.13
MnK	03.54	02.94
FeK	80.44	65.80
NiK	01.39	01.08
Matrix	Correction	ZAF

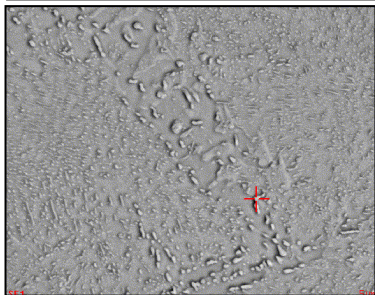
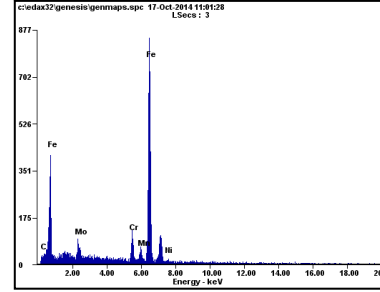




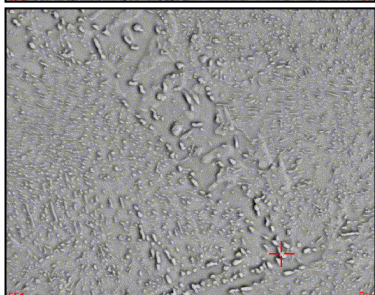
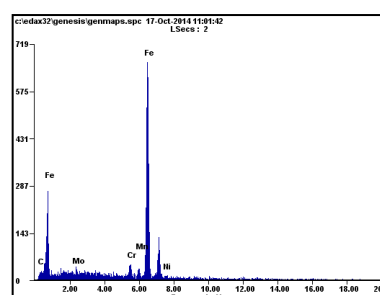
Element	Wt%	At%
CK	06.45	24.35
MoL	01.01	00.48
CrK	01.73	01.51
MnK	01.76	01.45
FeK	87.73	71.19
NiK	01.33	01.03
Matrix	Correction	ZAF



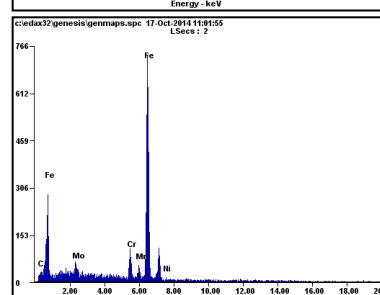
Element	Wt%	At%
CK	06.12	23.51
MoL	04.13	01.99
CrK	05.45	04.84
MnK	03.31	02.78
FeK	79.66	65.84
NiK	01.33	01.05
Matrix	Correction	ZAF

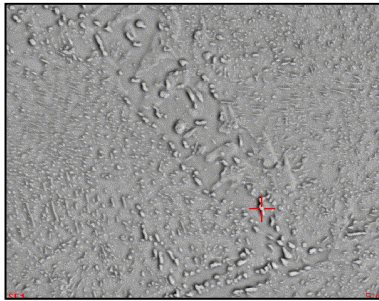


Element	Wt%	At%
CK	05.50	21.33
MoL	01.09	00.53
CrK	03.00	02.69
MnK	02.38	02.02
FeK	86.60	72.29
NiK	01.43	01.14
Matrix	Correction	ZAF

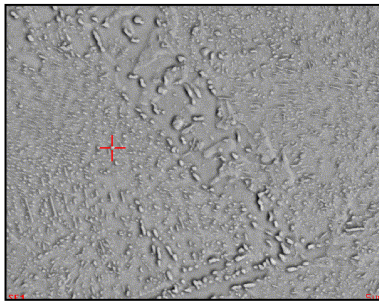
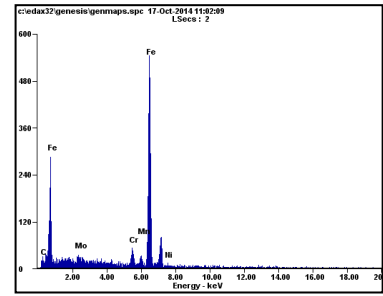


Element	Wt%	At%
CK	06.16	23.55
MoL	03.25	01.55
CrK	05.83	05.15
MnK	03.50	02.93
FeK	80.41	66.15
NiK	00.85	00.67
Matrix	Correction	ZAF

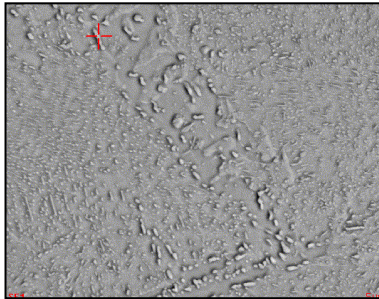
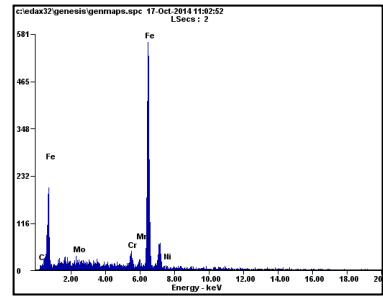




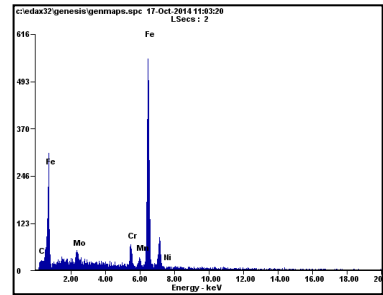
Element	Wt%	At%
CK	06.78	25.45
MoL	02.64	01.24
CrK	03.79	03.29
MnK	03.16	02.59
FeK	81.90	66.11
NiK	01.73	01.33
Matrix	Correction	ZAF



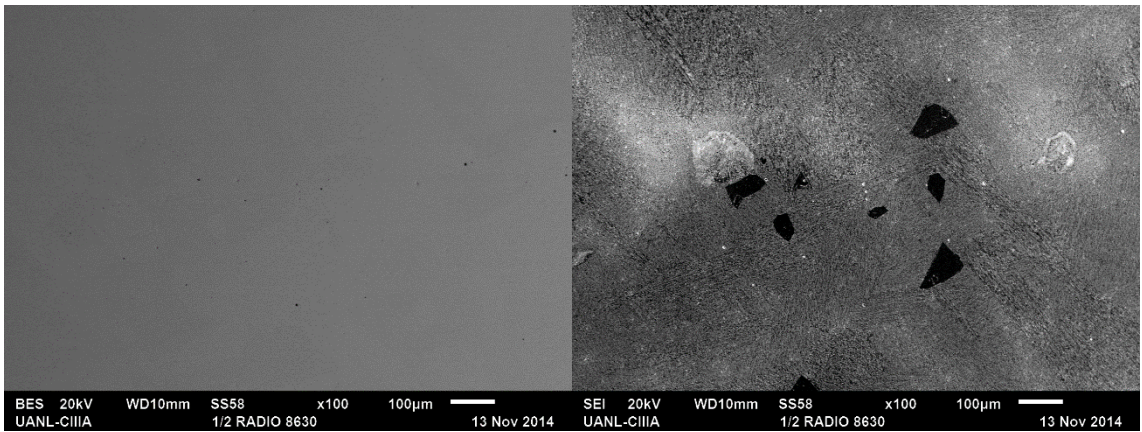
Element	Wt%	At%
CK	04.54	18.18
MoL	01.83	00.92
CrK	03.21	02.97
MnK	02.91	02.55
FeK	85.98	74.12
NiK	01.54	01.26
Matrix	Correction	ZAF

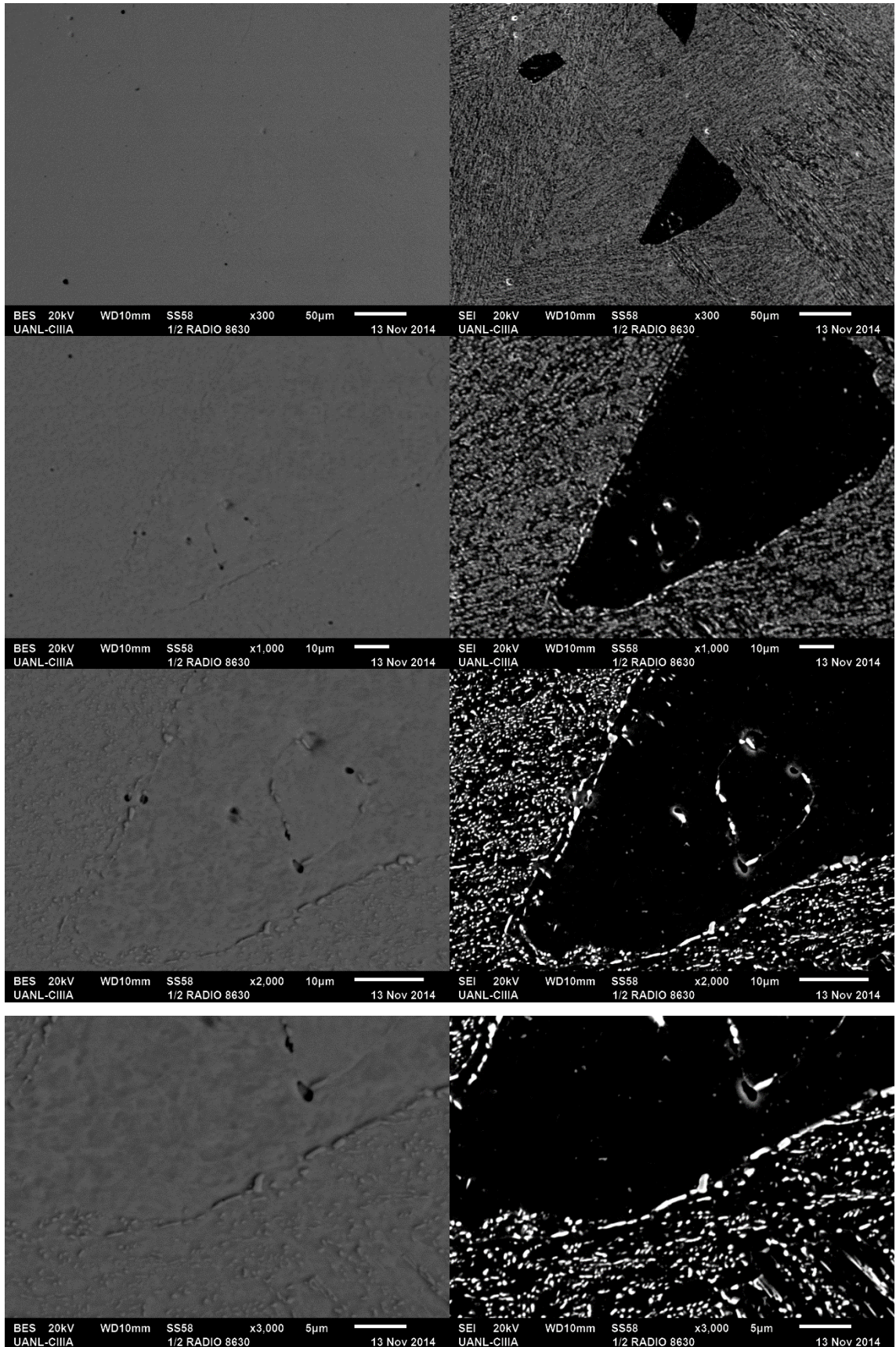


Element	Wt%	At%
CK	06.93	25.97
MoL	03.73	01.75
CrK	05.43	04.70
MnK	03.07	02.51
FeK	79.38	63.95
NiK	01.45	01.11
Matrix	Correction	ZAF

