

ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL DE LOS ACEROS INOXIDABLES AISI 316, 420 Y 430 UTILIZANDO LA TÉCNICA DE METALOGRAFÍA A COLOR

Septiembre de 2015

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
INGENIERÍA MECÁNICA

No. DE RADICACIÓN: _____

Laura Viviana Hernández Rodríguez
20142375032
Lauhernandez0215@gmail.com
Cel. 313-4993913



Daniel Alberto Romero Muñoz
20142375044
Dannirom@hotmail.com
Cel. 304-5231600



INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Tipo de proyecto:

Innovación y Desarrollo Tecnológico.

Línea de investigación de la facultad:

Optimización en procesos industriales.

Línea de investigación del proyecto curricular:

Materiales y procesos de manufactura

Áreas del conocimiento que involucra:

Ciencia de materiales, metalografía, corrosión

Tutor: Ingeniero Luis Hernando Correa Murillo

TABLA DE CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
2. ESTADO DEL ARTE	5
2.1 ESTUDIOS EXISTENTES.....	
2.1.1 <i>Técnica De Metalografía A Color Aplicada A Un Acero Inoxidable 316.</i> .	5
2.1.2 <i>Análisis de Aceros Inoxidables Austeníticos.</i>	5
2.1.3 <i>Metalografía a color en Aleaciones Al-Si comerciales. Optimización de las técnicas de caracterización microestructural mediante microscopía de reflexión..</i>	5
2.1.4 <i>Color Metallography.</i>	6
2.1.5 <i>Characterization of the Weld Structure in a Duplex Stainless Steel Using Color Metallography.</i>	6
2.1.6 <i>Metalografía en color de los aceros inoxidable mediante la técnica de ataque coloreado.</i>	6
3. JUSTIFICACIÓN	7
4. OBJETIVOS	8
4.1 OBJETIVOS GENERALES	8
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
5. MARCO TEÓRICO.....	9
5.1 DEFINICIÓN DE METALOGRAFÍA	9
5.1.1 <i>Análisis de la técnica metalográfica.</i>	9
5.1.2 <i>Observación microscópica.</i>	10
5.2 TIPOS DE METALOGRAFÍA	11
5.3 METALOGRAFÍA EN COLOR MEDIANTE TÉCNICAS DE ATAQUE COLOREADO	11

5.4 ACEROS INOXIDABLES	14
5.4.1 Aceros <i>inoxidables Austeníticos</i>	16
5.4.2 Aceros <i>inoxidables Martensíticos</i>	16
5.4.3 Aceros <i>inoxidables Ferríticos</i>	17
5.5 NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS	17
6. METODOLOGÍA.....	18
7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	19
8. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN.....	20
9. REFERENCIAS.....	21

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Analizando la necesidad de actualización tecnológica, de mejoras y optimización permanente de las técnicas de caracterización metalográfica, se encuentra la oportunidad de continuar trabajando con la técnica de metalografía a color debido a que en Colombia se han realizado pocos estudios al respecto, además, la mayoría de los métodos usados o tradicionales no permiten un análisis detallado de la evolución microestructural de las fases presentes o la revelación de algunas características, por ésta razón se utilizará la técnica de metalografía a color optimizando el ataque químico, un estudio de microdureza de fases y microscopía electrónica de barrido para obtener un análisis más profundo en la caracterización de la microestructura, apoyando dicho estudio con el uso de la norma ASTM E562.

