Efecto sobre la microestructura del post-tratamiento térmico en uniones soldadas de acero inoxidable AISI /SAE 304 y 304L

Jairo Alberto Bautista Silva

Fabio Stiven Peña Almanza

Universidad Distrital Francisco José De Caldas

Facultad tecnológica

Tecnología Mecánica

Bogotá, Colombia

2020

Efecto sobre la microestructura del post-tratamiento térmico en uniones soldadas de acero inoxidable AISI /SAE 304 y 304L

Jairo Alberto Bautista Silva

Fabio Stiven Peña Almanza

Monografía en opción al grado de Tecnólogo Mecánico

Ing. MSc. Luis Hernando Correa Murillo

Universidad Distrital Francisco José De Caldas

Facultad tecnológica

Tecnología Mecánica

Bogotá, Colombia

2020

Nota de Aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Presidente Jurado

_____

Firma del Jurado

_____

Firma del Jurado

Contenido

1. TITULO 9
2. RESUMEN 9
3. INTRODUCCIÓN 10
4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 11
5. JUSTIFICACIÓN 12
5.1 ASPECTO TECNOLÓGICO 12
5.2 ASPECTO PROFESIONAL 12
5.3 ASPECTO SOCIAL 12
6. OBJETIVOS 13
6.1 OBJETIVO GENERAL 13
6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 13
7. MARCO TEÓRICO 14
7.1 ACERO INOXIDABLE 14
7.2 ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO 14
7.3 AUSTENITA 16
7.4 ACERO INOXIDABLE 304 Y 304L 16
7.4.1 Procesamiento: 17
7.4.2 Conformación: 17
7.4.3 Soldadura: 17
7.4.4 Corrosión: 17
7.5 BARRA DE APORTE 308L-16 17
7.6 TRATAMIENTO TÉRMICO 18
7.7 POST-TRATAMIENTO TÉRMICO 19
7.8 TEMPLE 19

7.9 RECOCIDO 19
7.10 ENFRIADO EN AGUA 20
7.11 ENFRIADO EN ACEITE 20
7.12 ENFRIADO AL AIRE LIBRE 21
7.13 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO 21
7.14 TAMAÑO DE GRANO 21
7.15 FASE 22
7.16 TRANSFORMACIÓN DE FASE 22
8. ESTADO DEL ARTE. 23
8.1 CRACK GROWTH STUDY OF DISSIMILAR STEELS (STAINLESS - STRUCTURAL) BUTT-WELDED UNIONS UNDER CYCLIC LOADS 23
8.2 EFFECT OF POST WELD HEAT TREATMENT (PWHT) ON THE MICROSTRUCTURE, MECHANICAL PROPERTIES, AND CORROSION RESISTANCE OF DISSIMILAR STAINLESS STEELS 24
9. METODOLOGÍA 25
9.1 PREPARACIÓN DE PROBETAS 25
9.2 POST-TRATAMIENTOS TÉRMICOS 27
9.3 PREPARACIÓN MUESTRAS METALOGRÁFICAS 28
9.4 ENSAYO ATAQUE QUÍMICO 29
9.5 MICROSCOPIA ÓPTICA 30
9.6 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO 30
10. UNIDAD DE ANÁLISIS 31
10.1 FASES PRINCIPALES. 31
Análisis diagrama de Schaeffler 31
Análisis grafica hierro cromo 33
10.2 FORMACIÓN DE CARBUROS. 37
10.3 DETERMINACIÓN CAMBIO DEL TAMAÑO DEL GRANO. 39
10.4 OBSERVACION ZAC Y MATERIAL BASE 50

11. CONCLUSIONES. 51
12. RECOMENDACIONES 51
13. Bibliografía 52

Ilustración 1 Composición aceros inoxidables austeníticos partiendo del acero inoxidable 304 15
Ilustración 2 soldadura acero inoxidable austenitico y acero estructural 23
Ilustración 3 aumento en límite de grano y creaciones de carburos 24
Ilustración 4 probeta identificando sus diferentes zonas 24
Ilustración 5 c) Acero inoxidable 304 a 860 C d) Acero inoxidable 304 a 960C. 25
Ilustración 6 Lámina pre soldadura. 25
Ilustración 7 Láminas pre-soldadura 26
Ilustración 8 Isométrico de soldadura en laminas 26
Ilustración 9 Vista frontal soldadura en laminas 26
Ilustración 10 Probetas soldadas y cortadas 27
Ilustración 11 mufla digital ACEQUILABS MF 27
Ilustración 12 enfriamiento de las probetas 28
Ilustración 13 pulidora METKON FORCIPOL 2V 28
Ilustración 14 ácidos utilizados para la revelación de los granos en aceros inoxidables 29
Ilustración 15 microscopio óptico AXIO OBSERVER D1M 30
Ilustración 16 diagrama de scheaffler 31
Ilustración 17 Diagrama hierro cromo 33
Ilustración 18 matriz austenitica con delta ferrítica 34
Ilustración 19 microscopia electrónica de barrido acero inoxidable 304 con pos tratamiento térmico y enfriamiento al aire aumento x2000 35
Ilustración 20 composición química acero inoxidable 304 con post tratamiento térmico enfriado al aire 36
Ilustración 21 microscopia electrónica de barrido acero inoxidable 304L con pos tratamiento térmico y enfriamiento al aire aumento x2000 36
Ilustración 22 composición química acero inoxidable 304L con post tratamiento térmico enfriado al aire 36

Ilustración 23 microscopia electrónica de barrido acero inoxidable 304 con pos tratamiento térmico y enfriamiento en la mufla aumento x2000 37
Ilustración 24 microscopia electrónica de barrido acero inoxidable 304L con pos tratamiento térmico y enfriamiento en la mufla aumento x2000 37
Ilustración 25 aumento en creación de carburos..... 38
Ilustración 26 Microscopia óptica acero inoxidable 304 con post tratamiento térmico y enfriamiento en la mufla aumento x200 40
Ilustración 27 vista general Microscopia óptica acero inoxidable 304 con post tratamiento térmico y enfriamiento en la mufla aumento x200 40
Ilustración 28 Microscopia óptica acero inoxidable 304L con post tratamiento térmico y enfriamiento en la mufla aumento x200 41
Ilustración 29 vista general Microscopia óptica acero inoxidable 304L con post tratamiento térmico y enfriamiento en la mufla aumento x200 41
Ilustración 30 Microscopia óptica acero inoxidable 304 con post tratamiento térmico y enfriamiento al aire aumento x200 42
Ilustración 31 vista general Microscopia óptica acero inoxidable 304 con post tratamiento térmico y enfriamiento al aire aumento x200 42
Ilustración 32 Microscopia óptica acero inoxidable 304L con post tratamiento térmico y enfriamiento al aire aumento x200 43
Ilustración 33 vista general Microscopia óptica acero inoxidable 304L con post tratamiento térmico y enfriamiento al aire aumento x200 43
Ilustración 34 Microscopia óptica acero inoxidable 304 sin post tratamiento térmico aumento x200 44
Ilustración 35 vista general Microscopia óptica acero inoxidable 304 sin post tratamiento térmico aumento x200 44
Ilustración 36 Microscopia óptica acero inoxidable 304L sin post tratamiento térmico aumento x200 45
Ilustración 37 vista general Microscopia óptica acero inoxidable 304L sin post tratamiento térmico aumento x200 45
Ilustración 38 Microscopia óptica acero inoxidable 304 con post tratamiento térmico y enfriamiento en agua aumento x200..... 46
Ilustración 39 vista general Microscopia óptica acero inoxidable 304 con post tratamiento térmico y enfriamiento en agua aumento x200..... 46

Ilustración 40 Microscopia óptica acero inoxidable 304L con post tratamiento térmico y enfriamiento en agua aumento x200 47
Ilustración 41 vista general Microscopia óptica acero inoxidable 304L con post tratamiento térmico y enfriamiento en agua aumento x200 47
Ilustración 42 Microscopia óptica acero inoxidable 304 con post tratamiento térmico y enfriamiento en aceite aumento x200 48
Ilustración 43 vista general Microscopia óptica acero inoxidable 304 con post tratamiento térmico y enfriamiento en aceite aumento x200 48
Ilustración 44 Microscopia óptica acero inoxidable 304L con post tratamiento térmico y enfriamiento en aceite aumento x200 49
Ilustración 45 vista general Microscopia óptica acero inoxidable 304L con post tratamiento térmico y enfriamiento en aceite aumento x200 49
Ilustración 46 Diferencia entre material base, ZAC y soldadura. 50

Tabla 1 Composición química aceros inoxidables 304 y 304l 16
Tabla 2 composición química barra de aporte 308l-16 18
Tabla 3composicion quimica acero inoxdable 304 con post tratamiento termico enfriado al aire 35
Tabla 4 composición química acero inoxidable 304L con post tratamiento térmico enfriado al aire 37
Tabla 5 datos tamaño de grano recocido 304 40
Tabla 6 datos tamaño de grano recocido 304L 41
Tabla 7datos tamaño de grano enfriado al aire 304 42
Tabla 8 datos tamaño de grano enfriado al aire 304L 43
Tabla 9 datos tamaño de grano STT 304 44
Tabla 10 datos tamaño de grano STT 304L 45
Tabla 11datos tamaño de grano enfriado en agua 304 46
Tabla 12 datos tamaño de grano enfriado en agua 304L 47
Tabla 13 datos tamaño de grano enfriado en aceite 304 48
Tabla 14 datos tamaño de grano enfriado en aceite 304L 49

1. TITULO

Efecto sobre la microestructura del post-tratamiento térmico en uniones soldadas de acero inoxidable AISI /SAE 304 y 304L

2. RESUMEN

El objetivo de este informe es evidenciar el cambio micro estructural que presenta el acero inoxidable base 304 y un acero derivado de este el cual es un acero inoxidable 304L quien presenta diferentes propiedades químicas, a estos dos aceros se les aplicaron diferentes tratamientos térmicos donde está incluida una soldadura con material de aporte E308-16 y diferentes temples, con el fin de analizar el cambio en la zona afectada por el calor (ZAC) de cada uno de estos.

Para analizar estas probetas se utilizaron los métodos de microscopia óptica y microscopia electrónica de barrido (SEM), las cuales ayudaron a evidenciar las fases que se pueden generar y los diferentes cambios en los granos, para este proceso fue necesario la aplicación de químicos que revelaran dichos cambios micro estructural en las imágenes de las muestras.

Este proyecto dará un conocimiento extra en cuanto al material a trabajar y los diferentes procesos que se le aplicaran, con el fin de obtener el título de tecnología en mecánica, este texto mostrara la información necesaria para dar a entender al lector los objetivos y procedimientos realizados

3. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la industria elige optimizar sus procesos, reducir tiempos y reducir gastos en mantenimientos, por esto muchas empresas optan por diferentes mantenimientos correctivos, entre estos, está la soldadura.

El acero inoxidable Tipo 304 es el más utilizado de los aceros inoxidables austeníticos (cromo/níquel). En la condición de recocido, es fundamentalmente no magnético y se torna magnético al trabajarse en frío. El acero inoxidable Tipo 304L se prefiere en las aplicaciones de soldadura para excluir la formación de carburos de cromo durante el enfriamiento en la región afectada por el calor de la soldadura. Estas aleaciones representan una excelente combinación de resistencia a la corrosión y facilidad de fabricación (NKS, s.f.)

Gracias a que este tipo de soldadura que es de gran utilidad en la industria, se decide realizar este proyecto y así poder ver los cambios que esta genera en un acero inoxidable, más profundamente en la zona afectada por el calor que es producida por la unión soldada, al analizar los cambios que surgen en esta zona se procede a realizar varios post-tratamientos térmicos para observar nuevamente los cambios que presenta su microestructura o si aparecen factores adicionales como carburos que son muy comunes en estas operaciones.

Para determinar estos cambios se plantea una serie de objetivos que son los que llevaran a cabo el proyecto, entre estos objetivos se encuentra el análisis mediante microscopio óptico y microscopio electrónico de barrido, que son los instrumentos elementales para determinar dichos cambios.

4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El acero inoxidable 304 y 304L es muy utilizado en la industria nacional para la fabricación de recipientes de almacenamiento y transporte de alimentos como lo son los tanques, tuberías, silos, bandejas o moldes a los cuales se les deben aplicar soldaduras para su construcción, el cual genera cambios en la estructura original del material base ya sea por la mala preparación y aplicación de la misma o por el calor generado durante la aplicación del material de aporte.

Otro de los principales problemas que se crea al realizar estos tratamientos térmicos es la corrosión intergranular la cual se crea a partir de la sensibilización de los metales, al realizar un enfriamiento de una forma lenta, en el límite de grano se crearan precipitaciones las cuales harán que el material pierda su resistencia a la corrosión generando futuros daños de agrietamientos u oxidación, este problema se evidencia con la generación de carburos de cromo en los límites de grano los cuales generan un empobrecimiento en las zonas aledañas a estos y quedando débil la capa pasiva de óxido de cromo que protege el material.

5. JUSTIFICACIÓN

5.1 ASPECTO TECNOLÓGICO

Este proyecto ayudara a enfocar los conocimientos adquiridos a través de la carrera (tecnología mecánica) en el área de materiales, donde se utilizarán los análisis microscópicos, el desarrollo de tratamientos térmicos, el mecanizado de las piezas de acero inoxidable, el proceso de soldadura de las probetas y el estudio de las zonas que se quieren analizar, logrando llegar a una conclusión efectiva para nuestros estudios.

5.2 ASPECTO PROFESIONAL

En la actualidad las uniones soldadas de este material son muy utilizadas en la fabricación de tanques y tuberías para el transporte y almacenamiento de alimentos las cuales no están exceptas de averías, al finalizar este proyecto se quiere llegar a una posible solución del análisis microscópico que genera la soldadura en una base de acero inoxidable (304 y 304L) logrando una mejora tecnológica en el proceso anteriormente señalado.

5.3 ASPECTO SOCIAL

Al terminar la investigación se logrará tener un documento útil para la industria de la fabricación de componentes en acero inoxidable (304 y 304L), la cual tendrá como objetivo mejorar las propiedades de dicho material y así evitar daños en las estructuras las cuales pueden generar accidentes al personal que trabaja en el entorno de estos componentes

6. OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar la microestructura de la zona afectada por el calor, en placas de acero inoxidable AISI/SAE 304 y 304L, soldadas con electrodo revestido, luego de un post-tratamiento térmico, con enfriados en agua, aceite, aire y recocido.

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar muestras de acero inoxidable AISI/SAE 304 y 304L, soldadas con electrodo revestido y aplicando diferentes post-tratamientos térmicos.
- Realizar el análisis metalográfico mediante microscopia óptica, en la zona afectada por el calor de las uniones soldadas.
- Realizar el análisis metalográfico mediante microscopia electrónica de barrido, en la zona afectada por el calor de las uniones soldadas.
- Identificar la zona afectada térmicamente y las fases generadas por cada uno de los post-tratamientos térmicos en el acero inoxidable soldado con electrodo revestido.

7. MARCO TEÓRICO

7.1 ACERO INOXIDABLE

Los aceros inoxidables son aleaciones base hierro, cromo, carbono, a los cuales se les añaden otros elementos, tales como níquel, molibdeno, manganeso, silicio y titanio, entre otros, que les confieren una buena resistencia a algunos tipos de corrosión en determinadas aplicaciones industriales. La presencia de cada elemento en determinados porcentajes produce distintas variaciones de las características intrínsecas de los diversos tipos. Según la norma EN 10088 se define a los aceros inoxidables como aquellas aleaciones férreas que contienen cromo en una proporción mínima del 10.5 %.