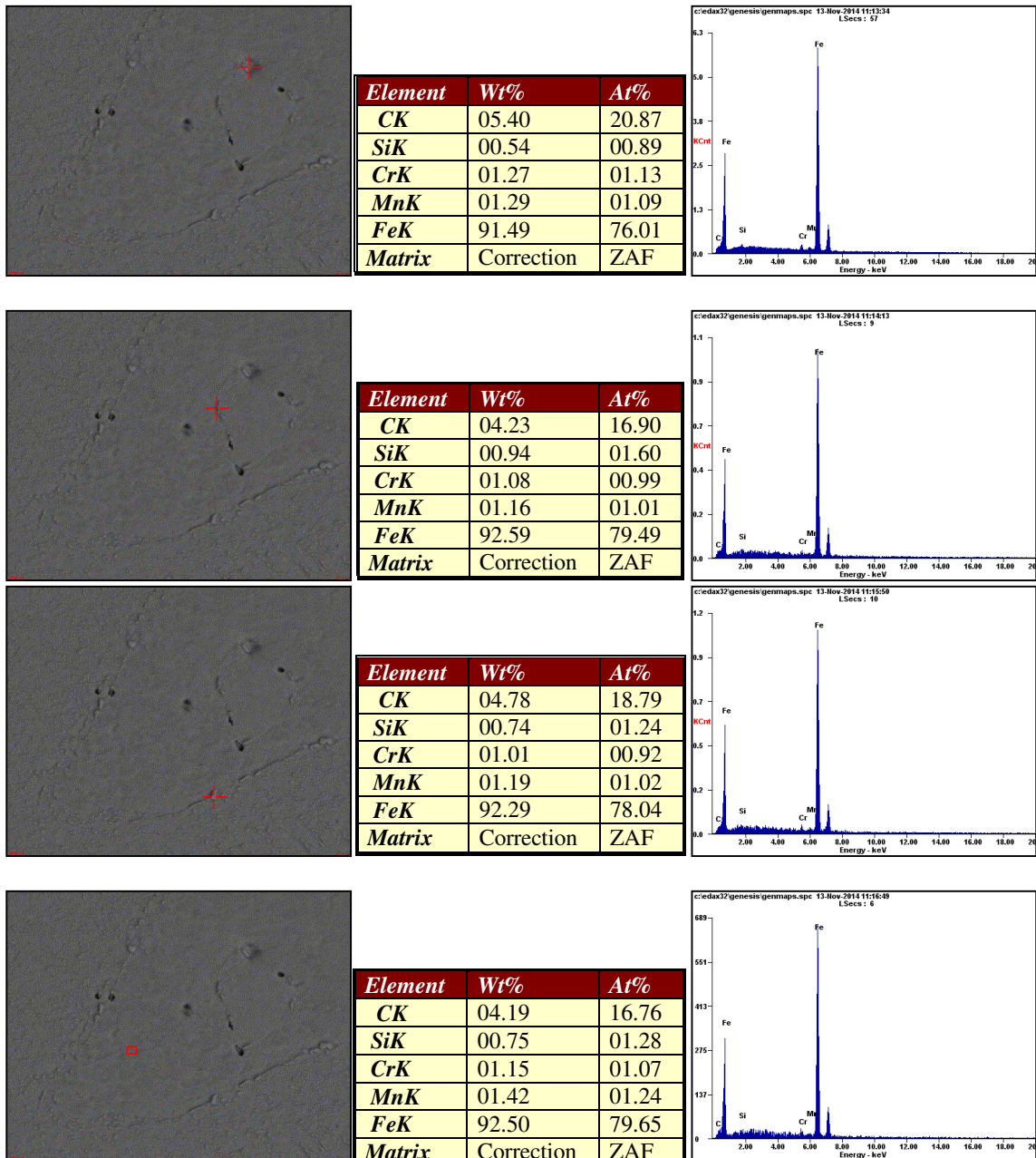


• Muestra del medio radio del lingote



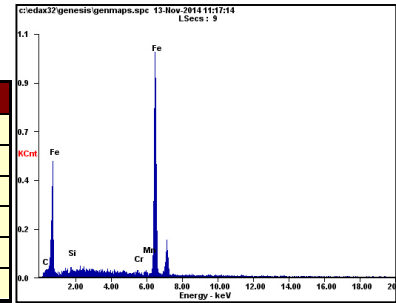


El análisis químico se realizó sobre la imagen a 3000X BES y de acuerdo a los resultados se observa que el medio radio es una zona que tiene una composición muy homogénea, aunque se pueden apreciar pequeños puntos (1 micra aproximadamente) donde varía la composición.

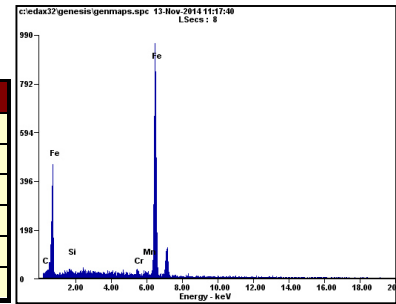




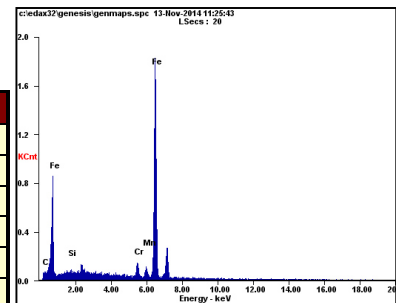
Element	Wt%	At%
CK	04.50	17.82
SiK	00.93	01.57
CrK	01.05	00.96
MnK	01.60	01.39
FeK	91.92	78.26
Matrix	Correction	ZAF



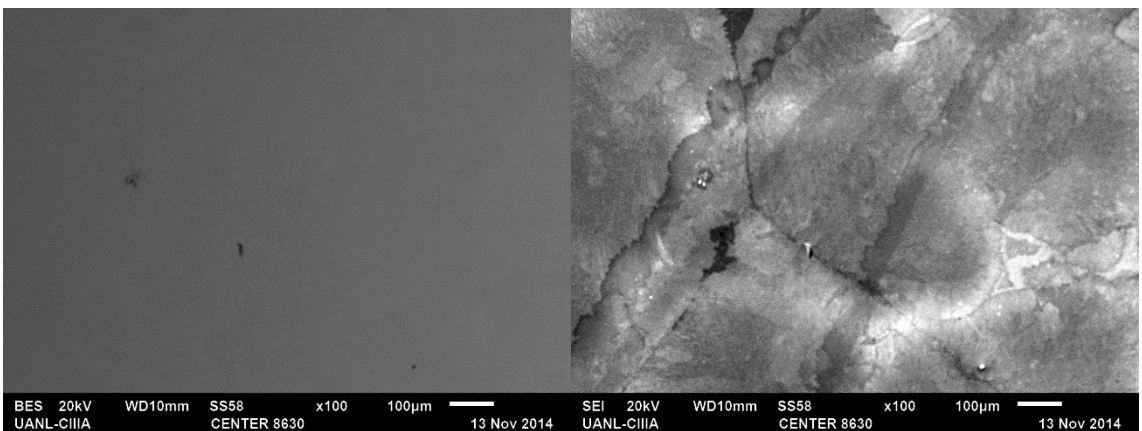
Element	Wt%	At%
CK	04.27	17.04
SiK	00.85	01.46
CrK	01.19	01.10
MnK	01.22	01.06
FeK	92.46	79.34
Matrix	Correction	ZAF



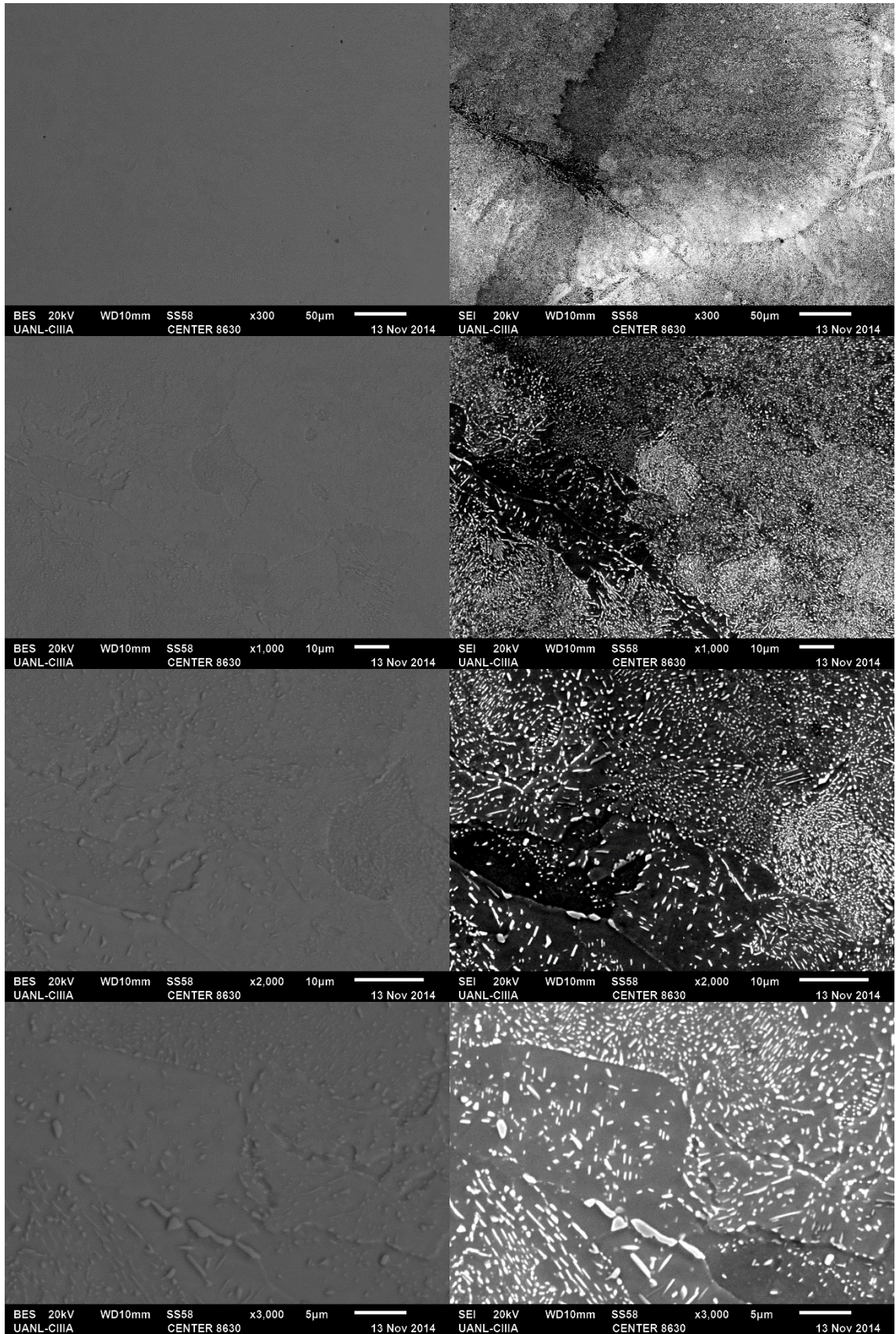
Element	Wt%	At%
CK	06.38	23.89
SiK	00.51	00.82
CrK	03.59	03.11
MnK	02.93	02.40
FeK	86.60	69.79
Matrix	Correction	ZAF



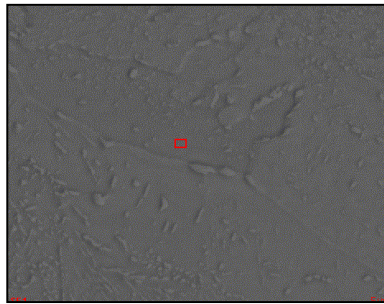
• Muestra del centro del lingote



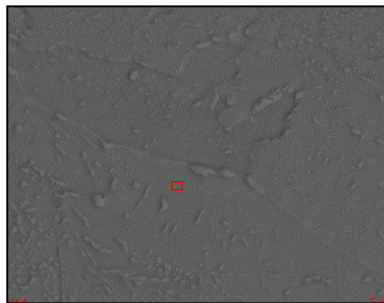
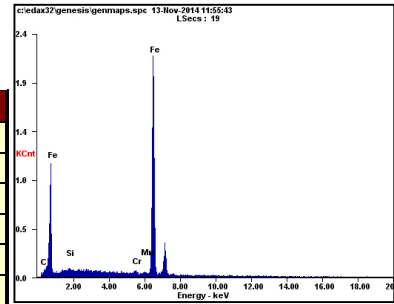
BES 20kV WD10mm SS58 x100 100µm 13 Nov 2014 UANL-CIIIA
 SEI 20kV WD10mm SS58 x100 100µm 13 Nov 2014 UANL-CIIIA
 CENTER 8630



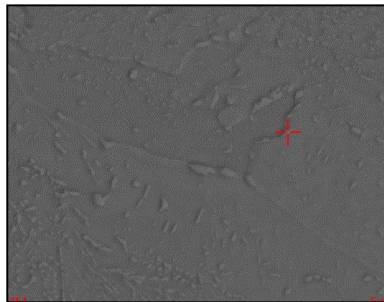
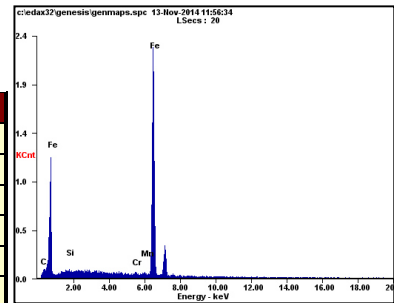
El análisis químico se realizó sobre la imagen a 2000X BES y de acuerdo a los resultados se observa que el centro es una zona que tiene varios puntos de distintos tamaños con una composición química distinta a la matriz, variando principalmente el carbono y el cromo.