El conocimiento y experiencia de las personas encargadas de la investigación en procesos de análisis de microestructuras serán fundamentales para dar un buen desarrollo al cumplimiento de los objetivos.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 ESTUDIOS EXISTENTES

2.1.1 *Técnica De Metalografía A Color Aplicada A Un Acero Inoxidable 316.* Este artículo realizó un primer análisis microestructural utilizando la técnica de metalografía a color sobre un acero inoxidable 316, donde se logró la identificación apropiada de las fases y la revelación de la estructura del grano a pesar de que los aceros inoxidables son de difícil grabado en comparación con otros materiales. Se realizó una comparación del material bajo las mismas condiciones de preparación y tratamiento térmico pero con técnicas metalográficas distintas y se evidenció una gran diferencia entre la metalografía tradicional y la técnica de ataque en color, permitiendo la identificación de inclusiones y fases que anteriormente no era posible con el ataque químico a blanco y negro sobre un material. (Laura Hernández, 2014)

2.1.2 *Análisis de Aceros Inoxidables Austeníticos* En este proyecto se analizaron aceros de la serie AISI 300, sometidos a tratamiento térmico de recocido, éstas probetas fueron calentadas a 850 °C durante 1 hora y posteriormente enfriadas en el horno, posteriormente las probetas se ensayaron bajo el método de microdureza Vickers y se sometieron a un ensayo metalográfico con microscopio óptico. Finalmente se concluye que la microestructura, es decir, el tamaño de grano, la distribución de los mismos y la composición de las fases, tienen una relación directa con las características mecánicas del material. la dureza de todas las probetas disminuye al ser sometidas al tratamiento térmico y esto es consecuencia directa del aumento del tamaño de grano y un menor número de maclas. (Borja, 2014)

2.1.3 *Metalografía a color en Aleaciones Al-Si comerciales. Optimización de las técnicas de caracterización microestructural mediante microscopía de reflexión.* Las técnicas de ataque tradicionales, utilizadas en la observación microscópica de las aleaciones de aluminio, no permiten un análisis detallado de la evolución microestructural de las fases presentes y de parte de los mecanismos que rigen la solidificación. Se utilizó un procedimiento de ataque en color, basado en un reactivo desarrollado por Weck para aleaciones de aluminio. Su empleo ha posibilitado, revelar gráficamente la estructura de los bordes de los granos tras la solidificación y una estimación de las áreas dendrítica e interdendrítica, poniendo de manifiesto la segregación provocada por los elementos de aleación y la naturaleza de la reacción eutéctica en este tipo de aleaciones. (B. Suárez-Peña, 2010)

2.1.4 Color Metallography. El color ha visto históricamente un uso limitado en metalografía, principalmente debido al costo de la película y las impresiones y la dificultad y el coste de reproducir imágenes en las publicaciones. Sin embargo, con el crecimiento de la imagen digital, la captura de imágenes en color es mucho más simple y más barata. Color tiene muchas ventajas con respecto a blanco y negro. En primer lugar, el ojo humano es sensible a sólo unos cuarenta tonos de gris de blanco a negro, pero es sensible a un gran número de colores.

Las tintas de color revelan características de la microestructura que muchas veces no se puede revelar usando reactivos de ataque blanco y negro estándar. Los reactivos de ataque de color son sensibles a la orientación cristalográfica y pueden revelar si los granos tienen un azar o una textura cristalográfica preferida. También son muy sensibles a las variaciones en la composición y la deformación residual, por lo general son selectivos a ciertas fases y esto es valioso en la microscopía cuantitativa. (Voort, 2005)

2.1.5 Characterization of the Weld Structure in a Duplex Stainless Steel Using Color Metallography. En este artículo se evidencia el estudio que permitió revelar la estructura de soldadura en una aleación de acero inoxidable dúplex comercial con el uso de ataque químico con Glyceregia, un ácido oxálico 10% de grabado electrolítico, y un reactivo de Murakami, las variaciones locales del contenido de cromo permitió la delimitación clara de las morfologías en las fases específicas. Las variaciones microestructurales en la estructura dúplex entre el metal de base no afectado y la zona de fusión son significativos, y pueden estar relacionados principalmente a la amplia gama de temperaturas pico y el rápido calentamiento y enfriamiento experimentadas durante el ciclo térmico de soldadura. (D. E. NELSON, 2000)