Esta característica de buena resistencia a la corrosión se debe a la capacidad de estas aleaciones de formar una capa pasiva que es una película adherente y estable de óxido de cromo (Cr203), también llamada cromita, que es la encargada de proteger el acero en un ambiente oxidante. Dicha película pasiva se vuelve a reconstruir cuando es dañada, si el ambiente es suficientemente oxidante, manteniendo una protección permanente del acero.[1]

7.2 ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO

El contenido de cromo en estos aceros varía entre el 16 y el 26%; los contenidos de níquel y manganeso pueden alcanzar los niveles de 35 y 16% respectivamente. La estructura austenítico en estos aceros se estabiliza a temperatura ambiente por medio de la adición de elementos como el níquel, manganeso y nitrógeno.

La familia de los aceros austeníticos se divide en dos grupos

a) Aceros austeníticos al cromo-manganeso-níquel, designados por un número de tres cifras que comienza con la cifra 2, conocidos como la serie 200, que se caracteriza por una alta resistencia mecánica, debida a la presencia del azufre y el manganeso, en el que las dos últimas cifras dependen de otros elementos.

[1] (ALANIS, 2011)

b) Aceros austeníticos al cromo-níquel, designados por un número 3, serie 300, que tiene como composición básica 12% Cr y 8% de Ni, siendo la gama de aceros con más éxito a nivel comercial. Para esta serie la composición química se modifica según el tipo de uso del material añadiendo o reduciendo elementos tales como el carbono y/o el nitrógeno y/o modificando el balance níquel/cromo.

Los aceros tipo AISI 302 (17% Cr, 8% Ni) y AISI 304 (18% Cr, 8% Ni) se consideran aleaciones básicas de los aceros inoxidables austeníticos. La composición particular de estos aceros debido al contenido mínimo de níquel (por lo tanto un menor costo) requerido para retener la fase γ a temperatura ambiente.[2]

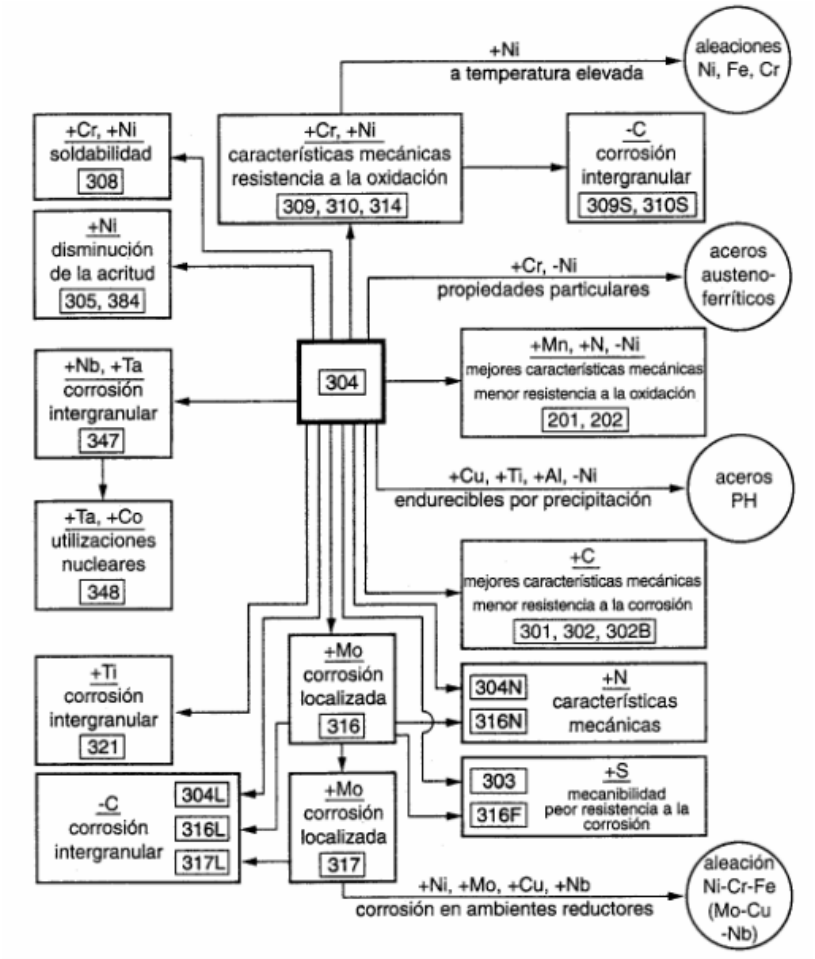


Ilustración 1 Composición aceros inoxidables austeníticos partiendo del acero inoxidable 304

Fuente: (ALANIS, 2011)

[2] (ALANIS, 2011)

7.3 AUSTENITA

Es el constituyente más denso de los aceros y está formado por una solución sólida por inserción de carbono en hierro gamma. La cantidad de carbono disuelto, varía de 0.8 al 2 % C que es la máxima solubilidad a la temperatura de 1130 °C.

La austenita no es estable a la temperatura ambiente pero existen algunos aceros al cromo-níquel denominados austeníticos cuya estructura es austenita a temperatura ambiente. La austenita está formada por cristales cúbicos centrados en las caras, con una dureza de 300 Brinell, una resistencia a la tracción de 100 kg/mm2 y un alargamiento del 30 %, no es magnética.[3]

7.4 ACERO INOXIDABLE 304 Y 304L

Tabla 1 Composición química aceros inoxidables 304 y 304l

Elemento	**Tipo 304**	**Tipo 304L**
Carbón	0.07 máx.	0.030 máx.
Manganeso	2.00 máx.	2.00 máx.
Azufre	0.030 máx.	0.030 máx.
Fósforo	0.045 máx.	0.045 máx.
Silicio	0.75 máx.	0.75 máx.
Cromo	17.5 a 19.5	18,0 a 20,0
Níquel	8.0 a 10.5	8.0 a 12.0
Nitrógeno	0.10 máx.	0.10 máx.

Fuente: ASM metals handbook volumen 9 metallography and microstructures.

[3] (ecured, s.f.)

7.4.1 Procesamiento:

- Los Tipos 304 y 304L no pueden endurecerse mediante tratamiento térmico.
- Recocido: Calentar a 1850 °F a 2050 °F (1010 a 1121 °C) y enfriar a índices suficientemente altos de 1500 °F a 800 °F (816 a 427 °C) para evitar la precipitación de carburos de cromo.
- Recocido de alivio de tensión: Se debe aliviar la tensión de las piezas trabajadas en frío a 750 °F (399 °C) durante ½ a 2 horas.

7.4.2 Conformación:

Los Tipos 304 y 304L recocidos pueden fabricarse mediante formación de rollos, extracción profunda, doblez y la mayoría de otras técnicas de fabricación. Dado el alto índice de endurecimiento en el trabajo de estos materiales, posiblemente se requieran recocidos intermedios para fabricar correctamente la pieza.

7.4.3 Soldadura:

Los Tipos 304 y 304L pueden soldarse utilizando la mayoría de las técnicas de soldadura de fusión o resistencia. Si se requiere metal de relleno, normalmente se usa el Tipo 308. Se debe usar el Tipo 304L en secciones más pesadas para reducir la ocurrencia de precipitación de carburos en la región afectada por el calor adyacente al grupo soldado

7.4.4 Corrosión:

Los Tipos 304 y 304L proporcionan resistencia a la corrosión en una amplia variedad de condiciones de oxidación y reducción moderadas, agua fresca y aplicaciones no marinas.[4]

7.5 BARRA DE APORTE 308L-16

Electrodo manual para aceros inoxidables austeníticos, revestimiento rutílico, puede trabajar en toda posición, utiliza corriente continua-electrodo positivo o corriente alterna y es resistente a la corrosión intergranular

Sirve especialmente Para soldadura de aceros inoxidables que contienen 16-21% Cr, 8-13% Ni, aceros estabilizados y no estabilizados (302, 304, 304L,

[4] (NKS, s.f.)

304LN, 308, 321, 347), Su bajo contenido de carbono previene la precipitación de carburos de cromo, generando una excelente protección contra la corrosión intergranular - Fácil remoción de escoria (Indura)

Tabla 2 composición química barra de aporte 308l-16

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
0.02	0.63	0.76	0.025	0.008	18.7	10.0	0.18

Fuente: tomada de http://www.indura.com.ar/content/storage/ar/producto/ID4365_file_1127_308l.pdf

7.6 TRATAMIENTO TÉRMICO

El Tratamiento Térmico involucra varios procesos de calentamiento y enfriamiento para efectuar cambios estructurales en un material, los cuales modifican sus propiedades mecánicas. El objetivo de los tratamientos térmicos es proporcionar a los materiales unas propiedades específicas adecuadas para su conformación o uso final. No modifican la composición química de los materiales, pero si otros factores tales como los constituyentes estructurales y la granulometría, y como consecuencia las propiedades mecánicas. Se pueden realizar Tratamientos Térmicos sobre una parte o la totalidad de la pieza en uno o varios pasos de la secuencia de manufactura. En algunos casos, el tratamiento se aplica antes del proceso de formado (recocido para ablandar el metal y ayudar a formarlo más fácilmente mientras se encuentra caliente). En otros casos, se usa para aliviar los efectos del endurecimiento por deformación. Finalmente, se puede realizar al final de la secuencia de manufactura para lograr resistencia y dureza.

Un tratamiento térmico consta de tres etapas que se presentan a continuación:

• Calentamiento hasta la temperatura fijada: La elevación de temperatura debe ser uniforme en la pieza.

• Permanencia a la temperatura fijada: Su fin es la completa transformación del constituyente estructural de partida. Puede considerarse suficiente una permanencia de unos 2 minutos por milímetro de espesor.

• Enfriamiento: Este enfriamiento tiene que ser rigurosamente controlado en función del tipo de tratamiento que se realice.[5]

7.7 POST-TRATAMIENTO TÉRMICO

Un tratamiento térmico post -soldadura es un procedimiento para reducir las tensiones residuales, recocer la Zona Afectada por el calor (ZAC) y difundir el Hidrógeno de la zona soldada, después de que la unión se ha realizado. Puede ser completo (todo el equipo a presión), Puede ser local (sólo la unión soldada y el material adyacente).

La soldadura y la ZAC se calientan por debajo de la temperatura de transición durante varias horas y se permite enfriar gradualmente.[6]

7.8 TEMPLE

El Temple es un tratamiento térmico que tiene por objetivo aumentar la dureza y resistencia mecánica del material, transformando toda la masa en Austenita con el calentamiento y después, por medio de un enfriamiento brusco (con aceites, agua o salmuera), se convierte en Martensita, que es el constituyente duro típico de los aceros templados. En el temple, es muy importante la fase de enfriamiento y la velocidad alta del mismo, además, la temperatura para el calentamiento óptimo debe ser siempre superior a la crítica para poder obtener de esta forma la Martensita. Existen varios tipos de Temple, clasificados en función del resultado que se quiera obtener y en función de la propiedad que presentan casi todos los aceros, llamada Templabilidad (capacidad a la penetración del temple), que a su vez depende, fundamentalmente, del diámetro o espesor de la pieza y de la calidad del acero.[7]

7.9 RECOCIDO

Es un tratamiento térmico que normalmente consiste en calentar un material metálico a temperatura elevada durante largo tiempo, con objeto de bajar la densidad de dislocaciones y, de esta manera, impartir ductilidad. El Recocido se realiza principalmente para: • Alterar la estructura del material para obtener las propiedades mecánicas deseadas, ablandando el metal y mejorando su maquinabilidad. • Recristalizar los metales trabajados en frío. • Para aliviar los esfuerzos residuales. Las operaciones de Recocido se ejecutan algunas veces

[5] (ingenieria, 2008)
[6] (inc., 2009)
[7] (ingenieria, 2008)

con el único propósito de aliviar los esfuerzos residuales en la pieza de trabajo causadas por los procesos de formado previo. Este tratamiento es conocido como Recocido para Alivio de Esfuerzos, el cual ayuda a reducir la distorsión y las variaciones dimensiónales que pueden resultar de otra manera en las partes que fueron sometidas a esfuerzos. Se debe tener en cuenta que el Recocido no proporciona generalmente las características más adecuadas para la utilización del acero. Por lo general, al material se le realiza un tratamiento posterior con el objetivo de obtener las características óptimas deseadas.[8]

7.10 ENFRIADO EN AGUA

El agua agitada vigorosamente produce velocidades de enfriamiento que se aproximan a las máximas obtenibles con medios líquidos de temple. El agua es económica, fácilmente disponible, y es procesable con un mínimo de contaminación o riesgos. El agua, sin embargo, es usada cuando un temple severo no resulte en una distorsión excesiva o fractura. El agua es ampliamente utilizada para el temple de metales no ferrosos, aceros inoxidables austeníticos y otros metales que hayan sido sometidos a algún tratamiento de solución a temperaturas elevadas. Una desventaja del agua es que su rápida velocidad de enfriamiento persiste a bajas temperaturas donde la distorsión y la fractura son más probables, consecuentemente, el temple en agua está restringido usualmente al temple de piezas sencillas y simétricas de aceros de bajo grado de endurecimiento. Una segunda desventaja, es el que ésta puede presentar una etapa de capa de vapor muy prolongada. Piezas y partes complejas favorecen el atrapamiento de vapor el cual puede producir un endurecimiento irregular y una distribución de esfuerzos desfavorable que puede conducir a la distorsión o formación de puntos suaves.[9]

7.11 ENFRIADO EN ACEITE

Los aceites para templar pueden ser divididos en varios grupos según sea su composición, presencia de aditivos y por la temperatura de aplicación. IJOS aceites para templar son usualmente clasificados como lentos, convencionales

[8] (ingenieria, 2008)
[9] (Palafox Martinez, 1996)

y rápidos. Casi todos los aceites de temple producen menores velocidades de temple que las obtenidas con agua o soluciones acuosas de sales inorgánicas. Sin embargo, la remoción de calor es más uniforme que la que se obtiene con agua. Como resultado, el peligro de distorsión o agrietamiento es considerablemente menor.[10]

7.12 ENFRIADO AL AIRE LIBRE

Para muchos aceros basta enfriar al aire tranquilo para que se forme martensita. Aunque este tipo de enfriamiento es el que provoca menos distorsiones, también como contrapartida produce cierta oxidación superficial. En lugar de aire pueden usarse gases protectores o inertes. Ejemplo Amoniaco craquizado o el gas de ciudad quemado. Utilizando estos gases en los hornos y como medios de temple, se obtienen piezas templadas brillantes.[11]

7.13 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

El microscopio electrónico de barrido, conocido por sus siglas inglesas SEM, utiliza electrones en lugar de luz para formar una imagen. Para lograrlo, el equipo cuenta con un dispositivo (filamento) que genera un haz de electrones para iluminar la muestra y con diferentes detectores se recogen después los electrones generados de la interacción con la superficie de la misma para crear una imagen que refleja las características superficiales de la misma, pudiendo proporcionar información de las formas, texturas y composición química de sus constituyentes. (Madrid, 2015)

7.14 TAMAÑO DE GRANO

El tamaño de grano influye de manera significativa en las propiedades mecánicas de los metales. A temperatura ambiente, un tamaño de grano grande por lo general se asocia con una baja resistencia, una baja dureza, y una baja ductilidad. Los granos grandes, particularmente en los metales laminados, también causan una apariencia superficial áspera una vez que el metal ha sido estirado.