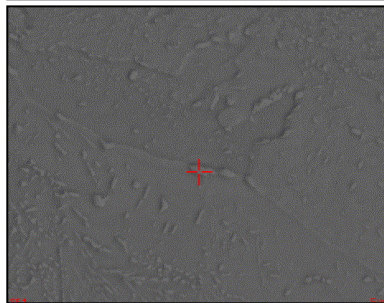
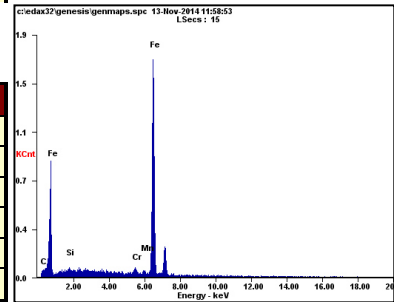
Element	Wt%	At%
CK	04.48	17.76
SiK	00.80	01.35
CrK	00.78	00.72
MnK	00.91	00.79
FeK	93.04	79.39
Matrix	Correction	ZAF



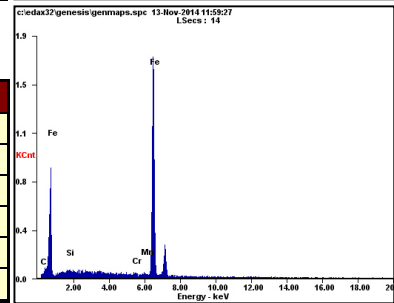
Element	Wt%	At%
CK	05.04	19.67
SiK	00.65	01.08
CrK	00.86	00.77
MnK	01.30	01.11
FeK	92.16	77.37
Matrix	Correction	ZAF

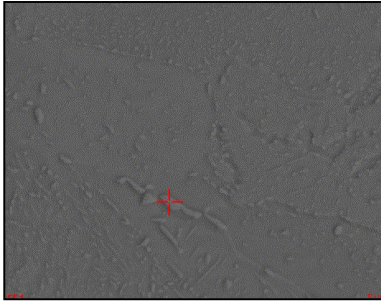


Element	Wt%	At%
CK	05.46	21.04
SiK	00.69	01.14
CrK	01.65	01.47
MnK	01.56	01.31
FeK	90.63	75.04
Matrix	Correction	ZAF

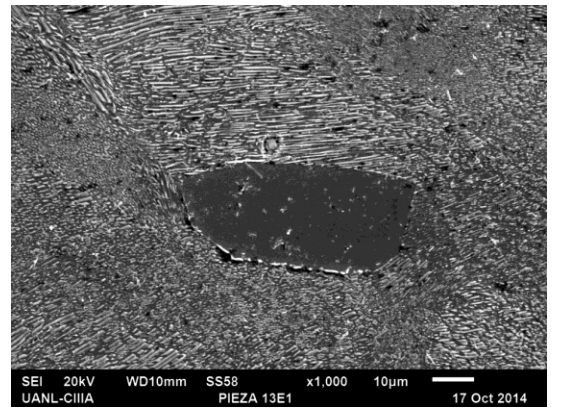
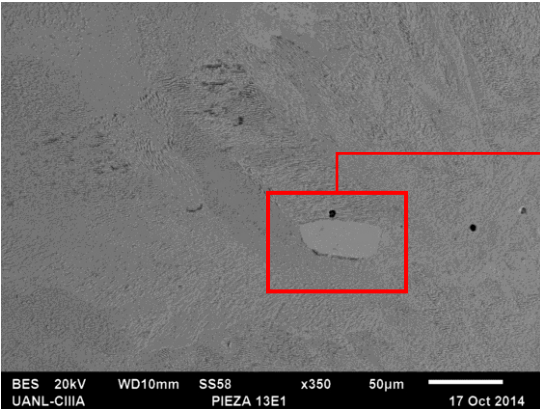
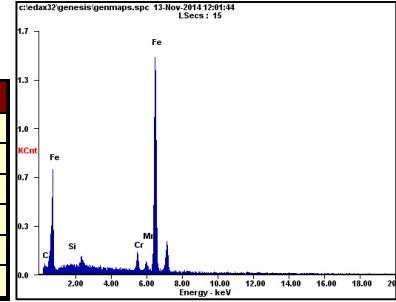


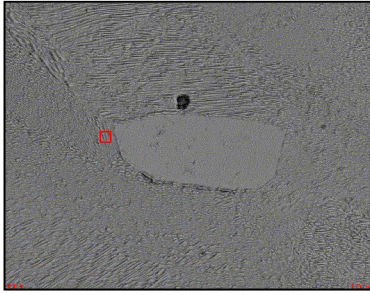
Element	Wt%	At%
CK	04.33	17.32
SiK	00.42	00.71
CrK	00.71	00.66
MnK	01.31	01.14
FeK	93.23	80.17
Matrix	Correction	ZAF



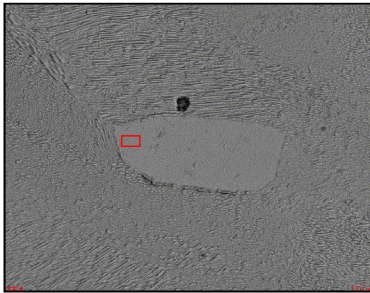
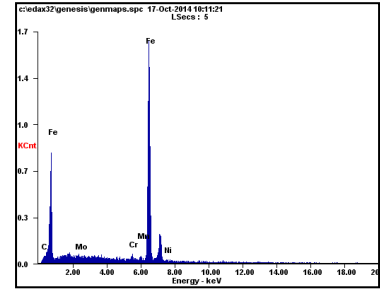


Element	Wt%	At%
<i>CK</i>	06.60	24.56
<i>SiK</i>	00.53	00.84
<i>CrK</i>	04.10	03.52
<i>MnK</i>	03.27	02.66
<i>FeK</i>	85.51	68.42
Matrix	Correction	ZAF

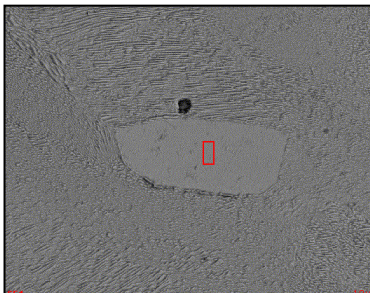
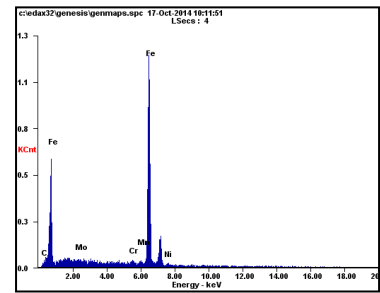




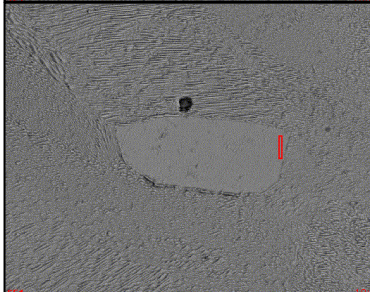
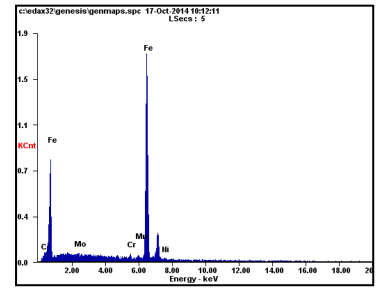
Element	Wt%	At%
CK	04.91	19.39
MoL	00.82	00.41
CrK	01.32	01.21
MnK	01.34	01.16
FeK	90.43	76.88
NiK	01.19	00.96
Matrix	Correction	ZAF



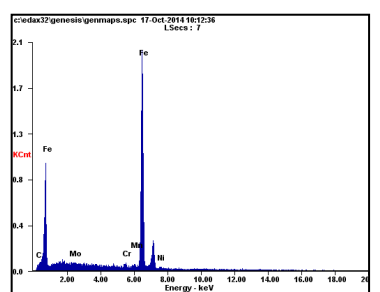
Element	Wt%	At%
CK	04.64	18.51
MoL	01.08	00.54
CrK	01.15	01.06
MnK	01.32	01.15
FeK	90.34	77.54
NiK	01.46	01.19
Matrix	Correction	ZAF



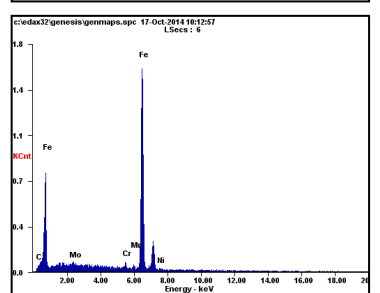
Element	Wt%	At%
CK	04.43	17.78
MoL	00.82	00.41
CrK	01.13	01.05
MnK	01.20	01.05
FeK	91.02	78.56
NiK	01.40	01.15
Matrix	Correction	ZAF