2.1.6 Metalografía en color de los aceros inoxidables mediante la técnica de ataque coloreado (Revista de Metalurgia, Vol 32, No 4 (1996), se publica un artículo estrechamente relacionado en el tema donde por medio de la técnica de ataque coloreado es posible la identificación y cuantificación, por el contraste de color, de diversas fases y constituyentes presentes en la microestructura de un gran número de aleaciones. La técnica consiste en depositar una película de interferencia en la superficie del material como consecuencia de reacciones electroquímicas entre el metal y el reactivo de ataque coloreado. La aplicación de la técnica de ataque coloreado en los aceros inoxidables permite la identificación y cuantificación, mediante análisis de imagen, de fases secundarias como la ferrita en los aceros inoxidables austeníticos o la austenita secundaria y la fase sigma en los aceros inoxidables dúplex. (C. Fosca, 1996)

3. JUSTIFICACIÓN

Un acero inoxidable se define como una aleación de acero con un mínimo del 10% de cromo contenido, además de involucrar otros metales como níquel o molibdeno, es una combinación de propiedades metálicas que está compuesta de dos o más elementos, de los cuales, al menos uno es un metal, sus propiedades físicas y químicas son generalmente similares a la de los metales, sin embargo las propiedades mecánicas tales como dureza, ductilidad, tenacidad, entre otras, pueden ser muy diferentes, de ahí el interés que despiertan estos materiales. La demanda e interés por las aleaciones conlleva a la mejora y optimización permanentes de las técnicas de caracterización metalográfica, debido a que esto permite tener un control de la calidad en los materiales y es una gran herramienta para nuevas investigaciones metalúrgicas. La metalografía en color ha permitido la identificación y cuantificación, por el contraste de color, de diversas fases y constituyentes presentes en la microestructura así como una evaluación cualitativa de la misma.

Durante el desarrollo del presente proyecto se toma como objetivo darle continuidad al estudio de la técnica de metalografía a color aplicada en un acero inoxidable AISI 316 (grupo austenítico), realizando una optimización del ataque químico, y usarla en los aceros inoxidables AISI 420 (grupo martensítico) y AISI 430 (grupo ferrítico), esto se apoyará con un estudio de microdureza de fases, microscopía electrónica de barrido y aplicación de la norma ASTM E562, con el fin de realizar una estimación de las fracciones o volumen de los constituyentes microestructurales además de evidenciar claramente las fases presentes en los aceros mencionados sin dejar de lado la comparación con las técnicas metalográficas tradicionales (basados en el tratamiento de imágenes a niveles de grises donde se pierde reflectividad cromática) debido a que es una técnica poco empleada o abordada en el estudio de los materiales.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVOS GENERALES

- Analizar la microestructura de los aceros inoxidables AISI 316, 420 y 430, en estado de entrega y tratados térmicamente, mediante técnicas metalográficas a color.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Preparar los reactivos necesarios para efectuar el ataque químico requerido en la técnica de metalografía a color.
- Realizar tratamientos térmicos a cada uno de los aceros inoxidables, de acuerdo a lo recomendado por el proveedor.
- Visualizar las fases que se encuentran en los aceros inoxidables AISI 316, 420 y 430 mediante el procedimiento de metalografía a color.
- Efectuar un estudio de microdureza de fases y microscopía electrónica de barrido en los aceros inoxidables AISI 316, 420 y 430 después de aplicar la técnica de metalografía a color.
- Evaluar cualitativamente la microestructura en los tres aceros a nivel de tamaño de grano, estimando las fracciones o volúmenes de los componentes microestructurales basados en la norma ASTM E562.
- Comparar las técnicas de metalografía tradicionales con los resultados obtenidos en los tres aceros inoxidables teniendo en cuenta su clasificación y diferentes tratamientos térmicos aplicados.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 DEFINICIÓN DE METALOGRAFÍA

La metalografía es la ciencia encargada de estudiar características de un material o aleación relacionándolas con sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, es un paso clave en la determinación de la calidad de los metales mediante el análisis microestructural. Dentro de las características estructurales a analizar de un material, están la estructura y subestructura, por lo general con un enfoque en el examen de los granos, fases, inclusiones, así como la presencia de segregaciones e irregularidades que profundamente pueden afectar las propiedades mecánicas y el comportamiento general de un metal.