---

[10] (Palafox Martinez, 1996)
[11] (Figueroa, 1999)

El tamaño del grano por lo general se mide contando el número de granos en un área dada, o contando el número de granos que se cruzan en la longitud de una línea dibujada al azar en una fotografía ampliada de los granos

7.15 FASE

Se puede considerar que una fase es cada una de las regiones químicamente homogéneas y físicamente diferenciadas de un sistema. Así, por ejemplo, el agua líquida y hielo, que son sustancias químicamente idénticas pues ambas están constituidas por moléculas de H2O, no son físicamente idénticas, por cuanto, sus moléculas no se disponen de la misma forma. Cada una de las formas cristalinas alotrópicas (propiedad de algunas sustancias simples de poseer estructuras atómicas o moleculares diferentes) de un elemento constituyen fases distintas, aun cuando se encuentren en el mismo estado de agregación.[12]

7.16 TRANSFORMACIÓN DE FASE

Quizá la definición más inmediata que puede surgir es esta: una reacción que convierte una fase en otra distinta. Muchas transformaciones de fase, como cualquiera de los cambios de estado (solido, liquido, gaseoso) o las posibles transiciones alotrópicas de un elemento encajan bien con esta definición. Sin embargo, debemos buscar una definición más amplia que dé cabida a otros tipos de transformaciones en las que hay implicadas varias fases iniciales y/o varias fases finales, cumpliéndose, lógicamente, que al menos una de las fases finales será diferente de las iniciales. Así pues, definiremos transformaciones de fase como todo proceso en el que una o varias fases iniciales (reactivos) reaccionan para dar lugar a una o varias fases finales (producto).[13]

[12] (Montes, Cuevas, & Cintas, 2014)
[13] (Montes, Cuevas, & Cintas, 2014)

8. ESTADO DEL ARTE.

El estado del arte se conforma con 3 proyectos con relación a diferentes temas tratados en esta monografía, el primero habla del crecimiento de grietas en aceros inoxidables, el segundo de los tratamientos térmicos posteriores a la soldadura y el tercero correlaciona propiedades de la soldadura en un acero 304 el cual es el que se trabajó en este documento y su derivado el 304L, en estos proyectos escogidos para el estado del arte se profundizara especialmente en las imágenes microscópicas que se encuentran allí y hacer referencia con las que se obtuvieron en los diferentes laboratorios.

8.1 CRACK GROWTH STUDY OF DISSIMILAR STEELS (STAINLESS - STRUCTURAL) BUTT-WELDED UNIONS UNDER CYCLIC LOADS

``Estudio de crecimiento de grietas en aceros diferentes (Inoxidables - Estructurales) con soldadura a tope, Uniones bajo cargas cíclicas´´

(Garcia Fuentes , Salas, Centeno, & Velasquez del rosario, 2011)

… esta investigación centró sus esfuerzos en estudiar el comportamiento mecánico de juntas soldadas diferentes sin pre y post TT, lo que representa una contribución importante al campo de la ciencia…

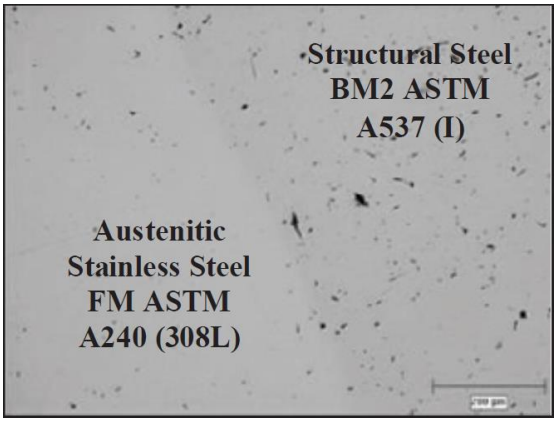


Ilustración 2 soldadura acero inoxidable austenitico y acero estructural

Muestra la microestructura de la soldadura sin ataque químico, e ilustra un área diferente. Demuestra bajo nivel de inclusiones a ASS y alto nivel a SS. Los contrastes permiten distinguir varias subregiones, definidas por microestructura en cada producto de las condiciones térmicas locales durante el proceso.

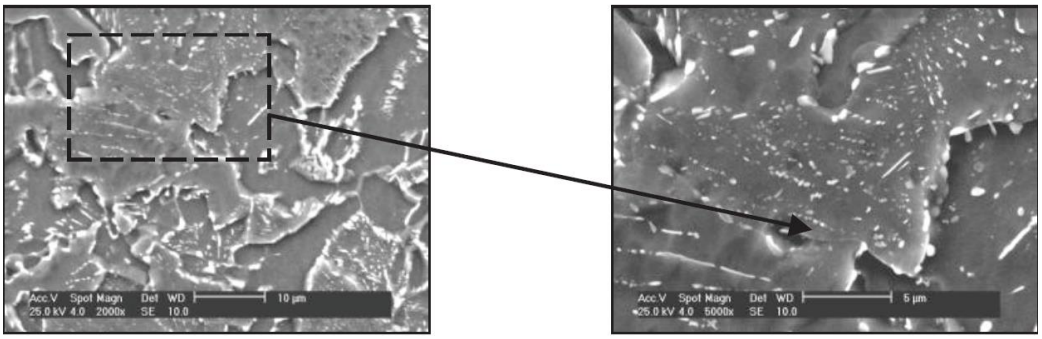


Ilustración 3 aumento en límite de grano y creaciones de carburos

Ilustración fragmentación de la perlita, notando claramente el carburo de hierro (cementita) globular y laminar.

8.2 EFFECT OF POST WELD HEAT TREATMENT (PWHT) ON THE MICROSTRUCTURE, MECHANICAL PROPERTIES, AND CORROSION RESISTANCE OF DISSIMILAR STAINLESS STEELS

``Efecto del tratamiento térmico posterior a la soldadura (PWHT) en la microestructura, propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión de aceros inoxidables diferentes´´

(ghorbani, Reza, Reza, & Akbar , 2017)

… Una de las cuestiones más importantes debe considerarse para evitar la formación de carburo de cromo en diferentes áreas de la unión [5]. De hecho, los precipitados se desarrollan en el límite intergranular, además, de los límites de grano aislante debido a la soldadura, en estos aceros a la unión de diferentes áreas. Existen varios precipitados de carburo en diferentes aceros…

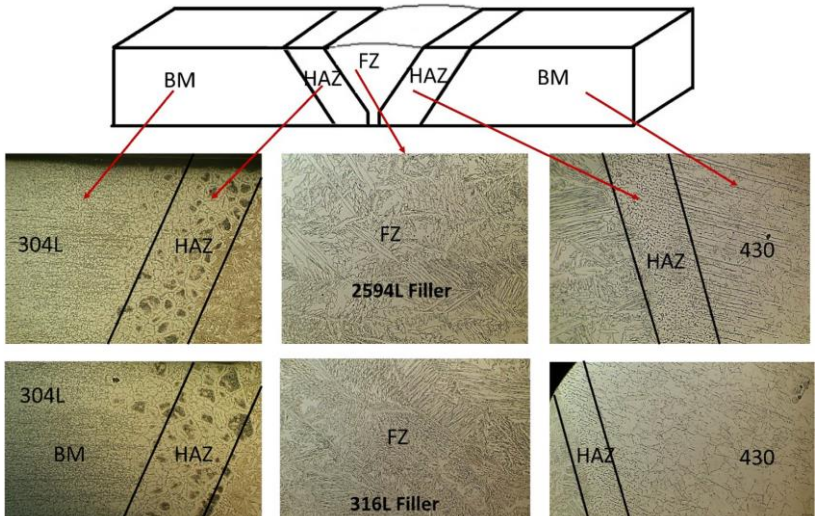


Ilustración 4 probeta identificando sus diferentes zonas

Diferentes zonas a analizar en una unión y cambios de fases que se puedan generar dependiendo el material y la zona ubicada.

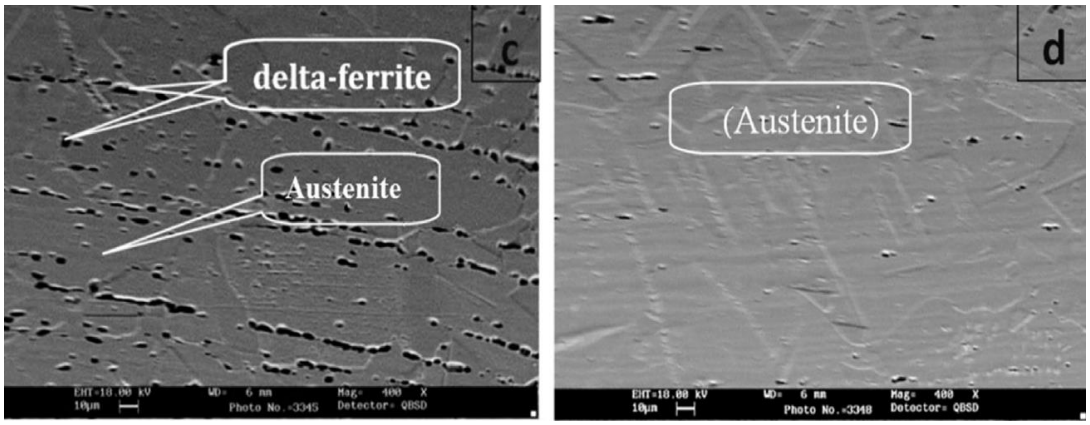


Ilustración 5 c) Acero inoxidable 304 a 860 C d) Acero inoxidable 304 a 960C.

Se muestra la microestructura de un acero AISI-SAE 304 a diferentes temperaturas, y se identifican las fases de austenita y ferrita.

9. METODOLOGÍA

9.1 PREPARACIÓN DE PROBETAS

Para llevar a cabo este proyecto se inició con la compra del material en este caso cuatro placas de acero inoxidable cuyas dimensione eran 120mm de largo 50mm de ancho y un espesor de 9mm, estas cuatro placas se dividían en dos placas de acero inoxidable 304 y otras dos de acero inoxidable 304l (estas placas vienen garantizadas por la general de aceros), después de tener el material se realizó un chaflán en v para una unión a tope a lo largo de estas en una de sus aristas con un ángulo de bisel de 30º para así obtener un ángulo de bisel de 60º, se tomó como talón de la raíz una distancia de 2 mm y una profundidad de bisel de 7mm

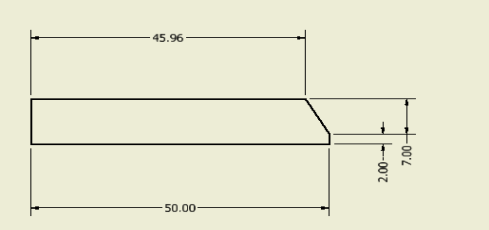


Ilustración 6 Lámina pre soldadura.

Fuente: Elaboración propia

Ya que una de las soldaduras más utilizada en la industria es E308-16 decidimos aplicarle esta, la soldadura se aplicó sobre el chaflán uniendo las placas del mismo material, el cordón de soldadura se realizó en una posición de unión 1G (plana), con una separación de placas de 2mm al cual se le hizo un pase de raíz y un pase de presentación.



Ilustración 7 Láminas pre-soldadura
Fuente: elaboración propia

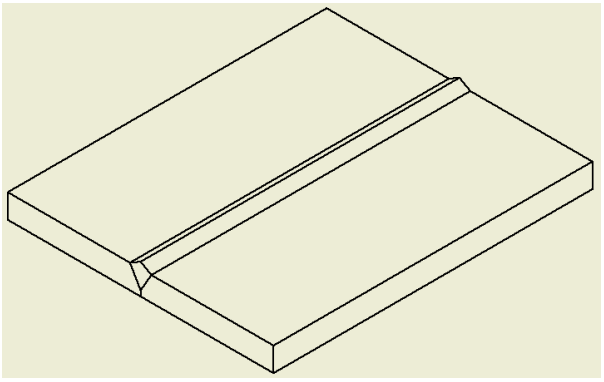


Ilustración 8 Isométrico de soldadura en laminas

Fuente: Elaboración propia.

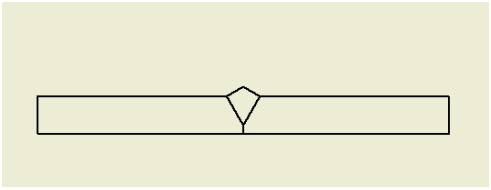


Ilustración 9 Vista frontal soldadura en laminas

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se dividieron las placas en 5 partes iguales, estos cortes se realizaron con una segueta mecánica y su debida refrigeración.



Ilustración 10 Probetas soldadas y cortadas
Fuente: elaboración propia.

9.2 POST-TRATAMIENTOS TÉRMICOS

En este punto se utilizó la mufla digital con temporizador ACEQUILABS MF-2006 la cual se encuentra en el laboratorio de tratamientos térmicos de la universidad Distrital, configurándolo para que su temperatura llegara a los 1050ºC, ya con la mufla a esta temperatura se introdujo las probetas en grupos de a dos con el fin de obtener una temperatura más homogénea en toda la probeta, estas se mantuvieron allí durante 35 minutos y después del tiempo estimado se les realizo el enfriamiento deseado (agua, aire, aceite y mufla).



Ilustración 11 mufla digital ACEQUILABS MF
Fuente: elaboración propia



Ilustración 12 enfriamiento de las probetas
Fuente: elaboración propia

9.3 PREPARACIÓN MUESTRAS METALOGRÁFICAS

En esta fase se realizó el pulido de las probetas en una de sus caras hasta obtener el brillo espejo que se requiere para estas pruebas, el número de grano de las lijas para realizar el brillo espejo fueron de 80, 100, 320, 600, 1000, 2000 respectivamente, luego de esto se llevaron al sistema de esmerilado y pulido METKON FORCIPOL 2V que está ubicada en el laboratorio de tratamientos térmicos de la universidad Distrital.



Ilustración 13 pulidora METKON FORCIPOL 2V

9.4 ENSAYO ATAQUE QUÍMICO

El ataque químico se realizó en un fluido con 50% de ácido nítrico y 50% de ácido clorhídrico, esta mezcla se utiliza ya que estos dos químicos poseen unas propiedades corrosivas frente a las capacidades del acero inoxidable 304 y 304L, ayudando a revelar sus límite de grano y las diferentes fases que presenta cada una de las probetas, sin embrago este proceso se debe neutralizar con agua y alcohol etílico para evitar un sobre ataque y de esta manera dañar las probetas por una corrosión intergranular, para ello, sometimos las probetas a este fluido durante diferentes tiempos para determinar cuál sería el tiempo indicado que nos revelaría los límites de granos deseados, tomando tiempos desde los 50 segundos hasta los 100 segundos avanzando cada 5, el tiempo óptimo para revelar los límites de grano en las probetas fue de 75 segundos, luego de esto se realizó el brillo espejo nuevamente como en el paso anterior y las probetas se atacaron uniformemente.

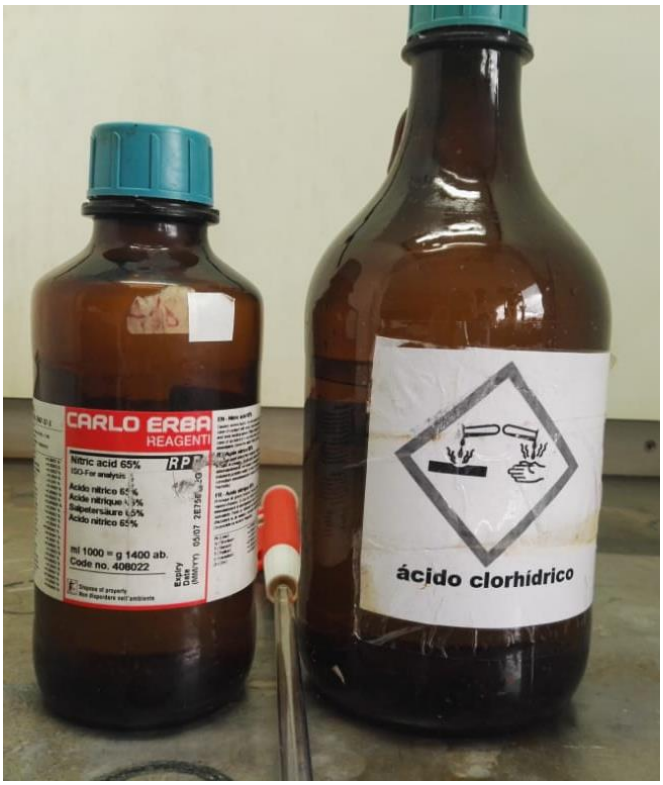


Ilustración 14 ácidos utilizados para la revelación de los granos en aceros inoxidables

Fuente: elaboración propia

9.5 MICROSCOPIA ÓPTICA

Después de tener las probetas con los requerimientos necesarios, se llevaron al microscopio AXIO OBSERVER D1M que se encuentra ubicado en el laboratorio de metalografía de la universidad Distrital, allí se tomaron las fotos a cada una de las probetas a un aumento de X200, buscando el límite de la soldadura y el material base para poder identificar los cambios que se generan en la ZAC, allí podremos observar los cambios en el tamaño de grano y las fases que se pueden generar tras los tratamientos térmicos.