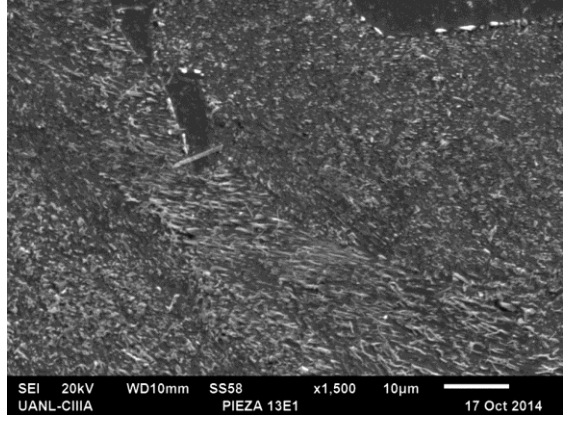
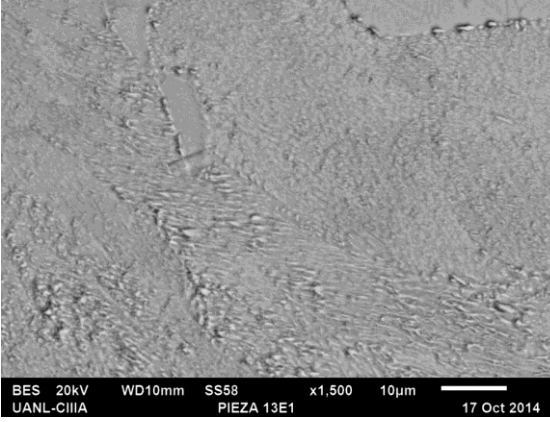
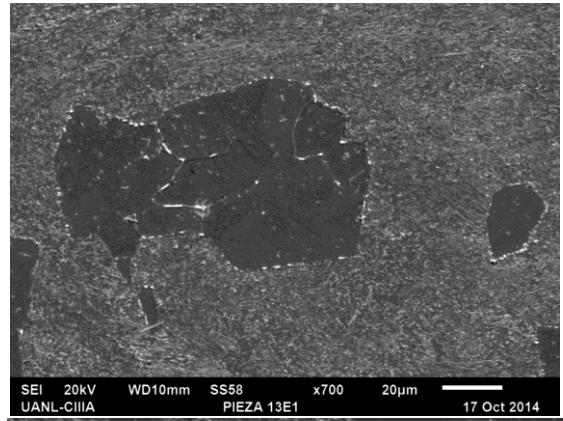
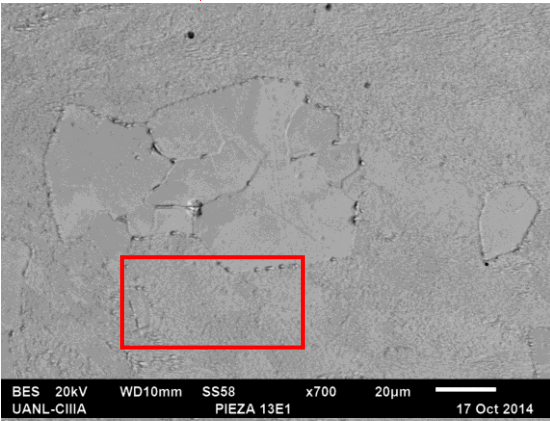
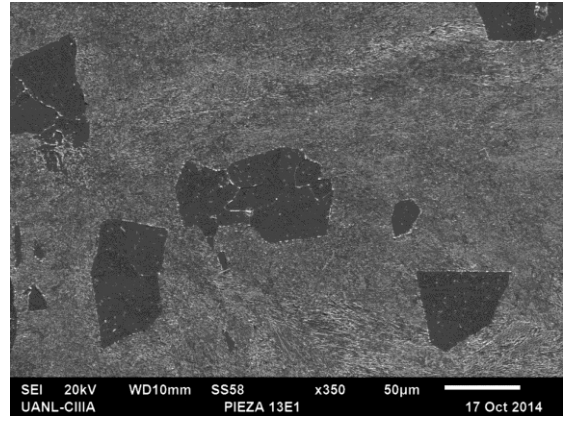
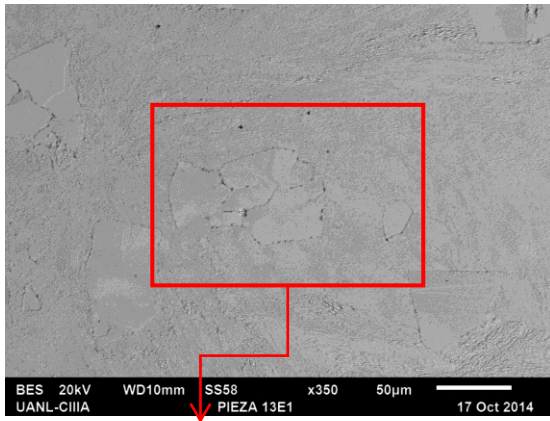


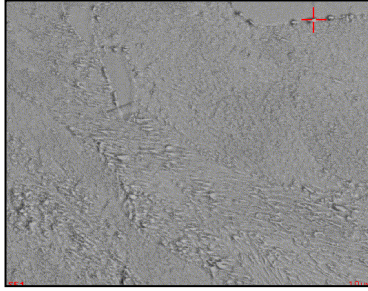
Element	Wt%	At%
CK	05.27	20.62
MoL	00.94	00.46
CrK	01.14	01.03
MnK	01.31	01.12
FeK	90.25	75.90
NiK	01.09	00.87
Matrix	Correction	ZAF



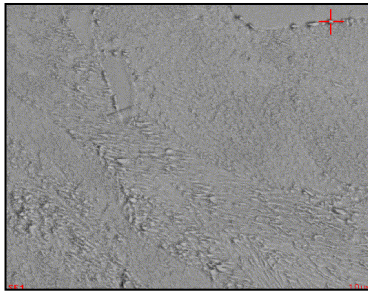
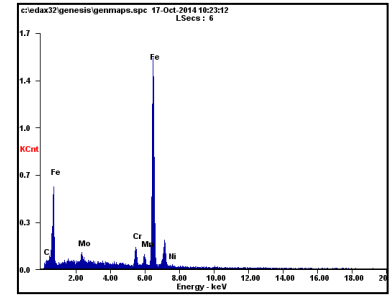
Element	Wt%	At%
CK	04.56	18.24
MoL	00.96	00.48
CrK	01.43	01.32
MnK	01.31	01.14
FeK	90.75	78.01
NiK	00.99	00.81
Matrix	Correction	ZAF



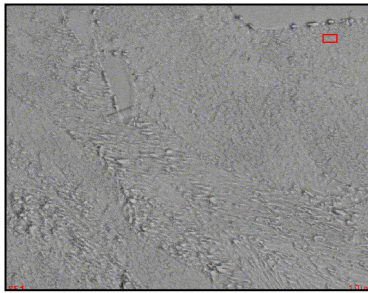
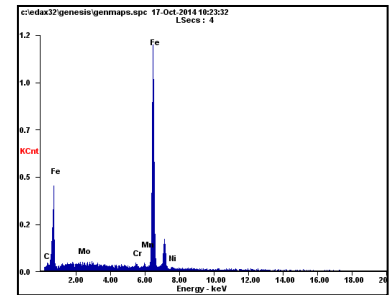




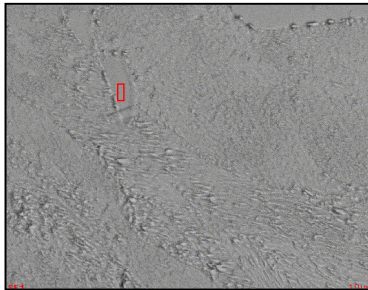
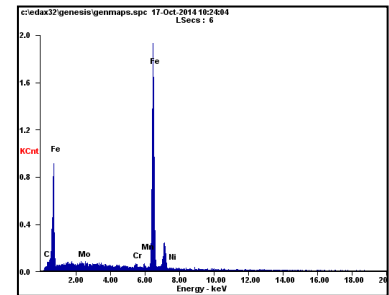
Element	Wt%	At%
CK	05.65	21.91
MoL	02.64	01.28
CrK	04.19	03.75
MnK	03.09	02.62
FeK	83.67	69.83
NiK	00.77	00.61
Matrix	Correction	ZAF



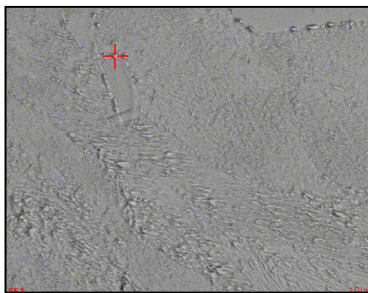
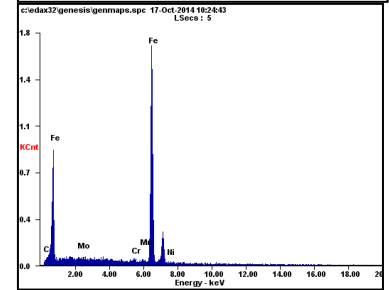
Element	Wt%	At%
CK	04.65	18.54
MoL	01.08	00.54
CrK	01.55	01.43
MnK	01.60	01.40
FeK	89.80	77.02
NiK	01.31	01.07
Matrix	Correction	ZAF



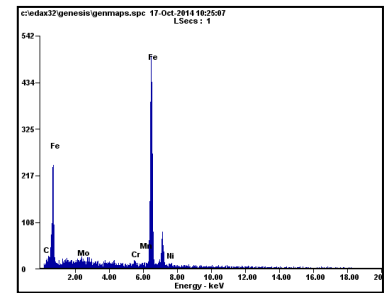
Element	Wt%	At%
CK	04.25	17.17
MoL	01.01	00.51
CrK	01.13	01.05
MnK	01.26	01.12
FeK	91.22	79.22
NiK	01.13	00.94
Matrix	Correction	ZAF

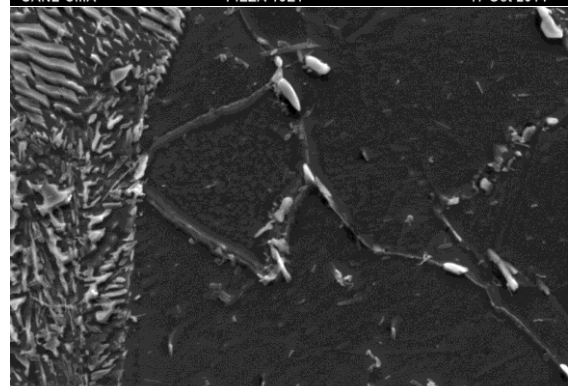
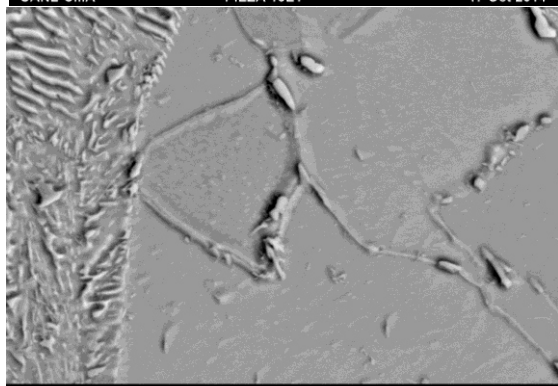
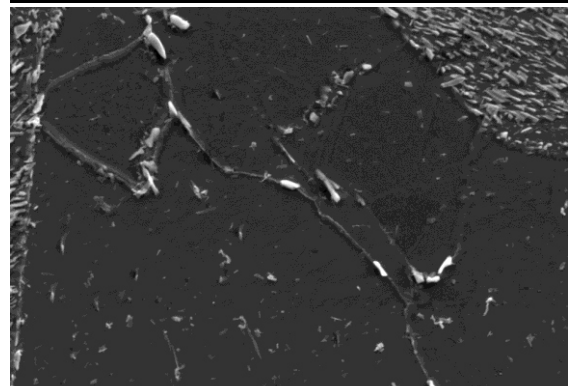
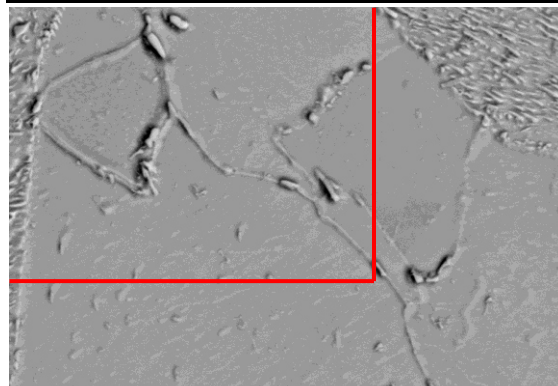
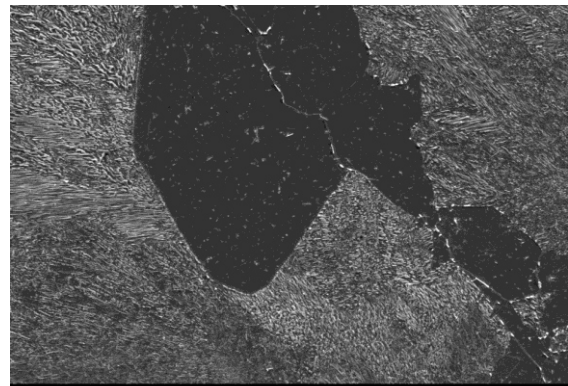
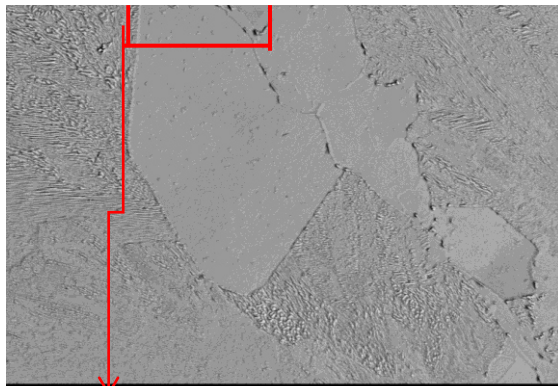