La calidad del estudio metalográfico depende en gran medida del cuidado al preparar las muestras, éstas deben tener finalmente una superficie plana, sin ralladuras, semejante a un espejo. Básicamente, el procedimiento que se realiza incluye la extracción, preparación y ataque químico de la muestra, para terminar en la observación microscópica, estudio de microdureza de fases, microscopía electrónica de barrido y estimación de componentes microestructurales, todo esto resulta la fase más importante de la metalografía, de modo que poco podremos observar si alguna de las operaciones previas se realiza deficientemente.

Tradicionalmente la metalografía se lleva a cabo junto con microscopía óptica, microscopía electrónica, y difracción de rayos X para identificar y caracterizar diferentes fases cristalinas y otras propiedades de los materiales críticos que no son visibles a simple vista.

5.1.1 *Análisis de la técnica metalográfica.*

Para realizar un análisis metalográfico se debe preparar la muestra de estudio llevando a cabo los siguientes pasos:

- Corte, éste suele ser un corte por abrasión evitando la alteración de las condiciones microestructurales de la pieza.
- Inclusión, la pieza o muestra debe ser incluida en resina para un mejor tratamiento posterior y almacenamiento.
- Pulido para preparar la superficie del material iniciando con un desbaste grueso, usando una lija para la disminución del tamaño del grano, finalizando con un desbaste o pulido fino usando en una rueda giratoria un paño cubierto de partículas abrasivas.

- Ataque químico, permite poner en evidencia la estructura del metal o aleación, generalmente hecho por inmersión o con un algodón empapado con el líquido escogido por la región a ser observada.
- Visualización microscópica.

5.1.2 Observación microscópica

- *Microscopía óptica*: Con microscopía óptica, el microscopio de luz se utiliza para estudiar la microestructura, los sistemas de iluminación ópticos son los elementos básicos. Para los materiales que son opacos a la luz visible (todos los metales, muchas cerámicas y polímeros), solamente la superficie está sujeta a la observación, y el microscopio de luz debe ser utilizado en un modo de reflexión. Los contrastes en el resultado de la imagen se producen por las diferencias en la reflectividad de las diversas regiones de la microestructura.

Cuando la microestructura de la segunda fase se ha de examinar, se elige un reactivo de ataque que produce una textura diferente para cada fase de manera que las diferentes fases se puedan distinguir unas de otras.

La ampliación máxima posible con un microscopio electrónico es de aproximadamente 2.000 aumentos.

- *Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM)*: La imagen que se ve con un TEM está formado por un haz de electrones que pasa a través de la muestra.

Los detalles de las características microestructurales internos son accesibles a la observación, los contrastes en la imagen son producidos por las diferencias en la dispersión de la viga o de difracción producida entre diversos elementos de la microestructura o un defecto. El haz transmitido se proyecta sobre una pantalla fluorescente o una película fotográfica para que la imagen pueda ser vista.

Con TEM, existen aumentos que se acercan a 1000000x, es comúnmente para observar dislocaciones.

- *Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)*: La superficie a ser examinada se escanea con un haz de electrones, este haz reflejado de electrones se recoge, a continuación, se muestra a la misma velocidad de escaneo en un tubo de rayos catódicos. La imagen que aparece en la pantalla, que puede ser fotografiada, representa las características de la superficie de la muestra. La superficie puede o no puede ser pulida y grabada químicamente, un recubrimiento metálico muy delgado se debe aplicar a los materiales no conductores. Este procedimiento permite aumentos que van desde 10 a más de 50 000 y también permite grandes profundidades de campo. (Venkannah, 2004)