Ilustración 15 microscopio óptico AXIO OBSERVER D1M
Fuente: elaboración propia

9.6 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

Tras el alistamiento necesario de las probetas de acero inoxidable AISI/SAE 304 y 304L se realizó la toma de fotografías en el microscopio electrónico de barrido, este proceso se llevó a cabo en los laboratorios de materiales del SENA, y se pudo analizar las fotos con un aumento de X2000, otra de las funciones de este equipo es el análisis de compuestos químicos del material seleccionando este estudio se llevó a cabo en dos puntos específicos de cada probeta uno de ellos en la zona afectada por el calor y el otro en el material base, gracias a las fotos y el análisis químico generado por el SEM podemos continuar con el análisis de los cambios generados por los tratamientos térmicos.

10. UNIDAD DE ANÁLISIS

10.1 FASES PRINCIPALES.

Análisis diagrama de Schaeffler

Para el análisis de las imágenes tomadas se escogió el diagrama de Schaeffler el cual se mostrará a continuación y dará a conocer la fase en la que se encuentra el material, esto depende de sus componentes químicos, este diagrama funciona como un sistema de coordenadas en el cual se encuentra el cromo equivalente y el níquel equivalente.

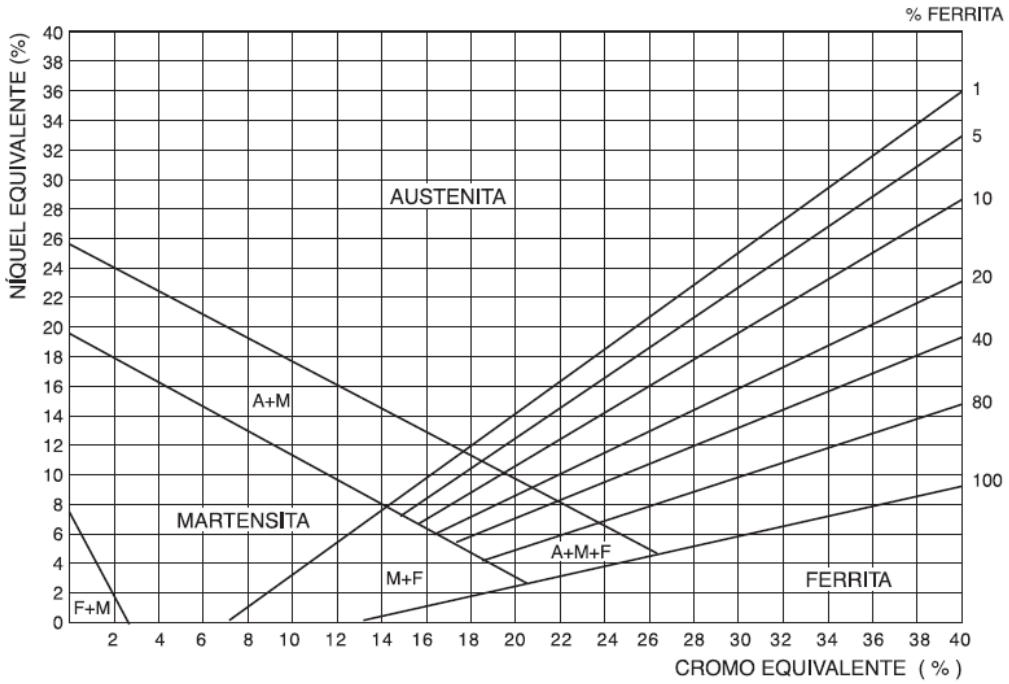


Ilustración 16 diagrama de scheaffler
Fuente (perez, teran, & alonso, 2014)

Donde:

Cr_{eq}= Cr + Mo + 1.5 Si + 0.5 Nb

Ni_{eq}= Ni + 30 C + 0.5 Mn

Gracias a estos datos podemos obtener los siguientes puntos que nos ayudaran a identificar las fases generadas.

- 1 acero inoxidable 304L ***

Cr_{eq}= 17 + (1.5*2) = 20

Ni_{eq}= 10 + (30*0.03) + (0.5*1.5) = 11.65

- 2 acero inoxidable 304 ***

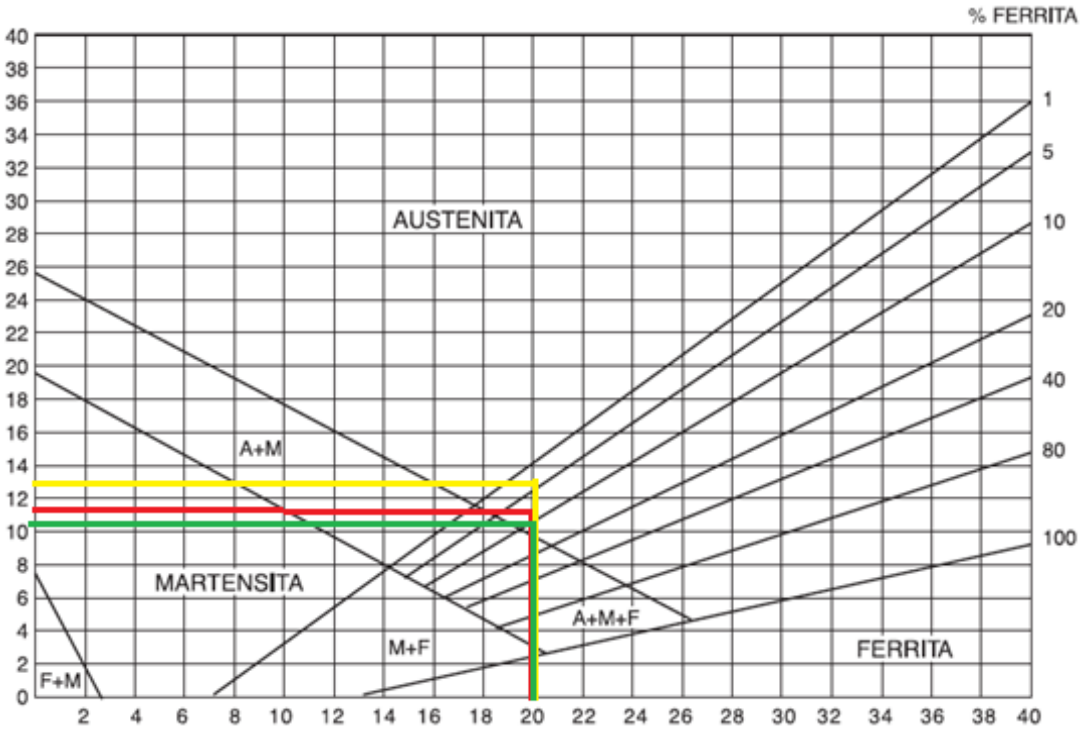
Cr_{eq}= 18 + (1.5*1.5) = 20.25

Ni_{eq}= 10 + (30*0.08) + (0.5*1.5) = 13.15

- 3barra de aporte ***

Cr_{eq}= 17 + (1.5*2) = 20.02

Ni_{eq}= 10 + (30*0.02) + (0.5*0.63) = 10.91



El material de aporte es especialmente para trabajos con aceros inoxidables y su composición química es muy similar a la de estos, por esto los puntos de fusión poseen microestructuras bastante similares, este electrodo y su forma de trabajo dará una dilución de 30% y con esto podemos ver que en la ZAC existirán inclusiones de ferrita en una pequeña cantidad que varían de 5 a 8 %

Análisis grafica hierro cromo

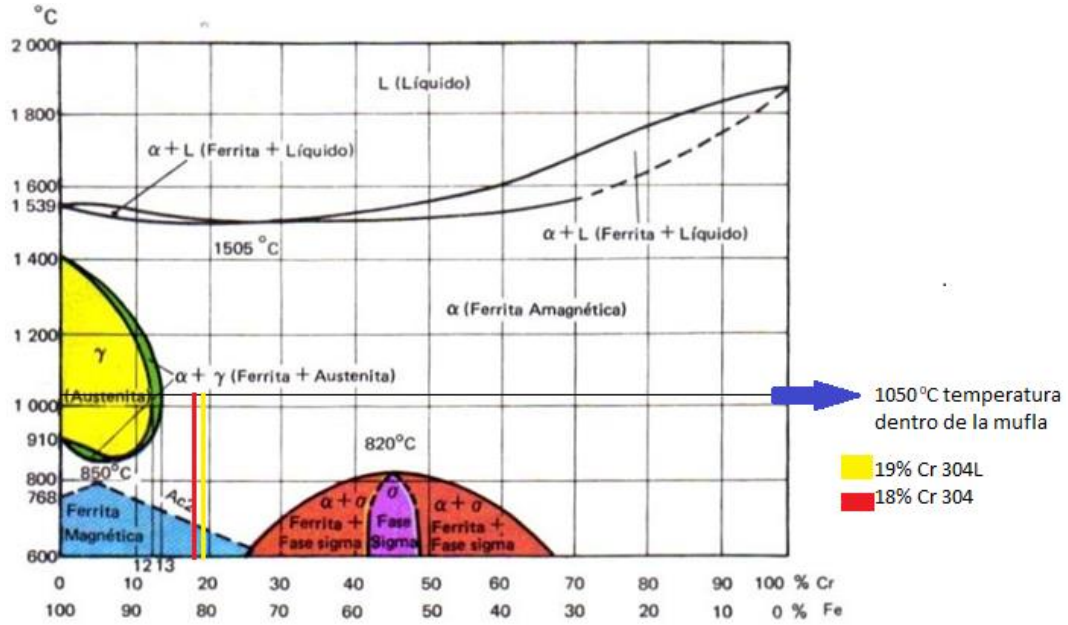
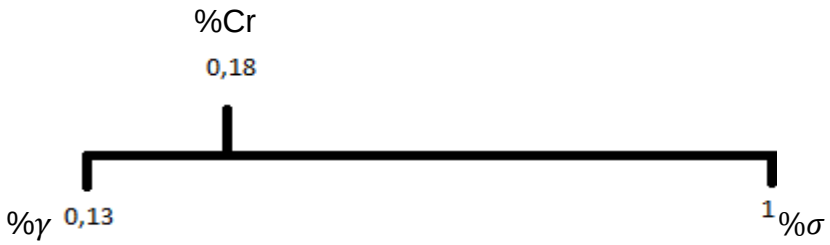


Ilustración 17 Diagrama hierro cromo

En el análisis de la regla de la palanca se buscó el porcentaje de cromo correspondiente a los aceros inoxidables AISI/SAE 304 y 304l, estos dos valores se hicieron coincidir con la temperatura correspondiente a los 1050 ºC la cual fue utilizada en el proceso de los post-tratamientos y así poder definir las fases encontradas en las placas estudiadas.

- Regla de la palanca para el acero inoxidable 304

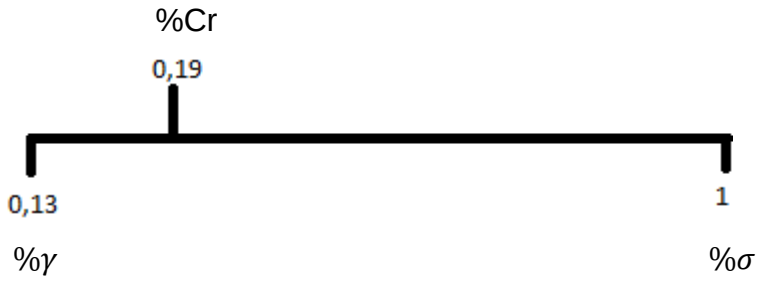


$$\%\gamma = \frac{1-0,18}{1-0,13} \times 100 = 0,94252 \times 100 = 94,252\%$$

$$\%\sigma = \frac{0,18-0,13}{1-0,13} \times 100 = 0,05747 \times 100 = 5,747\%$$

Gracias al desarrollo de la regla de la palanca en el diagrama de hierro cromo, se observo que en las placas se encuentran inclusiones de la fase sigma que corresponde a la ferrita en un 5,75% y la fase gamma que corresponde a la fase austenitica con un porcetaje del 94,25%.

- Regla de la palanca para el acero inoxidable 304L



$$\%\gamma = \frac{1-0,19}{1-0,13} \times 100 \ = 0,93103 \times 100 = 93,103\%$$

$$\%\sigma = \frac{0,19-0,13}{1-0,13} \times 100 = 0,06896 \times 100 = 6,896\%$$

El acero inoxidable 304l debido a su mayor porcentaje de cromo en la regla de la palanca disminulle su portaje de fase austenitica y aumenta las inclusiones de la fase ferritica. Este analisis se complementa con el diagrama de Schaeffler en el cual se unen los resultados de cromo equivalente y níquel equivalente en donde por aproximación se observa que las inclusiones de ferrita están entre un 5 y 8%.

Tomando nuevamente las imágenes citadas en el titulo 8.2 las cuales muestran un proyecto donde se analiza la presencia de una fase ferrítica en una matriz de austenita, relacionándolas con las imágenes obtenidas en este proyecto para rectificar la fase ferrítica en las probetas con post-tratamiento térmico.