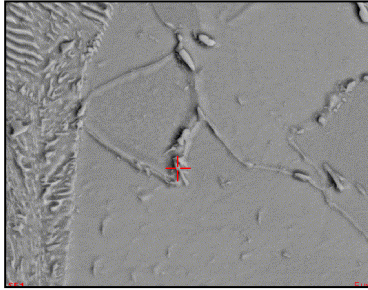
Element	Wt%	At%
CK	04.63	18.44
MoL	00.57	00.28
CrK	00.89	00.82
MnK	01.09	00.95
FeK	91.64	78.54
NiK	01.19	00.97
Matrix	Correction	ZAF



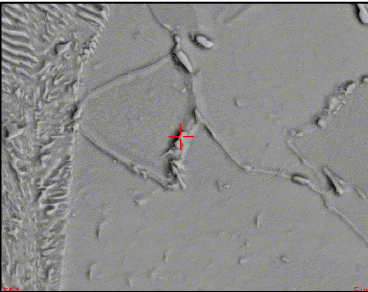
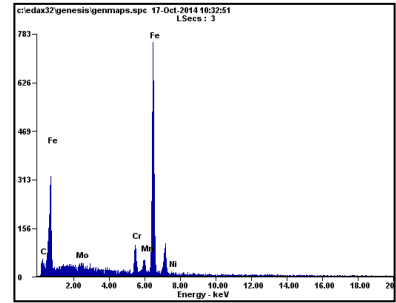
Element	Wt%	At%
CK	04.57	18.29
MoL	01.00	00.50
CrK	01.30	01.20
MnK	01.29	01.13
FeK	90.18	77.53
NiK	01.66	01.35
Matrix	Correction	ZAF



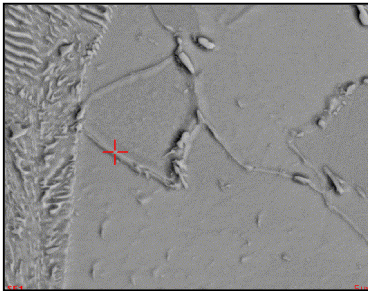
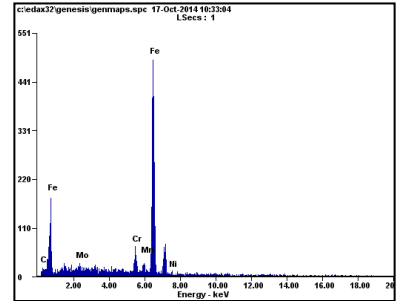




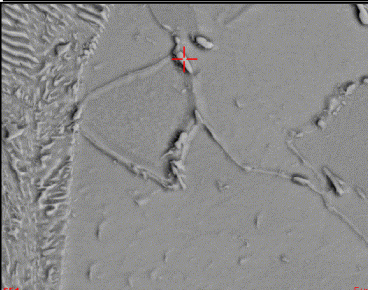
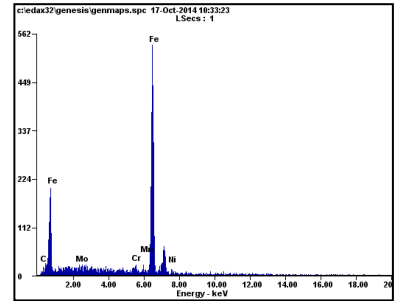
Element	Wt%	At%
CK	09.96	34.00
MoL	01.57	00.67
CrK	06.32	04.98
MnK	03.69	02.76
FeK	77.34	56.80
NiK	01.12	00.78
Matrix	Correction	ZAF



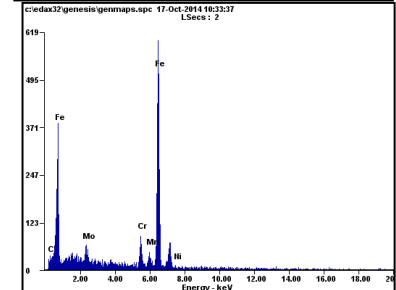
Element	Wt%	At%
CK	05.50	21.38
MoL	02.06	01.00
CrK	05.61	05.04
MnK	03.39	02.88
FeK	82.65	69.08
NiK	00.79	00.63
Matrix	Correction	ZAF

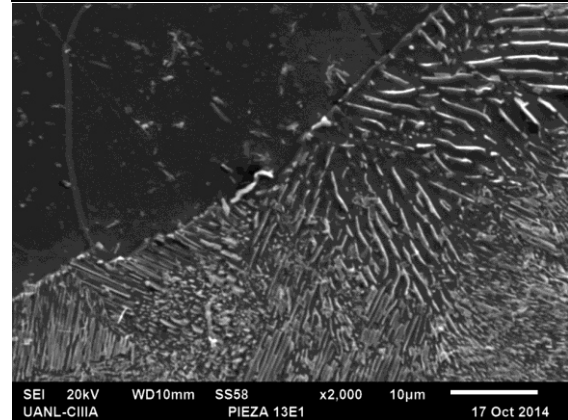
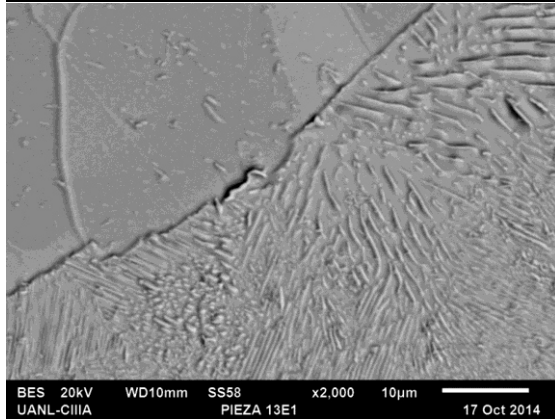
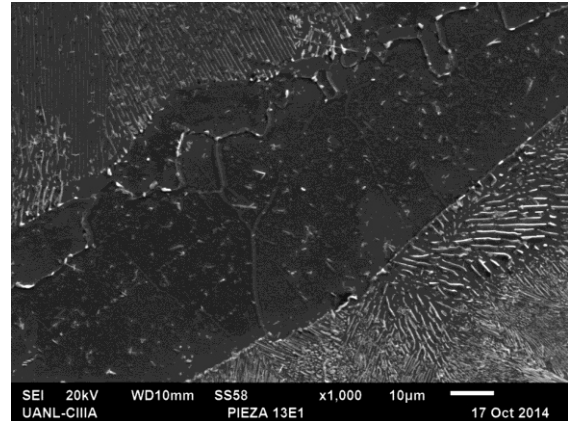
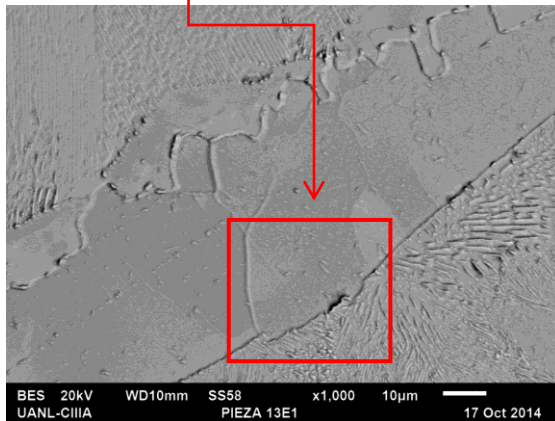
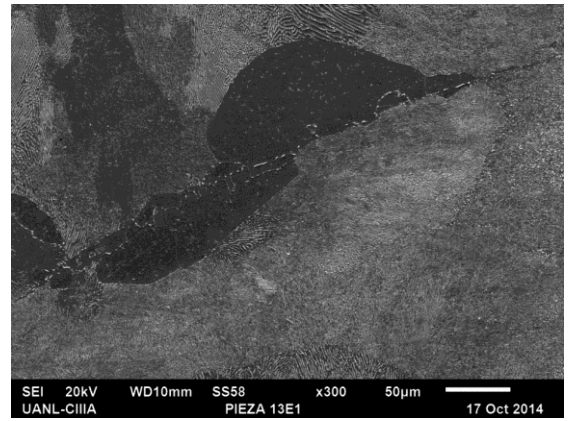
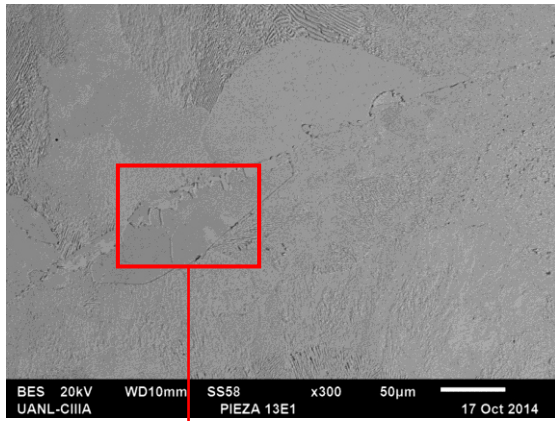


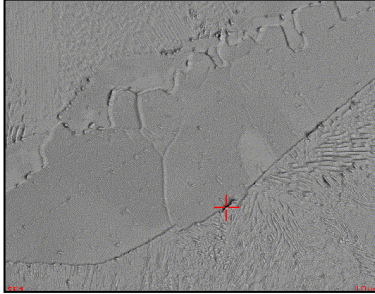
Element	Wt%	At%
CK	04.38	17.64
MoL	01.28	00.65
CrK	01.20	01.12
MnK	01.66	01.46
FeK	89.48	77.49
NiK	02.00	01.65
Matrix	Correction	ZAF



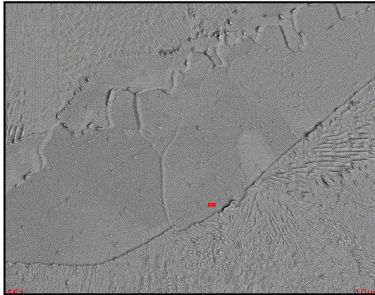
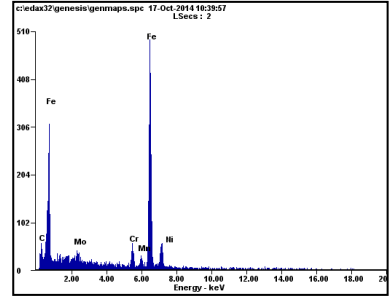
Element	Wt%	At%
CK	07.64	28.13
MoL	04.86	02.24
CrK	06.15	05.23
MnK	04.07	03.28
FeK	76.18	60.30
NiK	01.09	00.82
Matrix	Correction	ZAF