5.2 TIPOS DE METALOGRAFÍAS

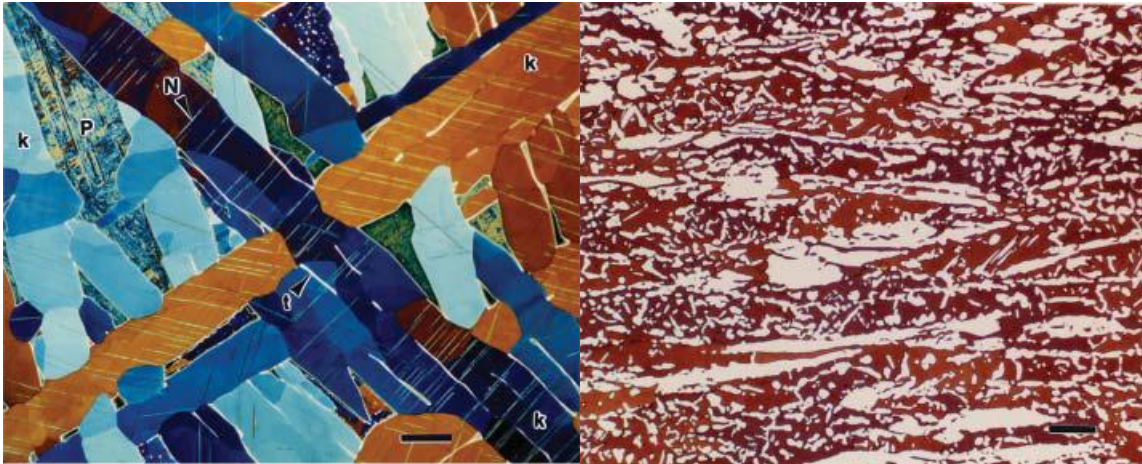
Dentro de la metalografía se distinguen la metalografía cuantitativa y la metalografía cualitativa:

- El objetivo de la metalografía cuantitativa es determinar el tamaño medio de los granos, el porcentaje en cada fase que contiene el material, la forma y el tipo de inclusiones no metálicas, la forma y el tipo del grafito y otros datos específicos de cada componente. Con estos datos, es posible identificar cada elemento, prever el comportamiento mecánico y el método con el que el material fue procesado.
- La metalografía cualitativa consiste sólo en observar la microestructura, determinando cuáles son los micro-constituyentes que la compone, éstos varían de acuerdo a los tratamientos térmicos, tratamientos mecánicos, procesos de fabricación y otros procesos a los que el material esté sometido. Para los aceros los principales constituyentes son: la ferrita, cementita, austenita, perlita, martensita, vainita, troostita, sorbita, ledeburita, steadita y grafito. (Revista digital para profesionales de la enseñanza, 2011)

5.3 METALOGRAFÍA EN COLOR MEDIANTE TÉCNICA DE ATAQUE COLOREADO

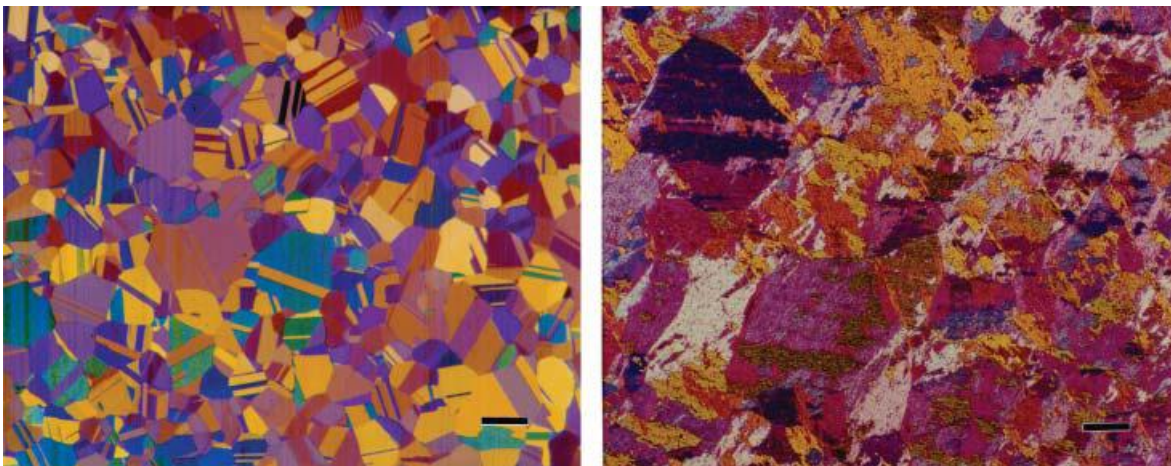
La metalografía a color mediante la técnica de ataque coloreado permite la identificación de diversas fases constituyentes presentes en la microestructura de un gran número de aleaciones debido a que los reactivos son sensibles a la orientación cristalográfica y pueden revelar si los granos tienen un azar o una textura cristalográfica preferida, también son muy sensibles a las variaciones en la composición y la deformación residual. El estudio de esta microestructura puede realizarse y entenderse fácilmente con el uso del color debido a que el ojo humano puede distinguir una alta gama de colores y que por el contrario puede verse limitado para diferenciar tonos de grises.