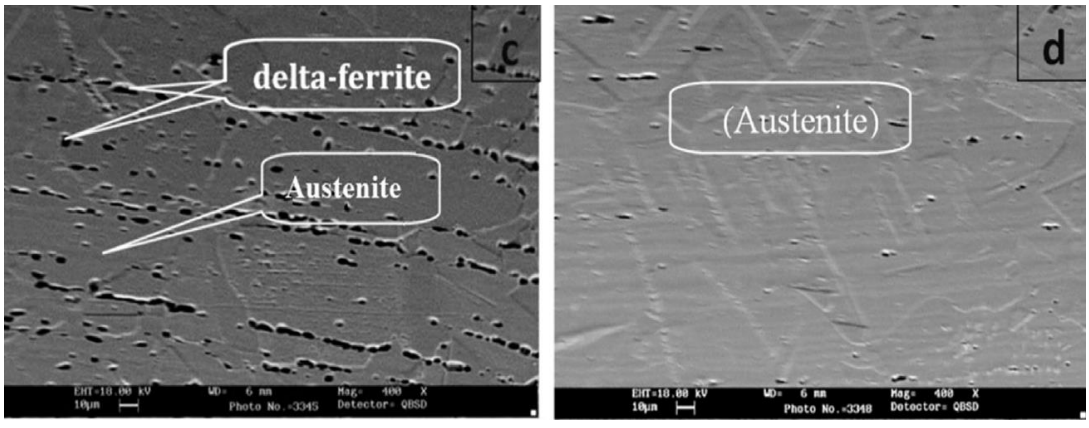


Ilustración 18 matriz austenitica con delta ferrítica

En este proyecto asocian la matriz (parte clara) de austenita y varias incrustaciones de ferrita (fases oscuras), es algo muy similar a lo que se tiene en las imágenes microscópicas de este documento y lo que también nos confirman los diagramas anteriormente mencionados

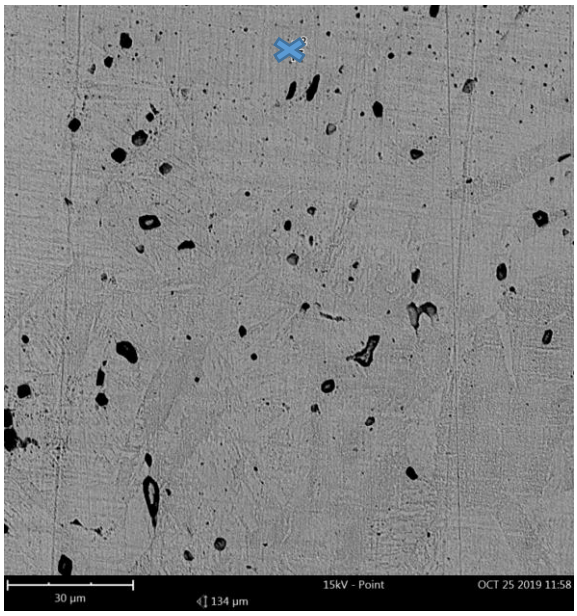


Ilustración 19 microscopia electrónica de barrido acero inoxidable 304 con pos tratamiento térmico y enfriamiento al aire aumento x2000

Tabla 3composicion química acero inoxidable 304 con post tratamiento térmico enfriado al aire

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
26	Fe	Iron	64.63	72.15
24	Cr	Chromium	16.12	16.75
28	Ni	Nickel	5.69	6.68
6	C	Carbon	11.39	2.73
25	Mn	Manganese	0.87	0.96
14	Si	Silicon	1.29	0.73

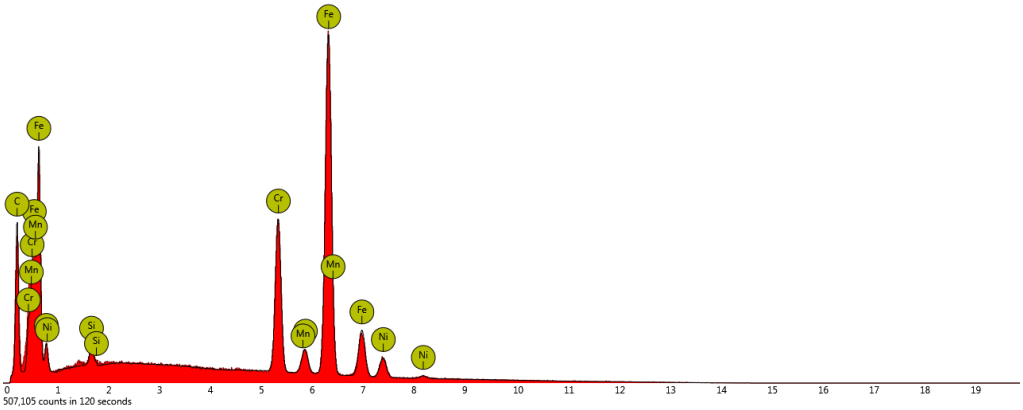


Ilustración 20 composición química acero inoxidable 304 con post tratamiento térmico enfriado al aire

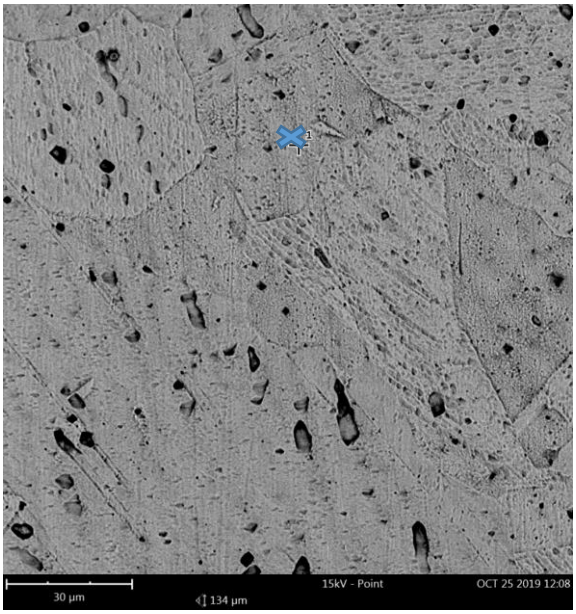


Ilustración 21 microscopia electrónica de barrido acero inoxidable 304L con pos tratamiento térmico y enfriamiento al aire aumento x2000

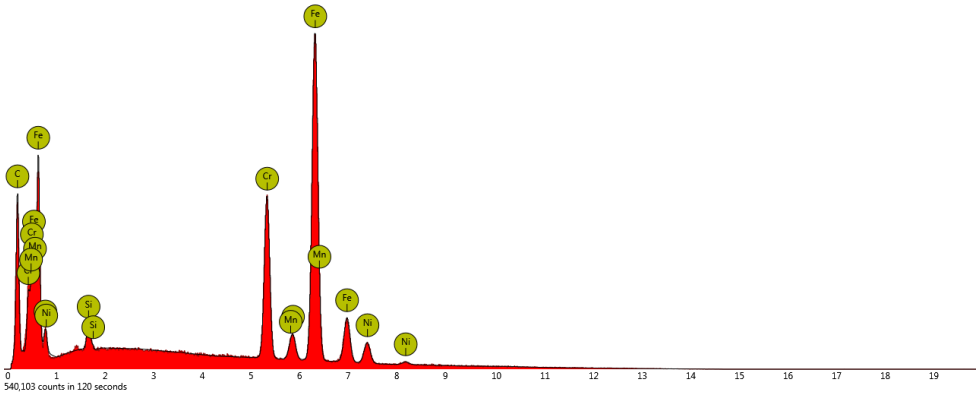


Ilustración 22 composición química acero inoxidable 304L con post tratamiento térmico enfriado al aire

Tabla 4 composición química acero inoxidable 304L con post tratamiento térmico enfriado al aire

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
26	Fe	Iron	62.13	69.95
24	Cr	Chromium	17.22	18.05
28	Ni	Nickel	5.99	7.09
6	C	Carbon	12.00	2.91
25	Mn	Manganese	0.93	1.03
14	Si	Silicon	1.73	0.98

10.2 FORMACIÓN DE CARBUROS.

La posible creación de carburos en las probetas se da solo en las de 304 ya que esta posee un porcentaje de carbono superior el cual por el enfriamiento lento genera acumulaciones de cromo a lo largo de algunos límites de grano, este elemento es el que mantiene al acero protegido y pierde su eficiencia al empobrecer el cromo en las zonas vecinas a los carburos, por la cual, se empezara a generar corrosión intergranular.

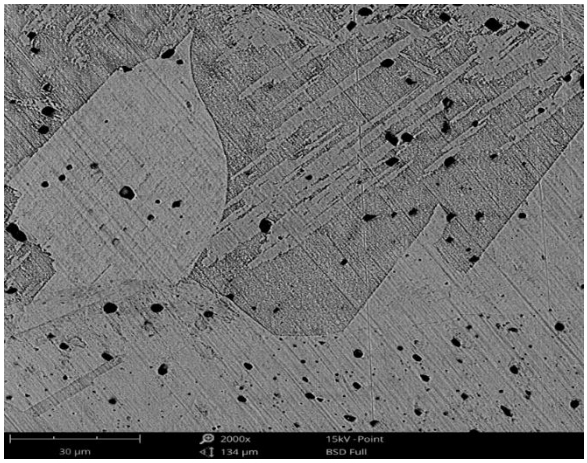


Ilustración 23 microscopia electrónica de barrido acero inoxidable 304 con pos tratamiento térmico y enfriamiento en la mufla aumento x2000

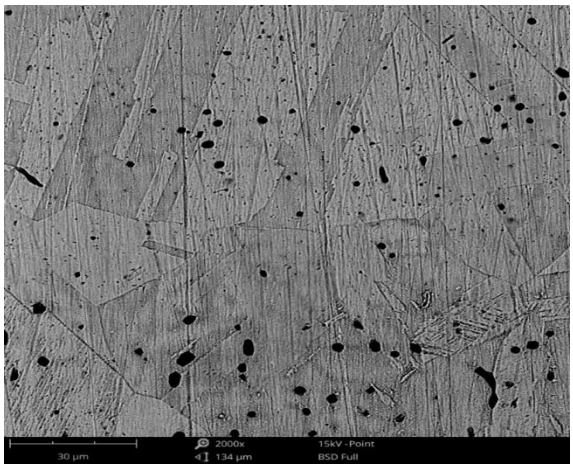


Ilustración 24 microscopia electrónica de barrido acero inoxidable 304L con pos tratamiento térmico y enfriamiento en la mufla aumento x2000

En la ilustración 23 se pueden observar los límites de grano en diferentes sitios un poco más resaltados ya que allí podría encontrarse algunas formaciones de carburos, en comparación a la ilustración 24 que se trata del acero 304L en donde se observan los límites de grano de una manera más uniforme

caracterizada por sus líneas más finas a lo largo de toda la imagen. Como se mencionaba anteriormente estas posibles formaciones de carburos pueden ocurrir en el caso del acero inoxidable 304 debido al enfriamiento lento del post-tratamiento térmico y por la cantidad de carbono en su composición química la cual es del valor de 0.08%.

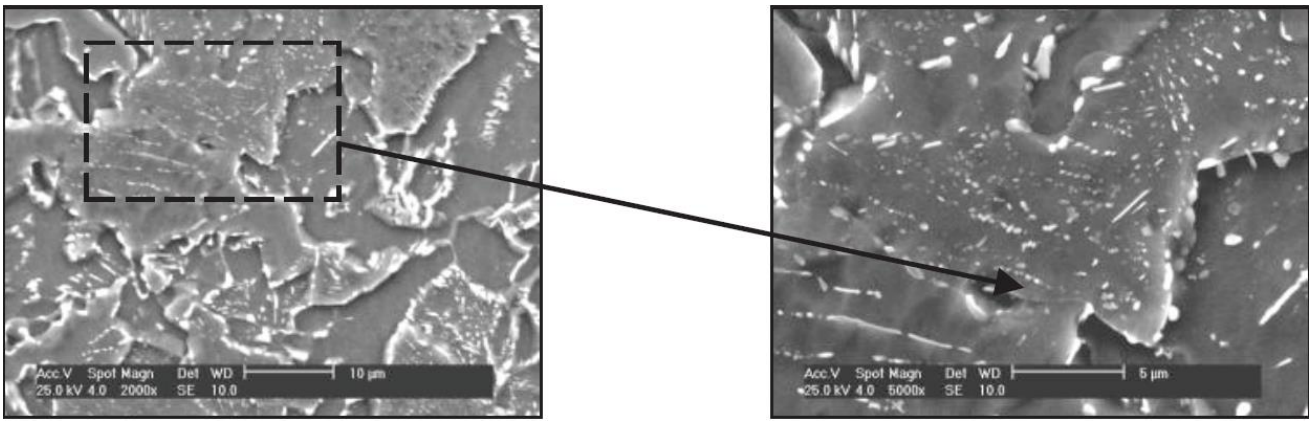


Ilustración 25 aumento en creación de carburos

Detallando la muestra del título 8.1 el cual da a conocer la creación de carburos en una unión soldada, se puede observar el aumento que hace referencia a los carburos, y así ver claramente como hacen énfasis en el límite de grano en puntos donde se ve un aumento en cuanto al grosor de las líneas que representan este límite, allí es donde se generan los carburos mencionados, esta característica del límite de grano también se puede observar en la ilustración 23 mostrada anteriormente.

10.3 DETERMINACIÓN CAMBIO DEL TAMAÑO DEL GRANO.

La variación en el tamaño de grano sucede porque al aplicar el material de aporte se generan altas temperaturas las cuales pueden llegar a los 3500ºC lo cual genera una recristalización en el material base, con los diferentes cambios de temperatura el grano sufrirá cambios en su estructura y sus propiedades mecánicas, y con los diferentes enfriados los granos no se homogenizan.

Basados en la norma ASTM e112 se logra determinar el tamaño de grano de un acero y los cambios que este pueda tener mediante los diferentes procedimientos que se han elaborado para la ejecución de este proyecto.

Para esto se utilizó el método de intersecciones, el cual consiste en trazar líneas aleatoriamente en las zonas que se quieren analizar, se debe tener en cuenta la longitud de estas líneas, luego de esto determinar los granos que las líneas atraviesan, si la línea no alcanza a pasar un grano completo se tomara como 0.5.

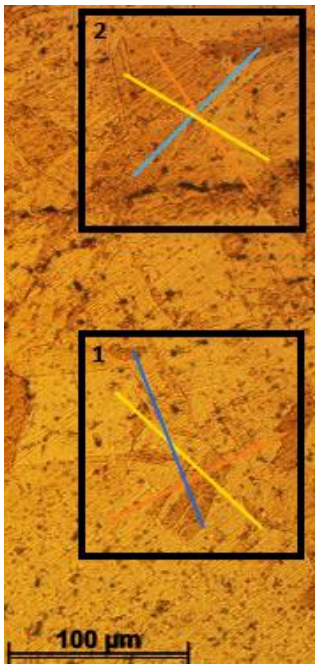
Ya con estos valores se divide la longitud de la línea entre el número de granos con los cuales se cruzó, con los valores obtenidos se hallará un promedio y este valor será un aproximado del tamaño del grano

Con este método se ratifica que en la ZAC el grano presenta dimensiones inferiores al que se puedan tener en el material base.

Para el desarrollo de esto se trazan 3 líneas aleatoriamente y a cada una de ellas se le asigna un color diferente (azul, naranja, y amarilla), después de eso se toma la longitud de cada línea respetando las magnitudes según la escala de la imagen que estas ya tienen desde sus respectivas fotos ópticas, en todas las probetas se tomaron dos recuadros, uno en la ZAC y el otro ubicado en el material base, con estos datos se puede iniciar con el método de intersecciones el cual dará un valor aproximado de la longitud de grano promedio en cada zona, en todos los ejemplos hay una variación de grano significativa.

Probeta de acero inoxidable 304 con enfriamiento dentro de la mufla.