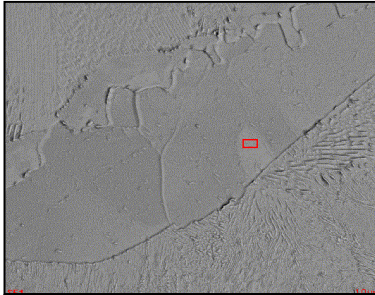
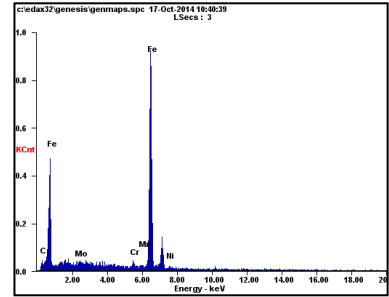




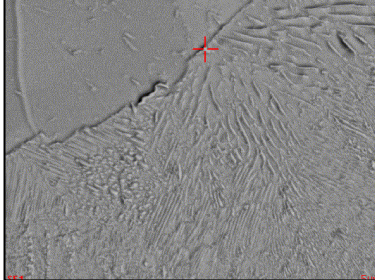
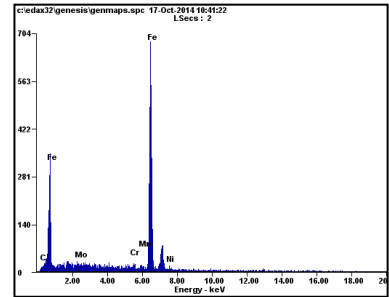
Element	Wt%	At%
CK	14.31	43.98
MoL	02.91	01.12
CrK	04.88	03.47
MnK	03.23	02.17
FeK	72.52	47.92
NiK	02.15	01.35
Matrix	Correction	ZAF



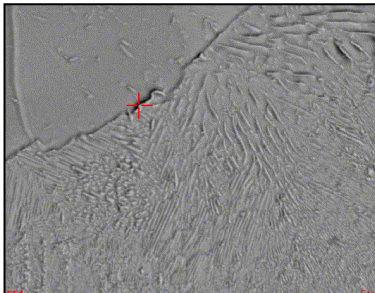
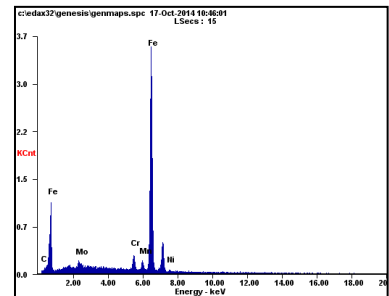
Element	Wt%	At%
CK	06.77	25.28
MoL	00.54	00.25
CrK	01.21	01.04
MnK	01.25	01.02
FeK	88.71	71.24
NiK	01.51	01.16
Matrix	Correction	ZAF



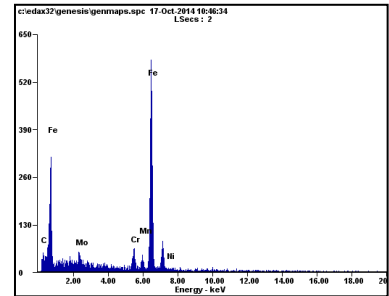
Element	Wt%	At%
CK	04.39	17.65
MoL	01.24	00.62
CrK	01.50	01.39
MnK	01.33	01.17
FeK	90.14	78.00
NiK	01.41	01.16
Matrix	Correction	ZAF



Element	Wt%	At%
CK	02.76	11.70
MoL	01.80	00.96
CrK	03.70	03.63
MnK	02.80	02.60
FeK	88.11	80.40
NiK	00.83	00.72
Matrix	Correction	ZAF



Element	Wt%	At%
CK	12.69	40.53
MoL	02.57	01.03
CrK	04.68	03.45
MnK	03.47	02.43
FeK	75.14	51.62
NiK	01.45	00.95
Matrix	Correction	ZAF

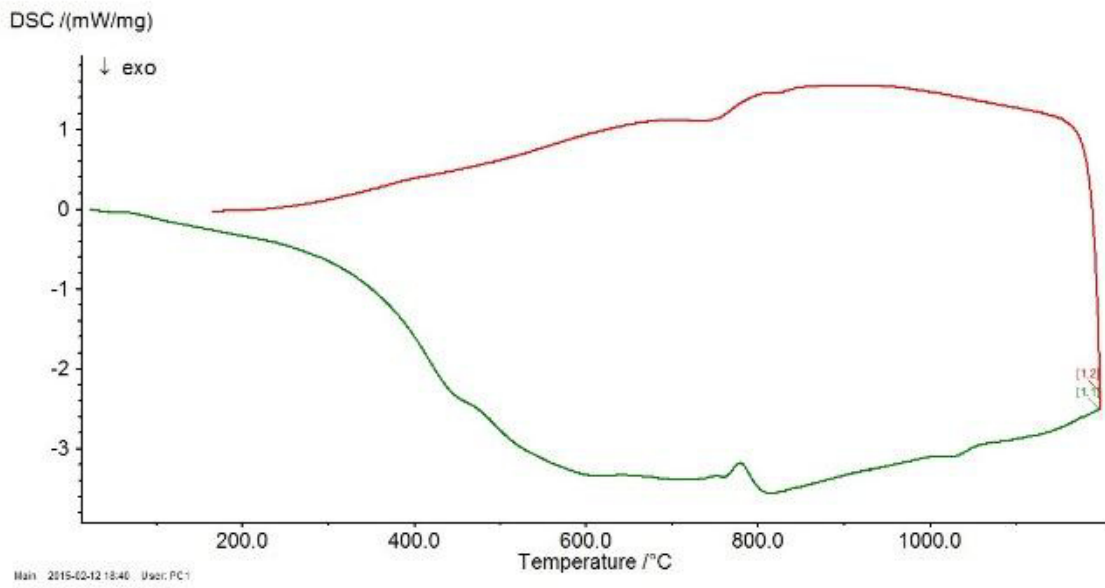
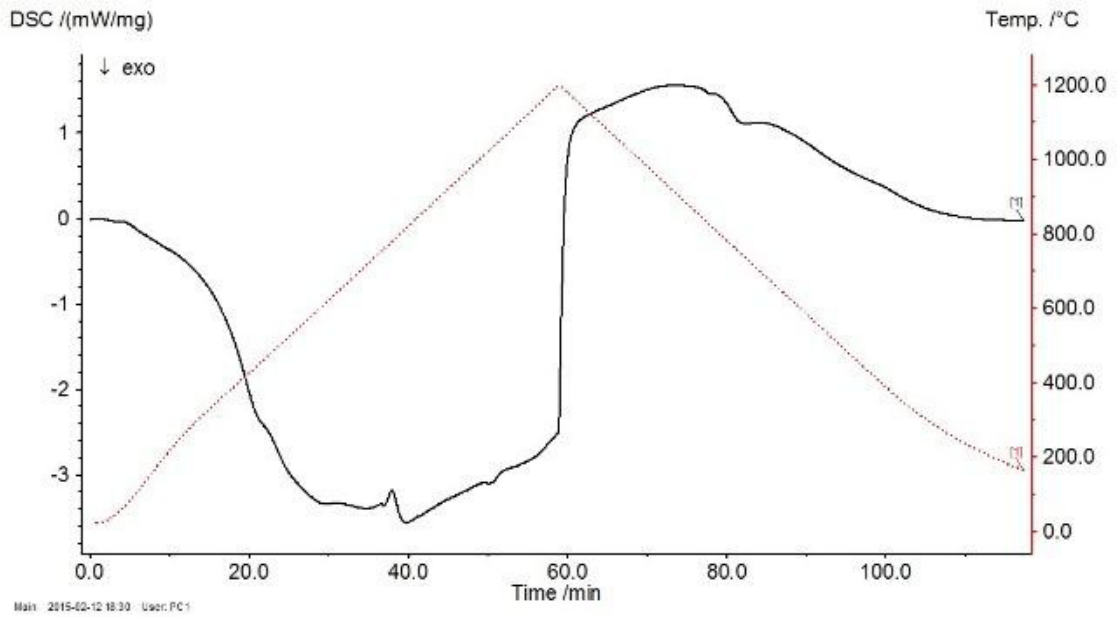


Anexo IV

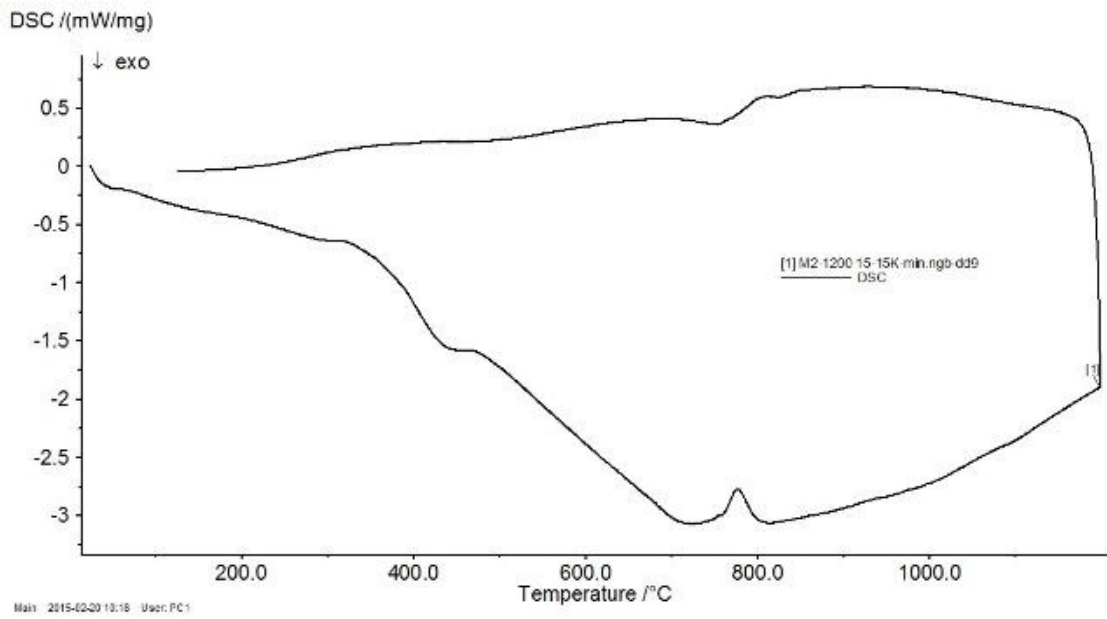
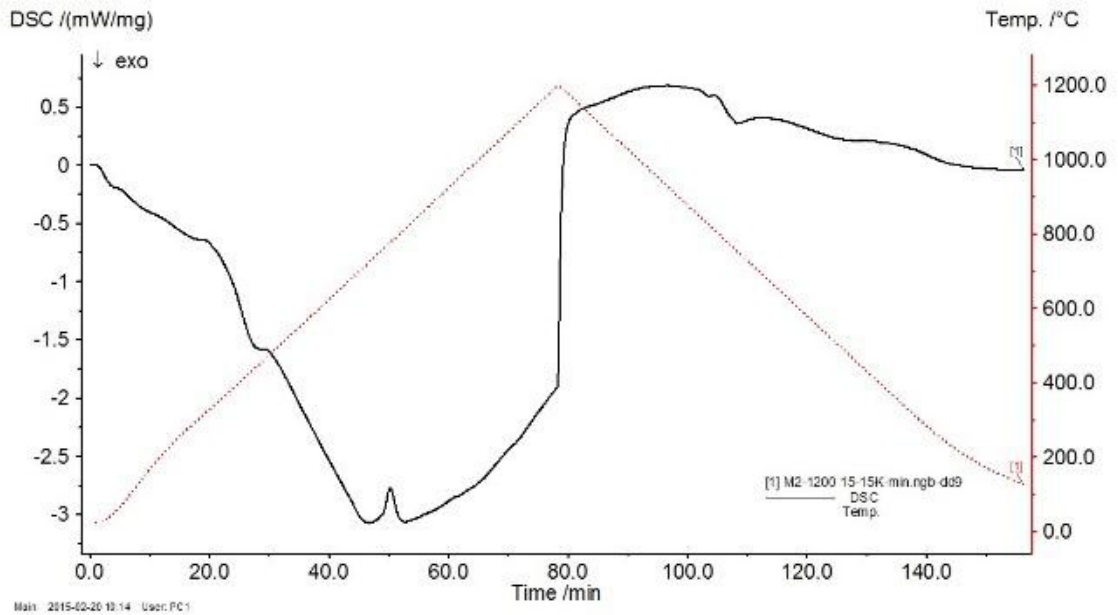
Resultados de las 8 muestras de calorimetría diferencial de barrido

En la primera figura de cada muestra se grafica el cambio en la entalpía del sistema por unidad de masa que es igual a la cantidad de energía que la muestra intercambia con el ambiente dentro del horno durante la prueba, en la misma gráfica está sobrepuesta la temperatura medida por el termopar del equipo en función del tiempo. En la segunda figura de cada muestra se grafican: el cambio en la entalpía durante el calentamiento (en color verde) y durante el enfriamiento de la muestra (en color rojo para las muestras sin isoterma, y con color azul para las muestras con isoterma) en función de la temperatura y mostrando que las curvas con el pico hacia abajo indica que es un proceso exotérmico, y las curvas con el pico hacia arriba, es un proceso endotérmico.