Ésta técnica se ha venido empleando hace varios años para facilitar el reconocimiento de la microestructura de un material y obtener mayor información que con la técnica tradicional de estudio metalográfico, sin embargo se ha visto históricamente un uso limitado debido al costo de la película, las impresiones y en la reproducción de imágenes en las publicaciones, a pesar de esto, con el crecimiento de la tecnología en imagen digital, este procedimiento de captura es mucho más simple y barato en la actualidad.



Las figuras 1 y 2 : estructura de grano Octahedrite fino de la Gabaón meteorito (izquierda) revelaron con el reactivo de Beraha (100 ml de agua , 10 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ y 3 g $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$) y ferrita en 7 Mo PLUS placa de acero inoxidable dúplex revelado usando el reactivo de Beraha (85 ml agua , 15 ml de HCl , 1 g $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$) .

Este tipo de metalografía tiene un campo de aplicación muy interesante en la observación microscópica de los aceros inoxidable. Su empleo no sólo está orientado a la obtención de imágenes visualmente agradables, sino también, debido al elevado contraste de colores, a la identificación de fases secundarias, de zonas de material con diferencias en la composición química (segregaciones) y al empleo en la metalografía cuantitativa mediante análisis de imagen.



Figuras 3 y 4: FCC estructura de grano maclado de la partida de acero inoxidable 302 de calidad de encargo reveló usando el reactivo B1 de Beraha y el listón estructura de grano martensita de sobre-austenizado (1093°C) Aermet 100 ultra-acero de alta resistencia revelado utilizando 10% de metabisulfito de sodio. Tanto vistos con luz polarizada, más tinte sensible. Las barras de aumento son 100 micras de largo.

En estos materiales, uno de los reactivos de ataque coloreado más empleado es el reactivo Berahá, que contiene HCl, $K_2S_2O_5$ y (NH_4FHF) . Sin embargo se han obtenido resultados muy buenos con la versión modificada de este agente de ataque coloreado, conocido también como reactivo de Bloech y Wedl, que contiene solamente HCl y $K_2S_2O_5$. Al emplearse altas concentraciones de $K_2S_2O_5$ se pueden revelar mejor las segregaciones en estos aceros o para efectuar un micro-ataque en uniones soldadas. Este agente químico es un reactivo de ataque coloreado de carácter anódico, que colorea intensamente las fases y regiones del material que, en contacto con esta solución, se comportan anódicamente.

Berahá clasificó los reactivos para ataque coloreado de la siguiente manera:

- a) Reactivos de carácter anódico que permiten la precipitación de una película delgada en las regiones anódicas de la microestructura, coloreando sólo estas regiones.
- b) Reactivos de carácter catódico, que depositan películas de interferencia sólo sobre los constituyentes y regiones catódicas de la estructura y colorean únicamente a aquellos.