Tabla 5 datos tamaño de grano recocido 304



Color línea	1	2	1	2	1	2
Longitud total de la línea (µm)	107.7	102.46	110.78	98.84	111.71	95.44
Numero de granos que cruza la línea	4	2	3.5	1.5	5.5	2
Longitud del grano (µm)	26.92	51.23	31.65	65.89	20.31	47.72
Longitud promedio de grano	**1)**Zona Afectada por el Calor=26.3 µm **2)**Material Base=54.94					

Ilustración 26 Microscopia óptica acero inoxidable 304 con post tratamiento térmico y enfriamiento en la mufla aumento x200

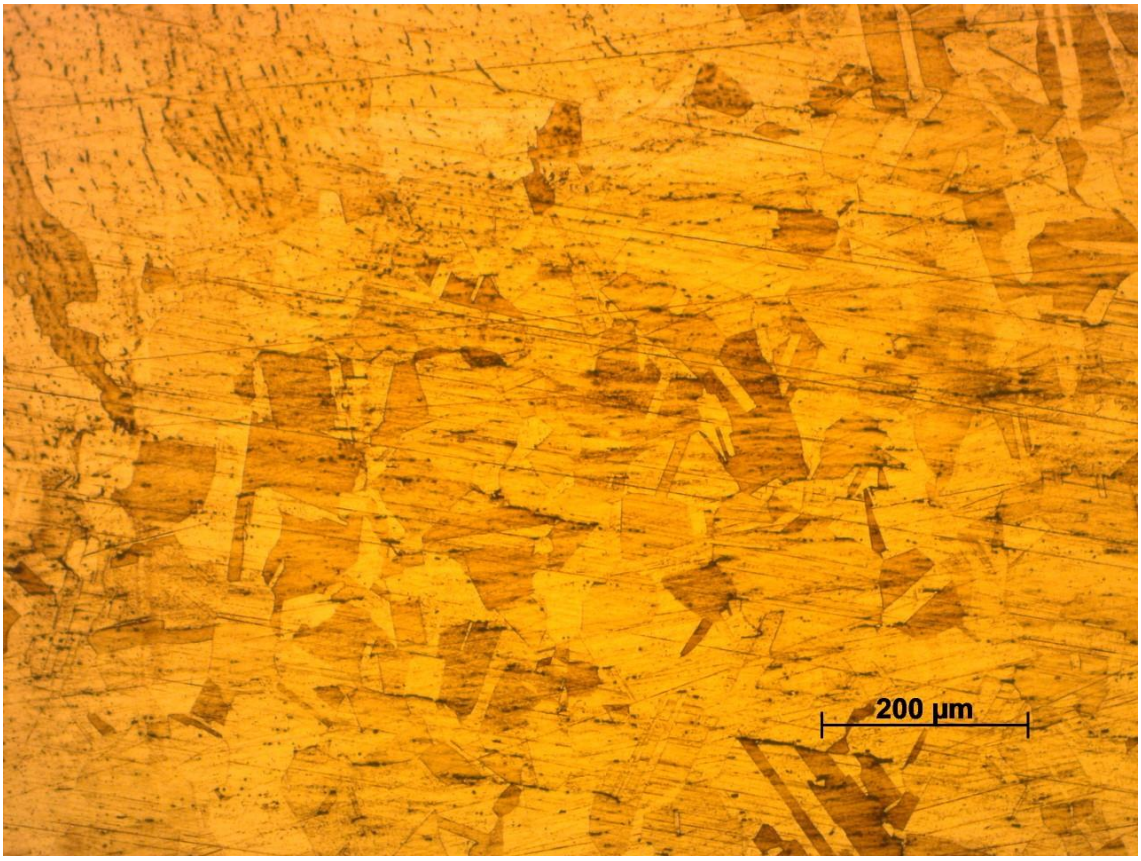


Ilustración 27 vista general Microscopia óptica acero inoxidable 304 con post tratamiento térmico y enfriamiento en la mufla aumento x200

Probeta de acero inoxidable 304L con enfriamiento dentro de la mufla.

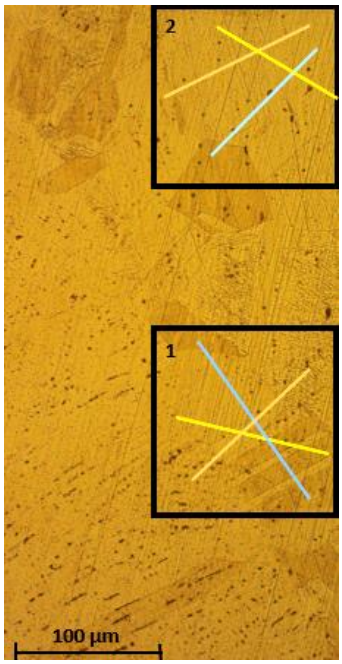


Tabla 6 datos tamaño de grano recocido 304L

Color línea	1	2	1	2	1	2
Longitud total de la línea (µm)	132.35	104.43	111.04	112.49	108.60	97.29
Numero de granos que cruza la línea	6.00	1.5	3.00	1	4.00	1
Longitud del grano (µm)	22.06	69,62	37.01	112.49	27.15	97.29
Longitud promedio de grano	**1)**Zona Afectada por el Calor= 28.74 µm **2)**Material Base= 93.13 µm					

Ilustración 28 Microscopia óptica acero inoxidable 304L con post tratamiento térmico y enfriamiento en la mufla aumento x200

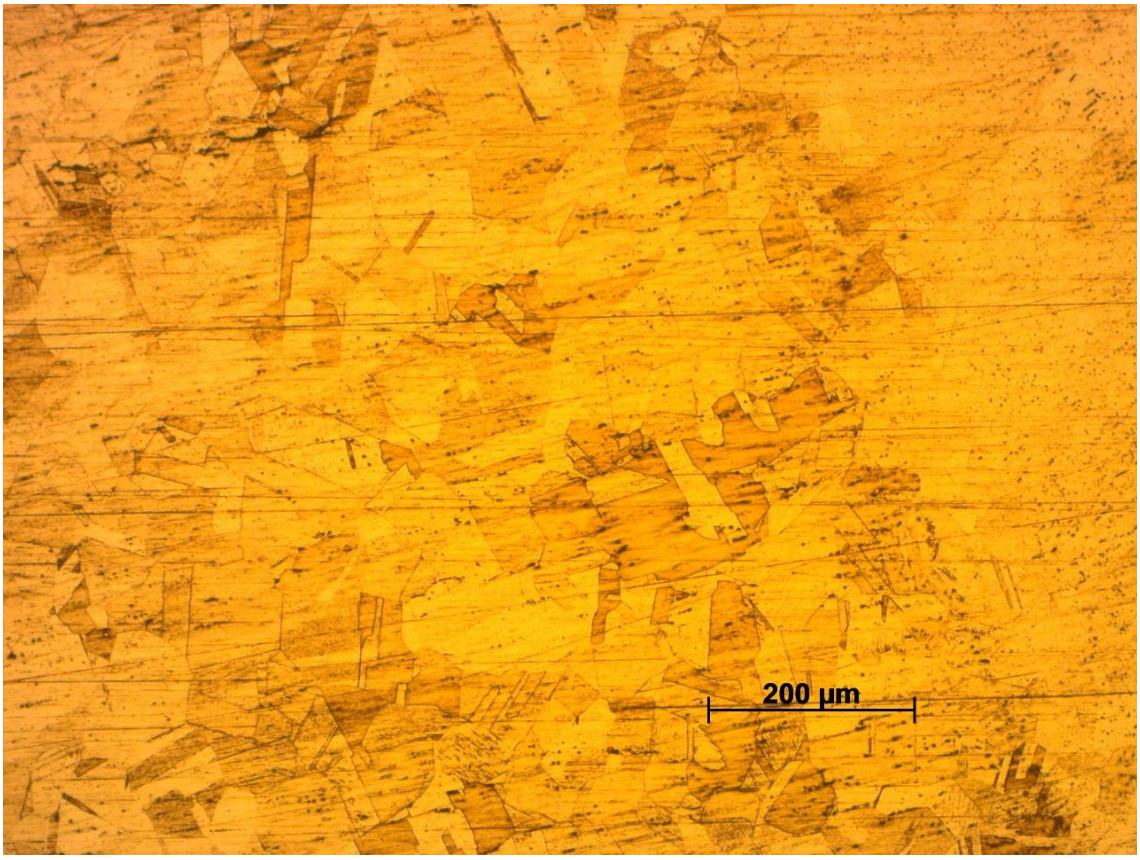


Ilustración 29 vista general Microscopia óptica acero inoxidable 304L con post tratamiento térmico y enfriamiento en la mufla aumento x200

Probeta de acero inoxidable 304 con enfriamiento al aire.

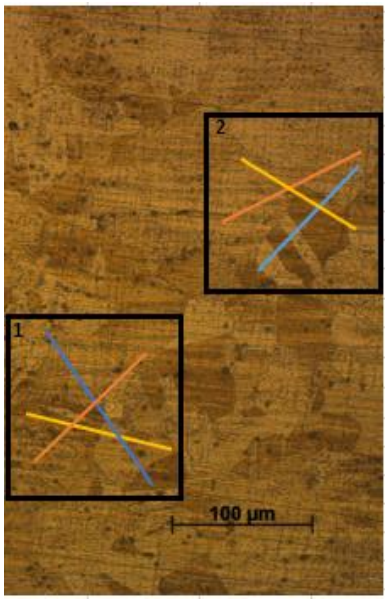


Tabla 7datos tamaño de grano enfriado al aire 304

Color línea	1	2	1	2	1	2
Longitud total de la línea (µm)	132.35	104.43	111.04	112.49	108.60	97.29
Numero de granos que cruza la línea	7.00	5	6.50	2	5.50	2.5
Longitud del grano (µm)	18.91	20.89	17.08	56.25	19.74	38.92
Longitud promedio de grano	**1)**Zona Afectada por el Calor= 18.58 µm **2)**Material Base=38.68 µm					

Ilustración 30 Microscopia óptica acero inoxidable 304 con post tratamiento térmico y enfriamiento al aire aumento x200



Ilustración 31 vista general Microscopia óptica acero inoxidable 304 con post tratamiento térmico y enfriamiento al aire aumento x200

Probeta de acero inoxidable 304L con enfriamiento al aire.

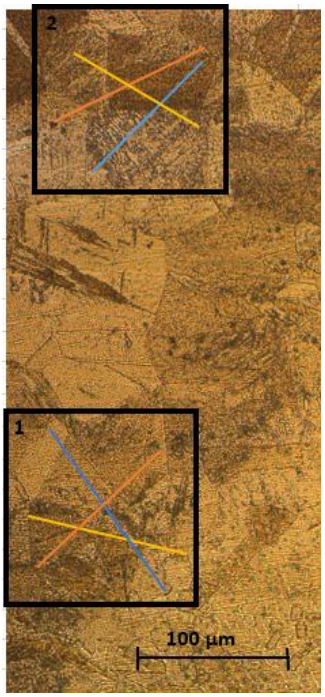


Tabla 8 datos tamaño de grano enfriado al aire 304L

Color línea	1	2	1	2	1	2
Longitud total de la línea (µm)	132.35	104.43	111.04	112.49	108.60	97.29
Numero de granos que cruza la línea	4.50	3	3.5	2	3	3
Longitud del grano (µm)	29.41	34.81	31.72	56.25	36.20	32.43
Longitud promedio de grano	**1)**Zona Afectada por el Calor= 32.44 µm **2)**Material Base= 41.16 µm					

Ilustración 32 Microscopia óptica acero inoxidable 304L con post tratamiento térmico y enfriamiento al aire aumento x200

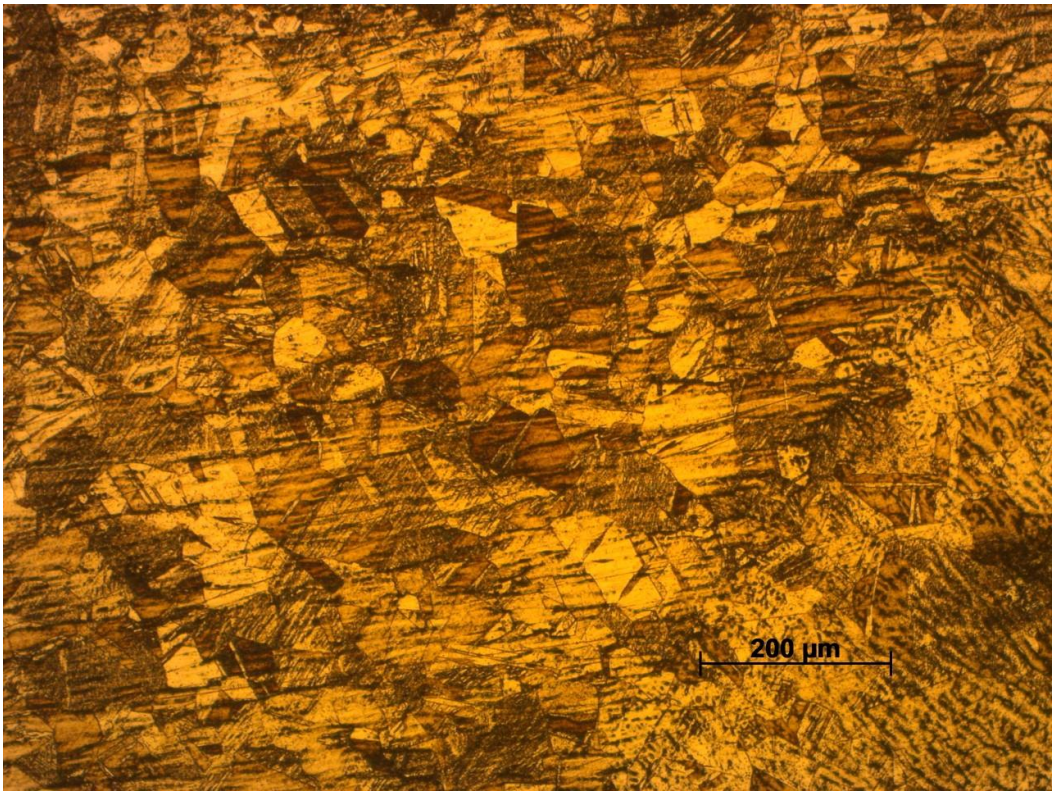


Ilustración 33 vista general Microscopia óptica acero inoxidable 304L con post tratamiento térmico y enfriamiento al aire aumento x200

Probeta de acero inoxidable 304 sin post tratamiento térmico.

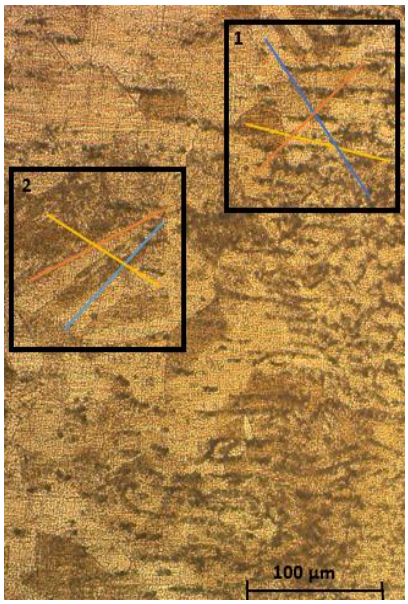


Tabla 9 datos tamaño de grano STT 304

Color línea	1	2	1	2	1	2
Longitud total de la línea (µm)	132.3	104.43	111.04	112,49	108.6	97,29
Numero de granos que cruza la línea	7	2	5	1.5	4	3
Longitud del grano (µm)	18.91	52.22	22.21	75.00	27.15	32,43
Longitud promedio de grano	**1)**Zona Afectada por el Calor= 22.75 µm **2)**Material Base= 53,21 µm					

Ilustración 34 Microscopia óptica acero inoxidable 304 sin post tratamiento térmico aumento x200



Ilustración 35 vista general Microscopia óptica acero inoxidable 304 sin post tratamiento térmico aumento x200

Probeta de acero inoxidable 304L sin post tratamiento térmico.