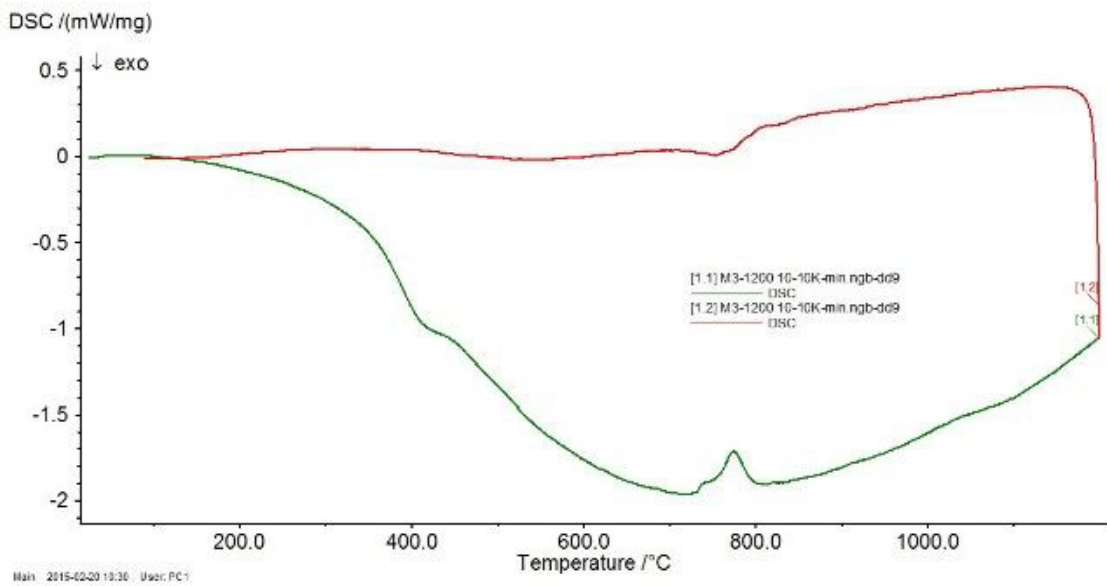
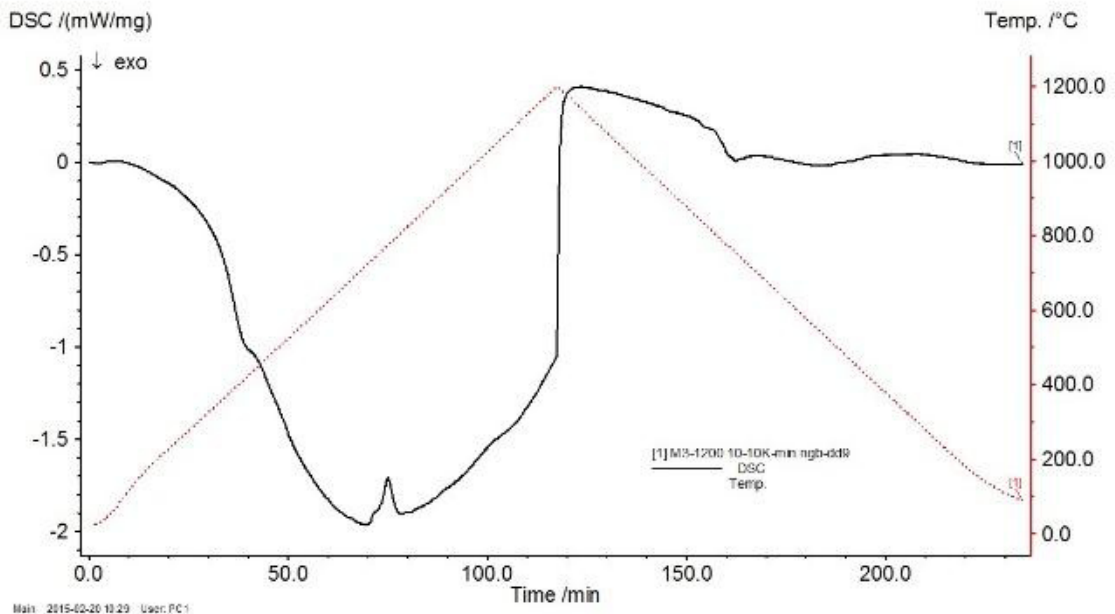
Muestra 1



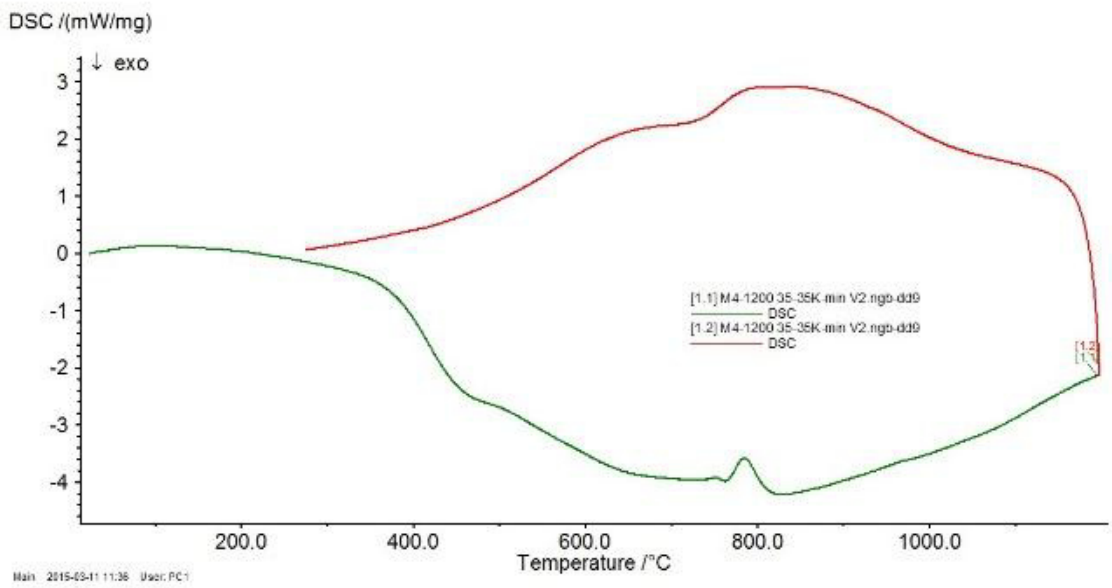
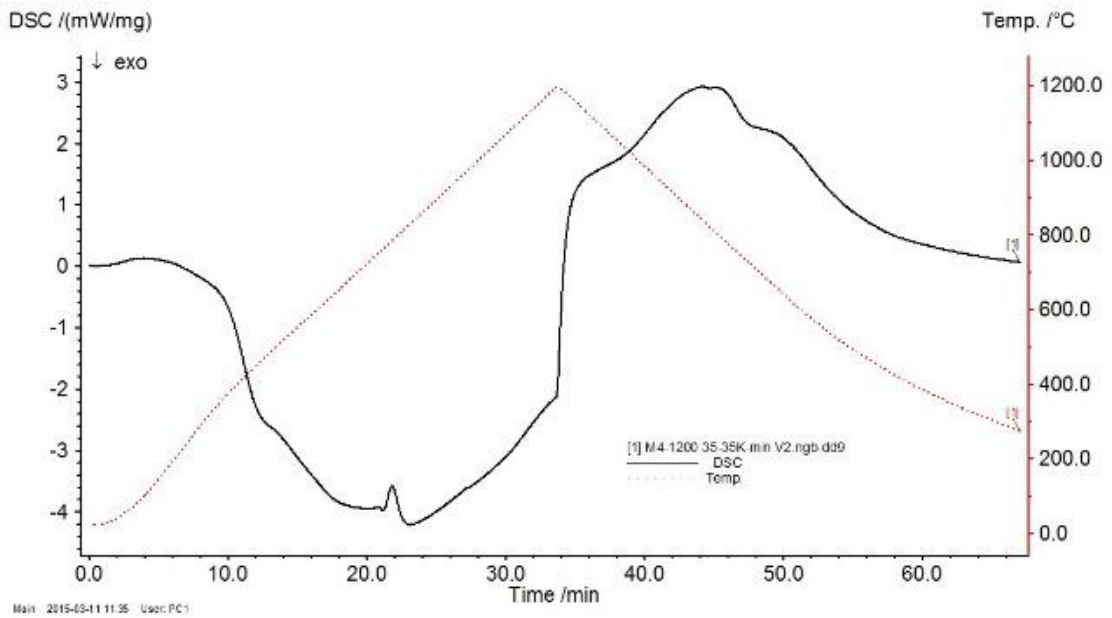
Muestra 2