A diferencia de los aceros al carbono y los aceros para herramientas, la delimitación de las microestructuras de los aceros inoxidable, ya sea por grabado químico o electrolítico convencional, es comparativamente difícil. (Voort, 2005)

- *FUNDAMENTOS DE LA TÉCNICA DE ATAQUE COLOREADO*

En estas técnicas, el color se forma por fenómenos de interferencia. Los rayos de luz que inciden sobre la superficie metálica recubierta de una película se reflejan desde ambas superficies (superficie del metal y superficie de la película), como puede apreciarse en la figura 1, con ello se obtiene un efecto de interferencia que dependerá de la longitud de onda de la luz en el aire, del espesor, e , y del índice de refracción de la película.

El color de la película de interferencia está relacionado con su espesor. Debido a ello, es posible obtener una amplia variedad de colores. Por ejemplo, cuando la película es muy delgada, la interferencia puede ocurrir en la región ultravioleta (aprox. 350 nm) y no se observará color alguno. Incrementando progresivamente el espesor, la interferencia puede alcanzar la región del azul (450 nm), lo que significará que habrá un desfase preciso entre los rayos reflejados por la superficie metálica y por la película dentro del rango de longitudes de onda antes señalado. Ello dará lugar a que el color resultante sea el complementario del color interferido y la superficie se verá en este caso coloreada de amarillo.

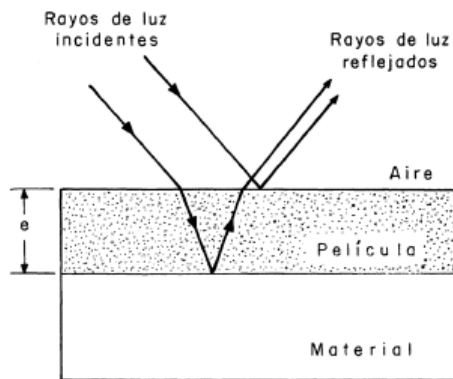


Figura 5: Tomada de Metalografía en color de los aceros inoxidables mediante la técnica de ataque coloreado (C. Fosca, 1996)

El ataque coloreado es, fundamentalmente, un proceso controlado de corrosión electroquímica a través del cual se forma una película estable en la superficie de la muestra. Esta es una primera diferencia respecto a los procedimientos convencionales que emplean el ataque químico para revelar la microestructura de un material. En ellos, los productos de corrosión producidos durante el ataque se disuelven en la solución y no intervienen para nada en la posterior identificación metalográfica.

Durante el ataque electroquímico de una aleación bifásica, la fase más activa (anódica) resulta atacada y disuelta selectivamente, mientras que la fase más noble (catódica) permanece prácticamente inalterada.

5.4 ACEROS INOXIDABLES

“Acero inoxidable” es una denominación utilizada comúnmente para indicar cualquiera de los aceros o aleaciones resistentes a la corrosión atmosférica, al ataque de los ácidos fríos o calientes y a la oxidación con formación de costras a elevadas temperaturas. El acero inoxidable es una aleación de hierro y carbono que contiene cromo generalmente del 10 o 12% al 18 o 20%, rebasando algunos aceros. que oscila en, cromo un mínimo de 10,5% de cromo. Algunos tipos de acero inoxidable contienen además otros elementos aleantes. Los principales son el níquel y el molibdeno. Son materiales que reúnen una alta flexibilidad y buenas cualidades de resistencia mecánica, con gran estabilidad ante los ataques químicos,

La principal característica de estos aceros es la alta resistencia a la corrosión, resistencia dada debido a la formación espontánea de una capa de óxido de cromo en la superficie del acero. Aunque es extremadamente fina, esta película

invisible está firmemente adherida al metal y es extremadamente protectora en una amplia gama de medios corrosivos. Dicha película es rápidamente restaurada en presencia del oxígeno, y así daños por abrasión, corte o mecanizados son reparados rápidamente.