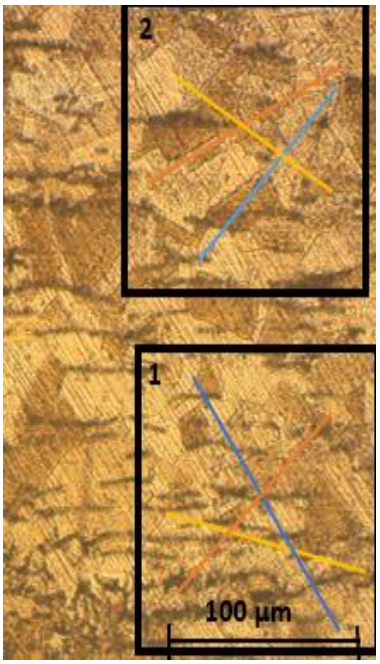


Tabla 10 datos tamaño de grano STT 304L

Color línea	1	2	1	2	1	2
Longitud total de la línea (µm)	132.35	104.43	111.04	112.49	108.60	97.26
Numero de granos que cruza la línea	6	2.5	5.50	3	4	3.5
Longitud del grano (µm)	22.06	41.77	20.19	37.5	27.15	27.8
Longitud promedio de grano	**1)**Zona Afectada por el Calor= 23.13 µm **2)**Material Base= 35.69 µm					

Ilustración 36 Microscopia óptica acero inoxidable 304L sin post tratamiento térmico aumento x200

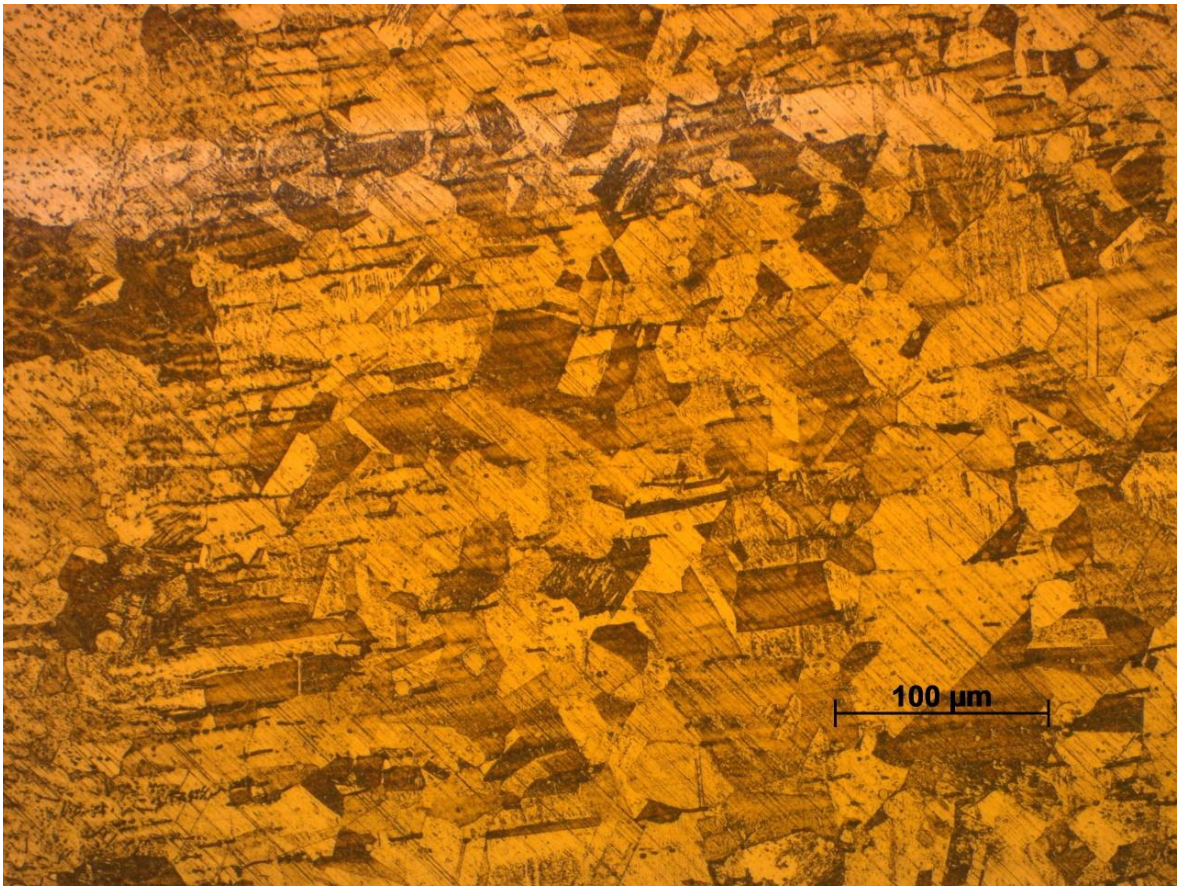
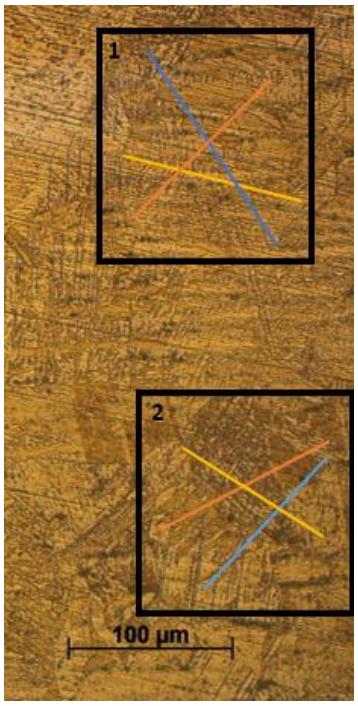


Ilustración 37 vista general Microscopia óptica acero inoxidable 304L sin post tratamiento térmico aumento x200

Probeta de acero inoxidable 304 con enfriamiento en agua.

Tabla 11datos tamaño de grano enfriado en agua 304



Color línea	1	2	1	2	1	2
Longitud total de la línea (µm)	132.35	104.43	111.04	112.49	108.60	97.29
Numero de granos que cruza la línea	5	3.5	4.50	3.5	6.00	1.5
Longitud del grano (µm)	26.47	29.84	24.67	32.14	18.10	64.86
Longitud promedio de grano	**1)**Zona Afectada por el Calor= 23.08 µm **2)**Material Base= 42.28 µm					

Ilustración 38 Microscopia óptica acero inoxidable 304 con post tratamiento térmico y enfriamiento en agua aumento x200

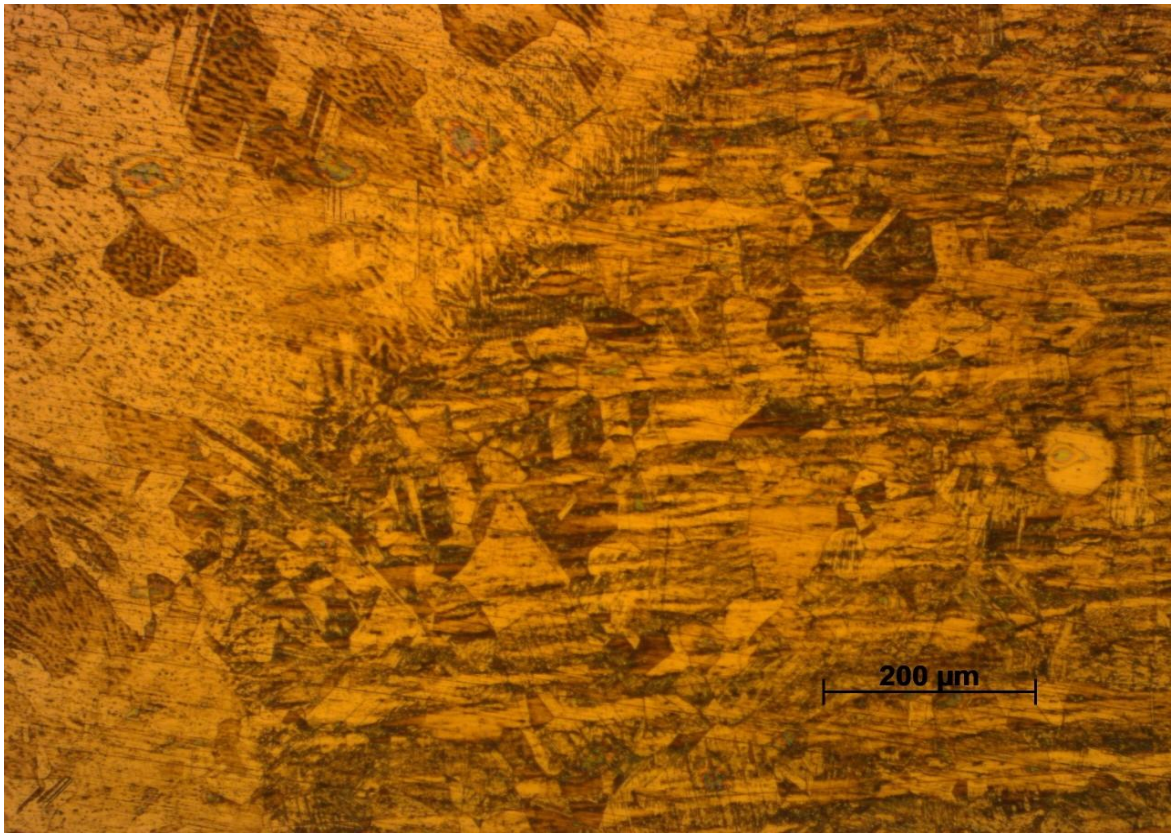
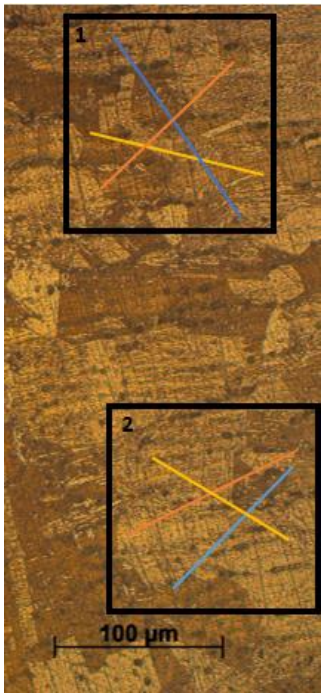


Ilustración 39 vista general Microscopia óptica acero inoxidable 304 con post tratamiento térmico y enfriamiento en agua aumento x200

Probeta de acero inoxidable 304L con enfriamiento en agua.

Tabla 12 datos tamaño de grano enfriado en agua 304L



Color línea	1	2	1	2	1	2
Longitud total de la línea (µm)	132.35	104.43	111.04	112.49	108.60	97.29
Numero de granos que cruza la línea	6	3	8	2	5	3
Longitud del grano (µm)	22.06	34.81	13.88	56.25	21.72	32.43
Longitud promedio de grano	**1)**Zona Afectada por el Calor= 19.22 µm **2)**Material Base=41,16 µm					

Ilustración 40 Microscopia óptica acero inoxidable 304L con post tratamiento térmico y enfriamiento en agua aumento x200

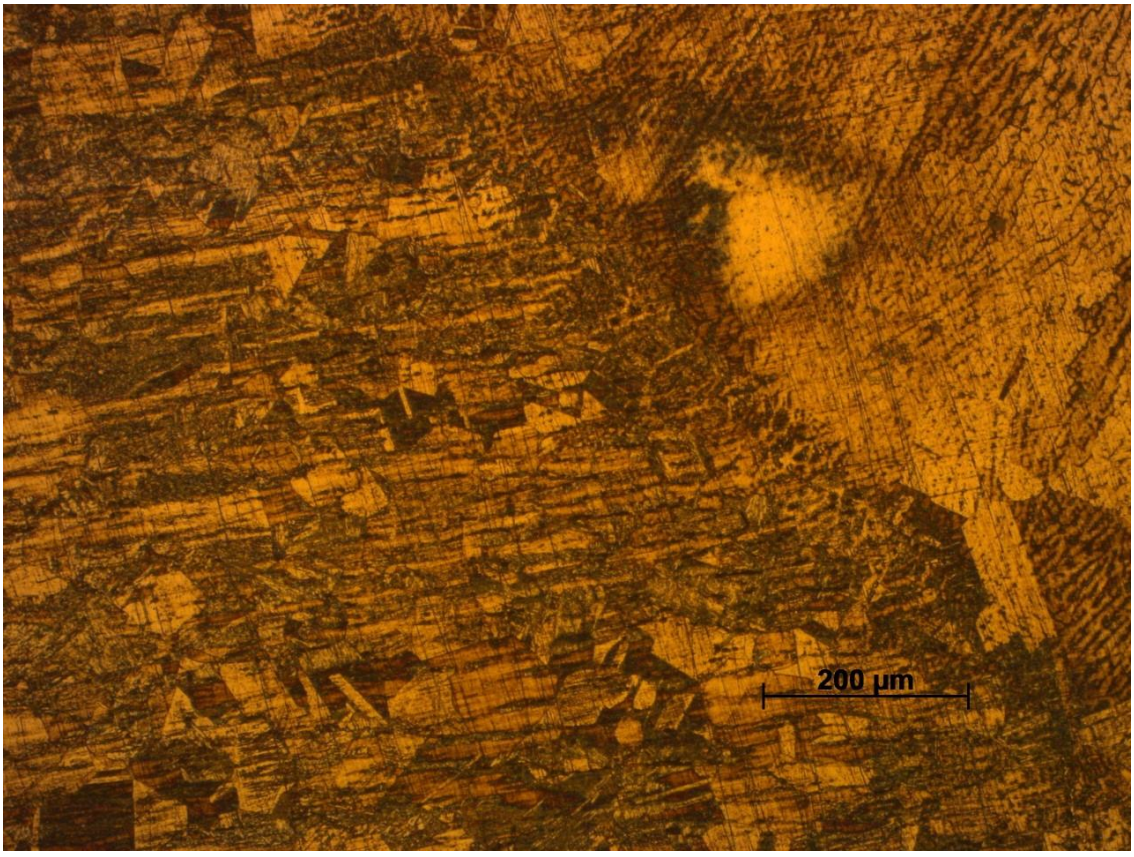
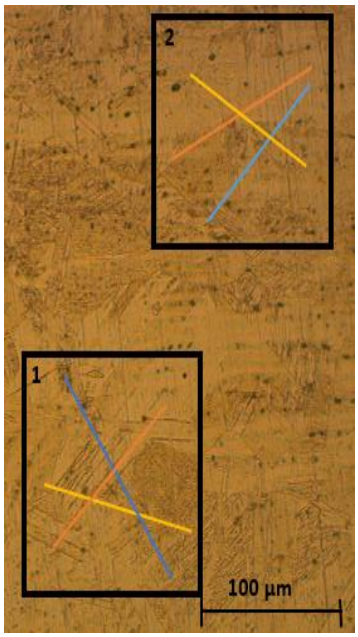


Ilustración 41 vista general Microscopia óptica acero inoxidable 304L con post tratamiento térmico y enfriamiento en agua aumento x200

Probeta de acero inoxidable 304 con enfriamiento en aceite.