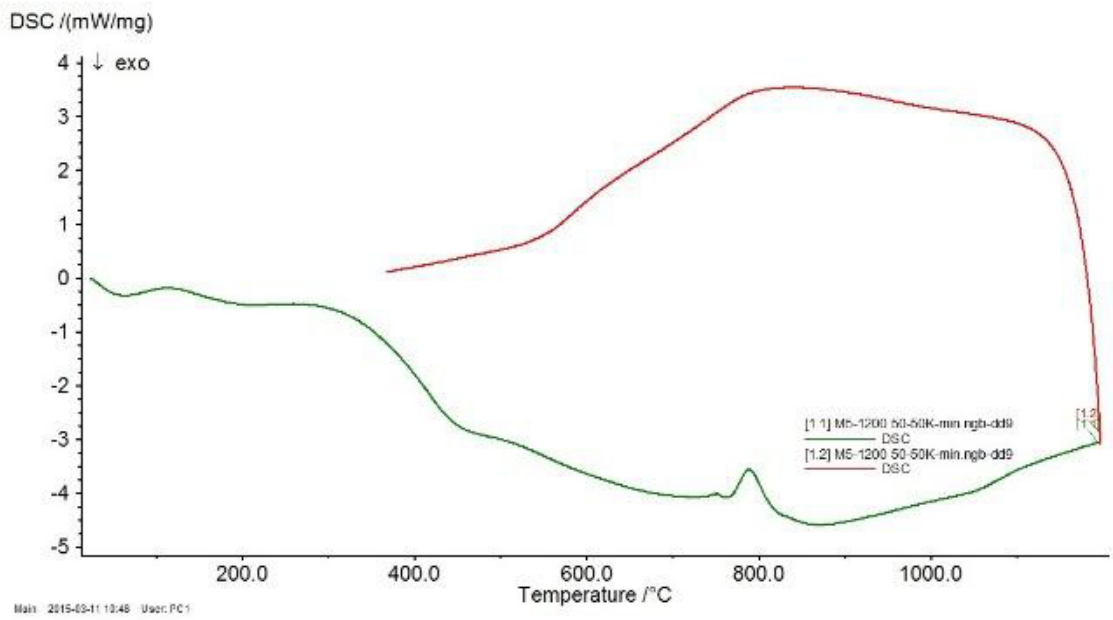
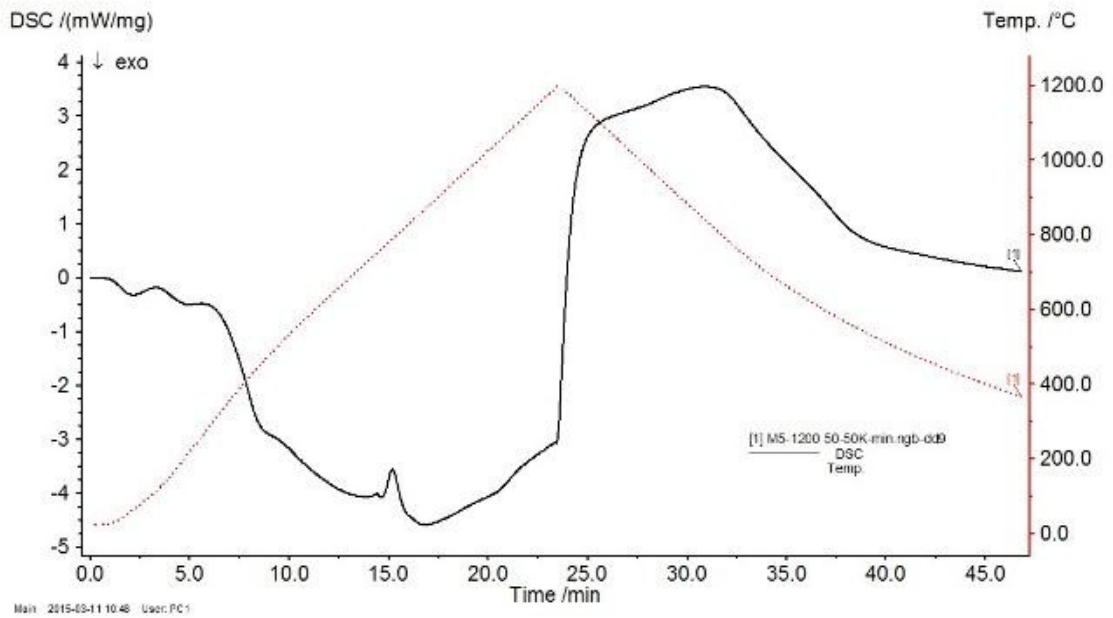
Muestra 3



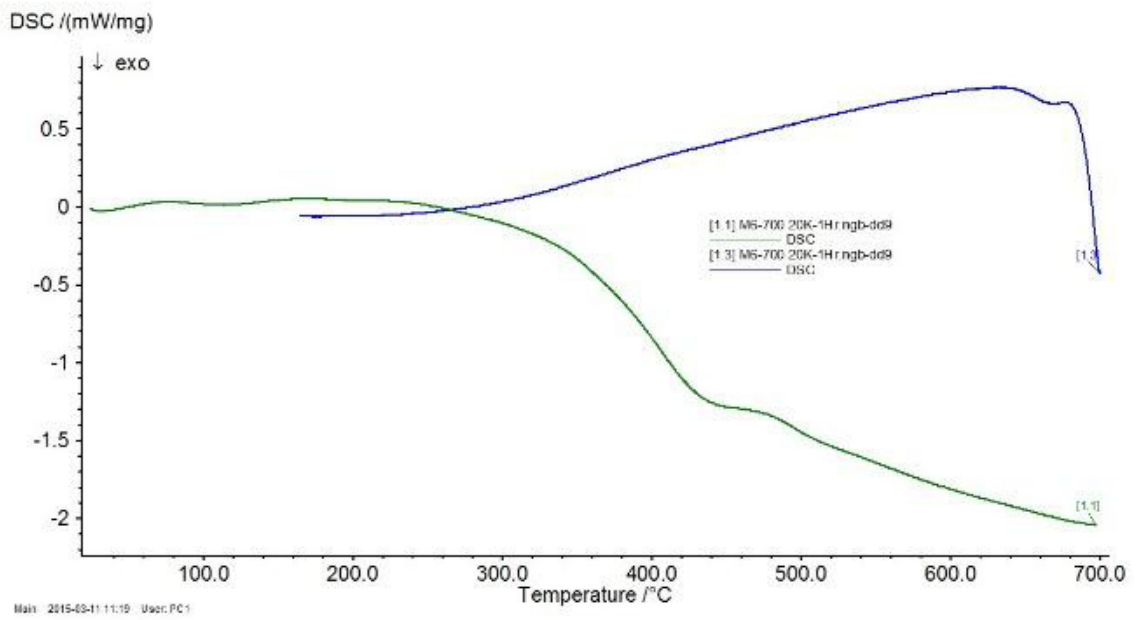
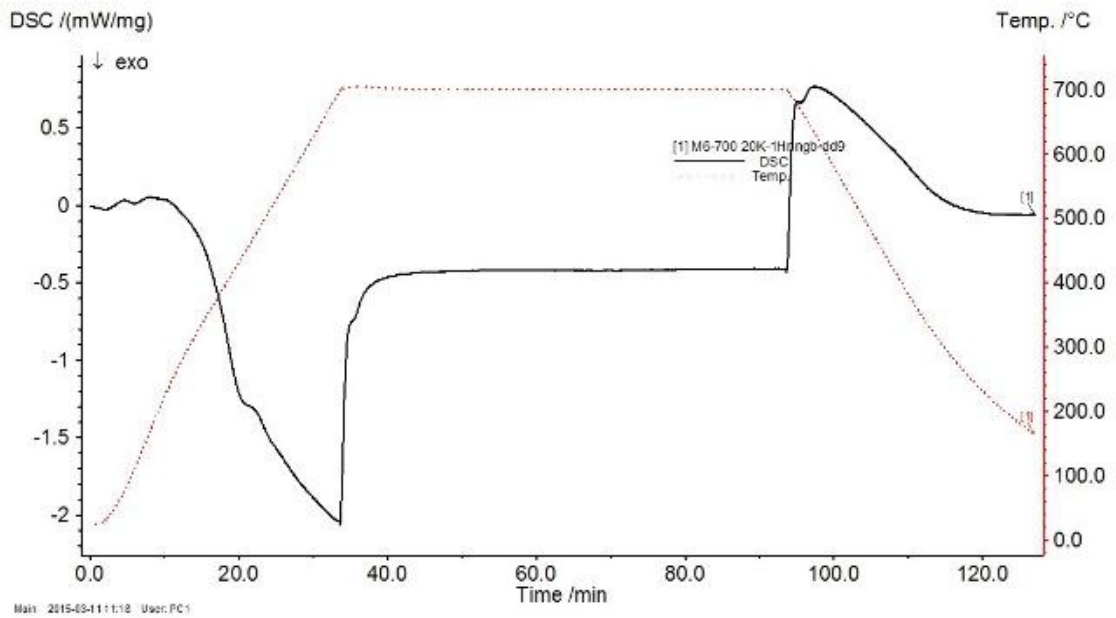
Muestra 4



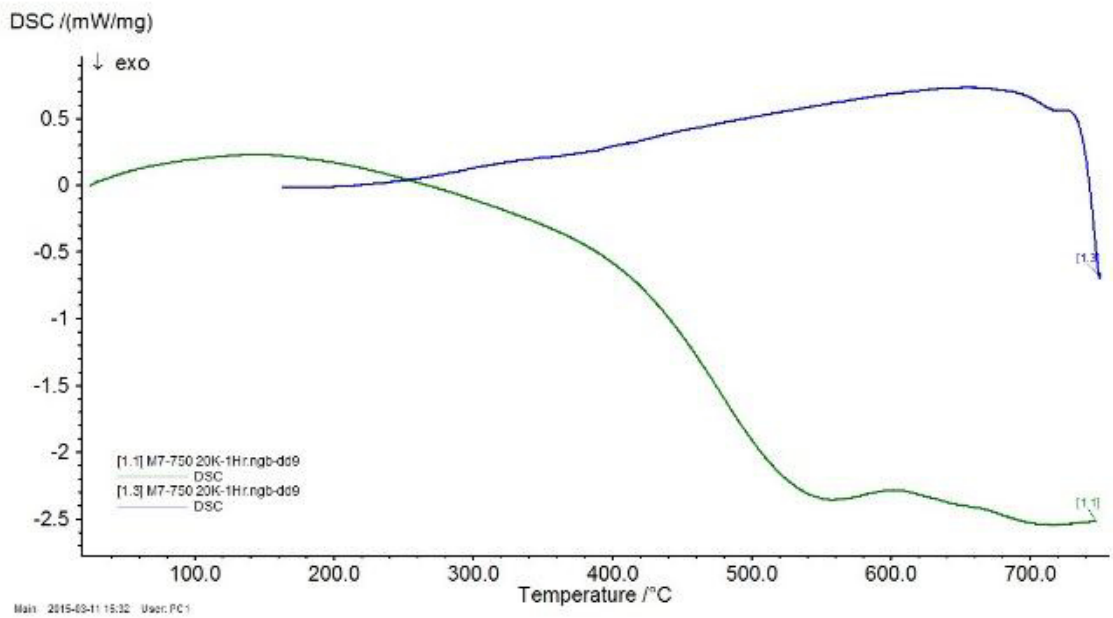
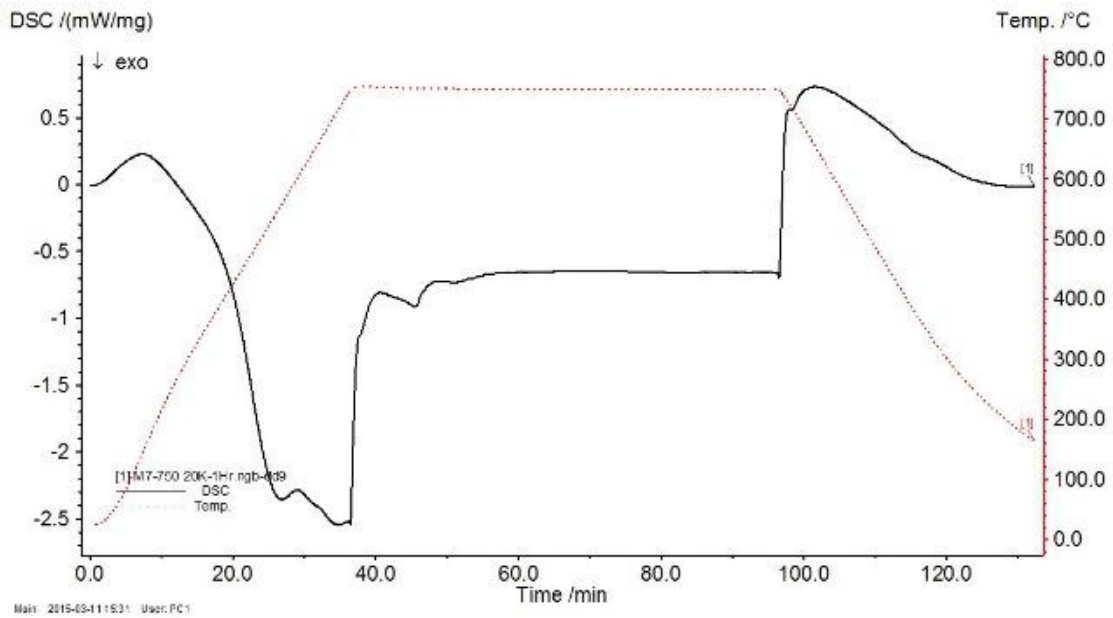
Muestra 5



Muestra 6



Muestra 7



Muestra 8