Tabla 13 datos tamaño de grano enfriado en aceite304



Color línea	1	2	1	2	1	2
Longitud total de la línea (µm)	132.35	104.43	111.04	112.49	108.6	97.29
Numero de granos que cruza la línea	7	3	5	3	4	3,5
Longitud del grano (µm)	18.91	34.81	22.21	37.50	27.15	27.80
Longitud promedio de grano	**1)**Zona Afectada por el Calor= 22.75 µm **2)**Material Base=33.37 µm					

Ilustración 42 Microscopia óptica acero inoxidable 304 con post tratamiento térmico y enfriamiento en aceite aumento x200

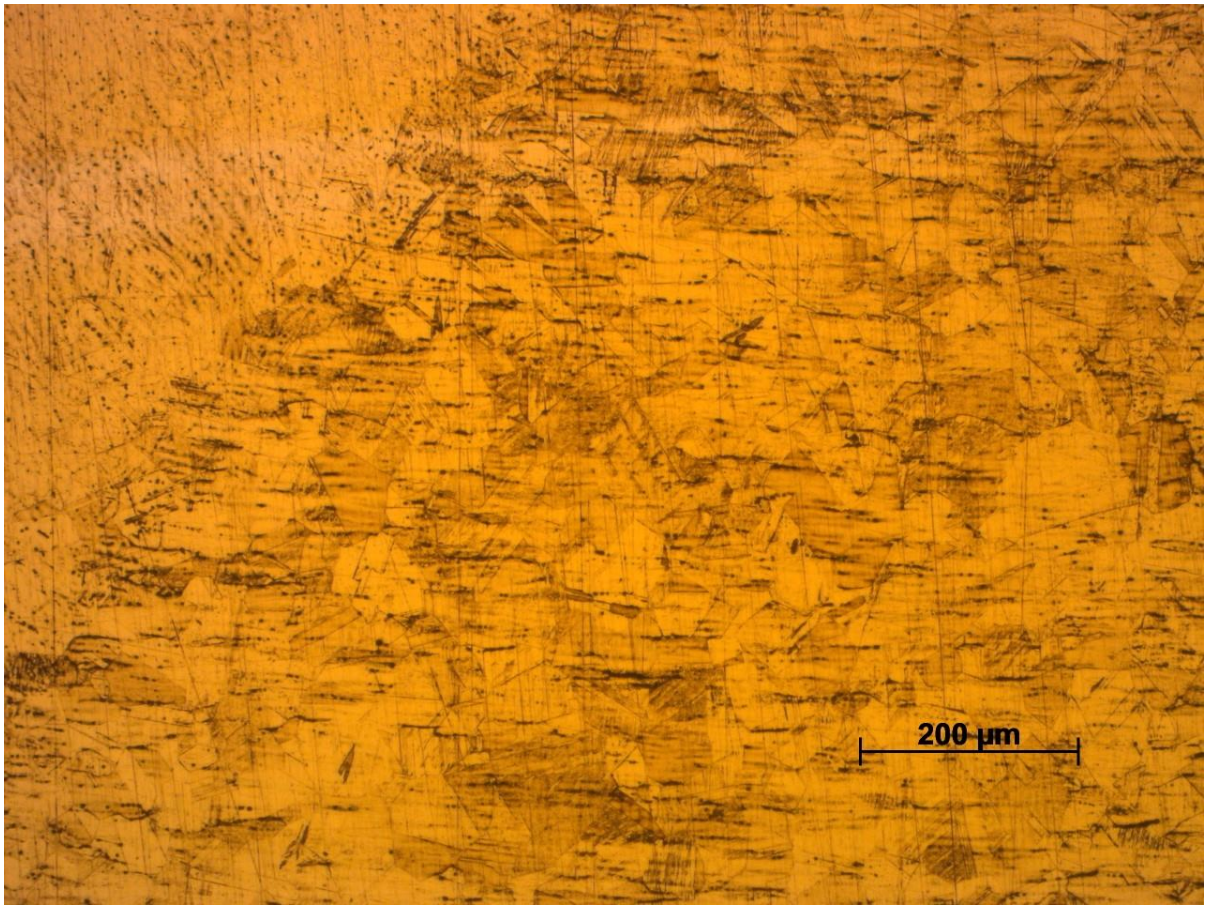
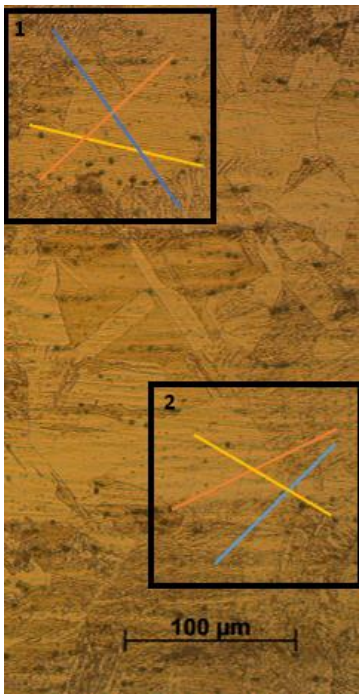


Ilustración 43 vista general Microscopia óptica acero inoxidable 304 con post tratamiento térmico y enfriamiento en aceite aumento x200

Probeta de acero inoxidable 304L con enfriamiento en aceite.

Tabla 14 datos tamaño de grano enfriado en aceite304L



Color línea	1	2	1	2	1	2
Longitud total de la línea (µm)	132.35	104.43	111.04	112.49	108.6	97.29
Numero de granos que cruza la línea	6	2.5	5	1.5	3	3.5
Longitud del grano (µm)	24.06	41.77	24.67	75.00	36.2	27.80
Longitud promedio de grano	**1)**Zona Afectada por el Calor= 28.31 µm **2)**Material Base=48,19 µm					

Ilustración 44 Microscopia óptica acero inoxidable 304L con post tratamiento térmico y enfriamiento en aceite aumento x200

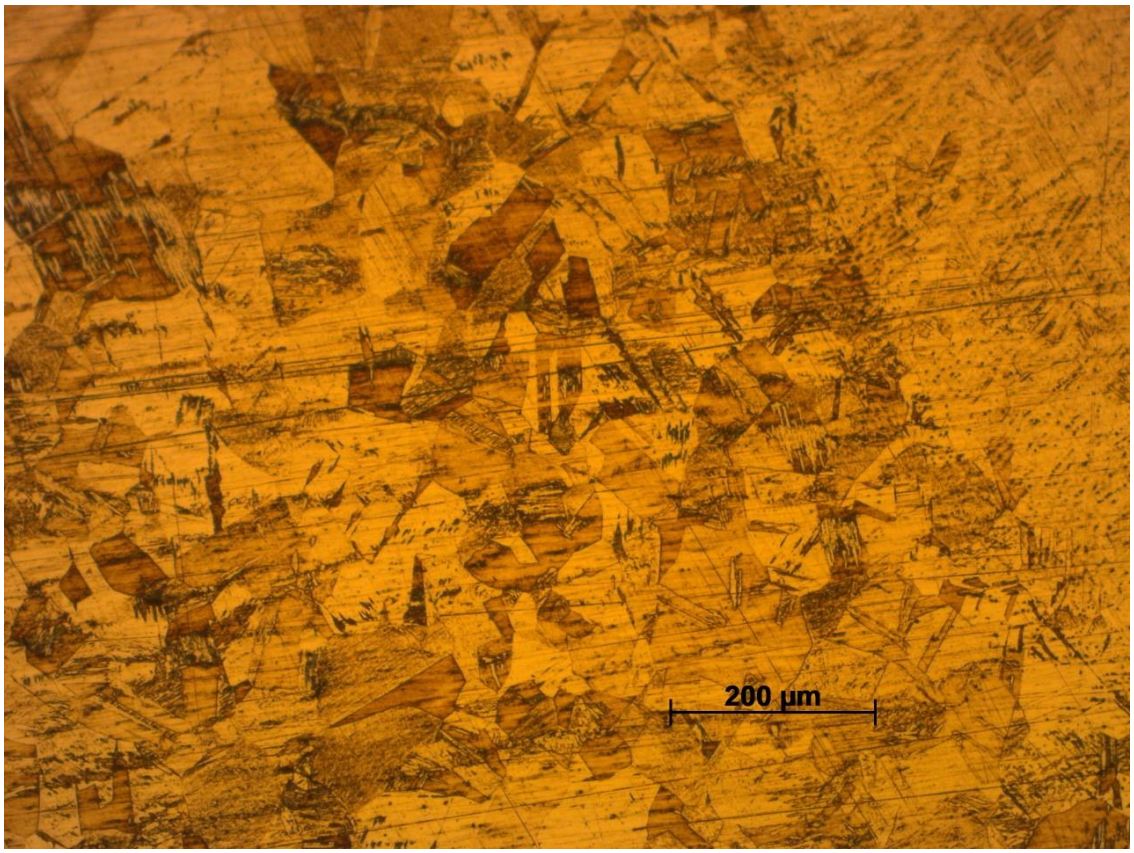


Ilustración 45 vista general Microscopia óptica acero inoxidable 304L con post tratamiento térmico y enfriamiento en aceite aumento x200

10.4 OBSERVACION ZAC Y MATERIAL BASE

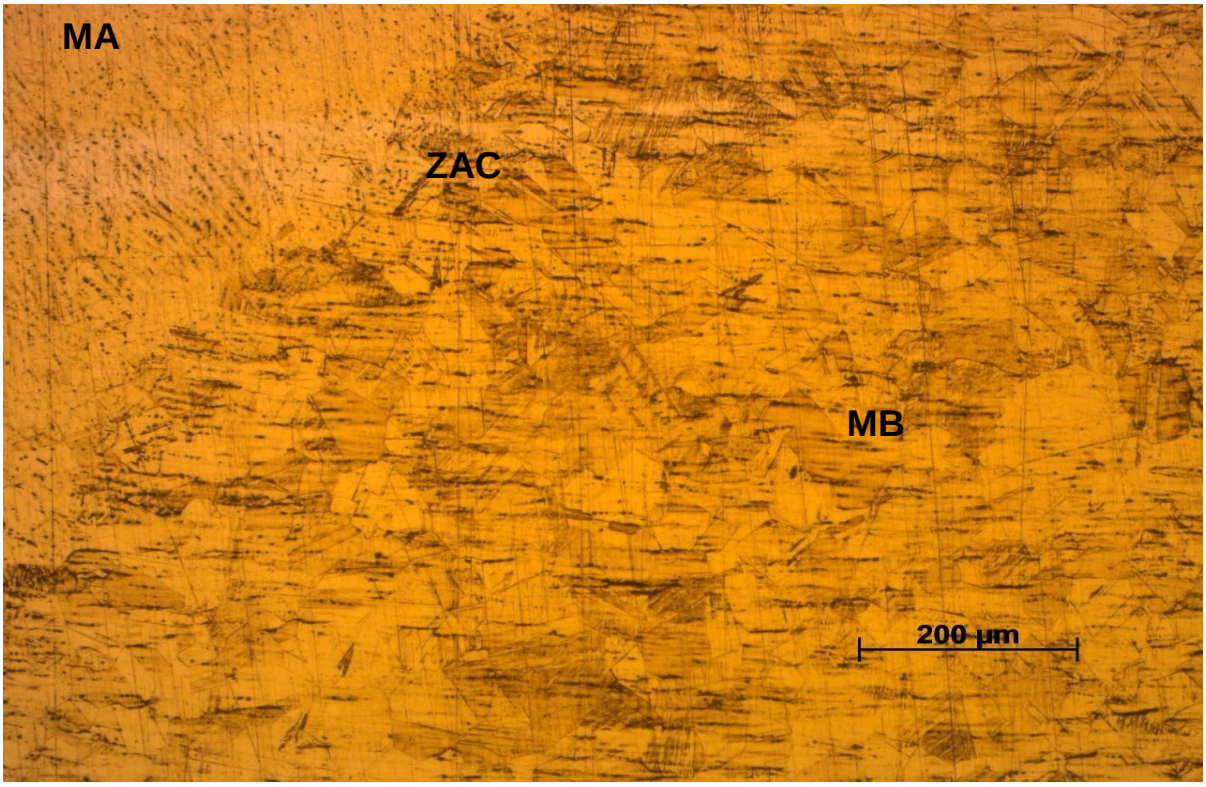


Ilustración 46 Diferencia entre material base, ZAC y soldadura.
Fuente: elaboración propia

En la ilustración 46 se logra observar las tres zonas en la placa estudiada las cuales son: MA (material de aporte), ZAC (zona afectada por el calor) y MB (material base). Se alcanza observar el cambio del material de aporte a la zona afectada por el calor por un límite que se presenta a lo largo de la imagen en donde hay un cambio de dirección en cuanto al límite de grano, por otro lado, el material base y el material de aporte se logran diferenciar por el cambio de tamaño de grano. En el diagrama de schaeffler y el diagrama de hierro-cromo anteriormente analizados se comprobó que en el material estudiado presenta dos fases, la fase sigma que corresponde a la ferrita en donde sus inclusiones son entre el 5 y 8%, se ven representadas en las zonas más oscuras de la ilustración 46 y la fase gamma que corresponde a la austenita está presente entre un 95 y 92% del material y corresponde a los granos más definidos a lo largo de la imagen, esta comparación de las fases se hace a partir del análisis del proyecto ``Efecto del tratamiento térmico posterior a la soldadura (PWHT) en la microestructura, propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión de aceros inoxidables diferentes´´ a la cual corresponde la ilustración 5c).

11. CONCLUSIONES.

- El diagrama de schaeffler y el diagrama hierro cromo junto con las imágenes tomadas en el estado del arte, mostraron estructuras muy similares en las cuales podemos asegurar que nuestro material posee dos fases, una Austenita que es la matriz principal y la fase ferrifica la cual aparece en porcentajes que varían entre el 5 y el 8 %, además de ver las diferentes fases en los diagramas también se identifican estas en las fotos mostradas tanto ópticas como electrónicas
- A lo largo de la observación de las imágenes se puede concluir que a pesar de estar trabajando con un mismo material base y un mismo material de aporte cada uno de los post-tratamientos térmicos logro dar unas características diferentes a las uniones soldadas, ya sea en cuanto al tamaño de grano, la posible generación o no generación de carburos en la ZAC, o las diferentes características de la distribución de las fases encontradas en el material trabajado.
- En la ZAC se logra observar diferentes tamaños de grano los cuales se midieron en algunos puntos específicos sobre la zona afectada por el calor y el material base, estas mediciones aseguraron que el tamaño de grano en la ZAC es considerablemente menor al tamaño de grano del material base.

12. RECOMENDACIONES

- Bajo trabajos de soldadura y diferentes tratamientos térmicos se recomienda utilizar un acero inoxidable con muy bajo contenido de carbono, en este proyecto se expuso el 304L el cual es resistente a la corrosión y es muy poco probable la creación de carburos, por ende, evitara la corrosión intergranular.
- Se recomienda una buena limpieza del material base, evitar humedad al momento de la aplicación de la soldadura, exigir una buena manipulación de las barras de aporte y evitar un desprendimiento prematuro de la cascarilla dejada por el revestimiento de la barra, ya que esta es la que evita el fenómeno de aireación mientras se completa la solidificación de la soldadura.

13. Bibliografía

ALANIS, S. A. (2011). *CARACTERIZACIÓN DE ACEROS INOXIDABLES Y ESTUDIO DE SU RESISTENCIA MECANICA Y CONFORMABILIDAD.* SAN NICOLÁS DE LOS GARZA. N.L.

Dilip Kumar, s., Gadadhar, S., Ritwik, B., & Sharma, V. (2018). *Investigation on the microstructure mechanical property correlation in dissimilar steel welds of stainless steel SS 304 and medium carbon steel.*

ecured. (s.f.). *ecured*. Obtenido de ecured: https://www.ecured.cu/Austenita

Figueroa, C. (1999). *medios de enfriamiento para temple .* cuba.

Garcia Fuentes , A. L., Salas, R., Centeno, L., & Velasquez del rosario, A. (2011). *Crack growth of dissimilar steels (satainless - structural) butt-welded unions under cyclic loads.*

ghorbani, S., Reza, G., Reza, E.-K., & Akbar , H.-N. (2017). *Effect of post weld heat treatment (PWHT) on the microstructure, mechanical properties, and corrosion resistance of dissimilar stainless steels.*

inc., s. e. (2009). *Tratamiento térmico post soldadura.*

Indura. (s.f.). *Indura.* Obtenido de Indura: http://www.indura.com.ar/content/storage/ar/producto/ID4365_file_1127_308l.pdf

ingenieria, e. c. (2008). *TRATAMIENTOS TERMICOS.* Bogota D.C.

Madrid, I. d. (2015). *Principios generales de la microscopia electronica de barrido.* Madrid.

Montes, J., Cuevas, F., & Cintas, J. (2014). *Ciencia e ingenieria de los materiales.* Madrid España: Ediciones Paraninfo, S.A.

NKS. (s.f.). *NKS de mexico* . Obtenido de NKS de mexico : https://nks.com/es/distribuidor-de-acero-inoxidable/acero-inoxidable-304/

Palafox Martinez, M. G. (1996). *MODELACION DE LA CARBURIZACION Y TEMPLE EN ACEROS.* San Nicolas de los Garza.

perez, j., teran, j., & alonso, e. (2014). *determincaion de la soldabilidad de un acero inxodable austenitico y un acero al carbono.* Sanfandila, Qro.