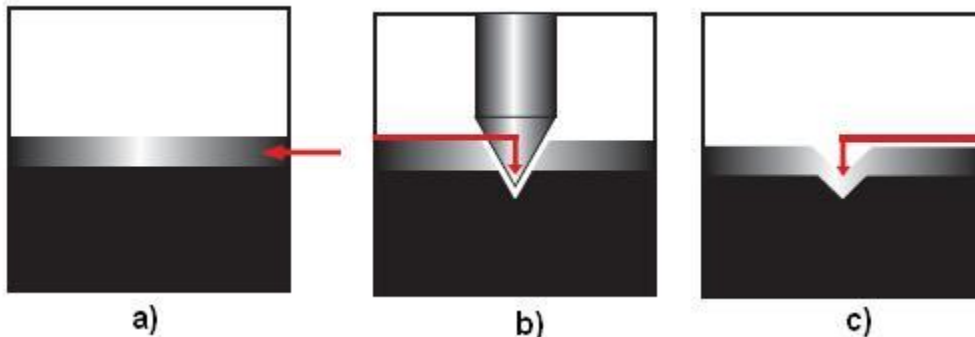


Figura 6: a) El acero inoxidable forma una capa de óxido de cromo. b) Cuando es rayado, esta película protectora es removida. c) La capa protectora es restaurada.

Las aplicaciones de los aceros inoxidables pueden dividirse ampliamente en dos grupos: aquellos casos en que deben resistir a la corrosión incluyendo la oxidación a elevada temperatura y cuando se requieren propiedades mecánicas no corrientes de dureza, resistencia al desgaste y a la abrasión. Las aplicaciones más corrientes incluyen cuchillos, instrumentación dental y quirúrgica, válvulas de vástago para motores de combustión interna, álabes de turbinas, ejes de bombas, adornos arquitectónicos, piezas para automóviles, equipos para diferentes industrias, entre otros.

Principales elementos de aleación:

- Cromo: Principal responsable de la resistencia a la corrosión y de la formación de la película de óxido, sin embargo no presenta un aporte significativo en la resistencia a altas temperaturas.
- Níquel: Su función es mejorar la resistencia general de la corrosión en líquidos no oxidantes, mejora además de tenacidad y la ductilidad del material, se añade a los grados como cromo para mejorar las propiedades mecánicas, reduce la conductividad del calor.
- Molibdeno: Mejora la resistencia a temperaturas elevadas, la resistencia general a la corrosión en medios no oxidantes y la resistencia a la corrosión por picadura en todos los medios.

Los aceros inoxidables según su estructura cristalina se clasifican en:

5.4.1 Aceros inoxidables Austeníticos: Los aceros inoxidables austeníticos son los más soldables de los aceros inoxidables y se pueden dividir con poco rigor en tres grupos: cromo-níquel común (300 series), manganeso, cromo y níquel-nitrógeno (serie 200) y la aleaciones especiales. Los aceros inoxidables austeníticos tienen una estructura cúbica centrada en las caras. Aunque en general muy soldables, pueden ser propensos a la sensibilización en la zona afectada por el calor de la soldadura y el metal de soldadura puede fisurar en caliente.

- *Acero AISI 316*, es esencialmente no magnético en estado de recocido y sólo puede endurecerse en frío. Se añade molibdeno para aumentar la resistencia a la corrosión especialmente en entornos que contienen cloruros. El bajo contenido en carbono de la aleación 316L otorga una mejor resistencia a la corrosión en estructuras soldadas. Su punto de fusión está entre 1370-1400 °C, dureza Brinell 160-190, Módulo de elasticidad de 190-210 GPa

5.4.2 Aceros inoxidables Martensíticos: Los aceros inoxidables martensíticos, tales como los tipos 403, 410, y 420 410, son similares en composición al grupo de ferrita, pero contienen un saldo de C y Ni vs. Cr y Mo; Por lo tanto, la austenita a altas temperaturas transforma en martensita a bajas temperaturas. Como ferrita, también tienen una estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo en el estado templado. El contenido de carbono de estos aceros endurecibles afecta a la formación y soldadura. Para obtener propiedades útiles y evitar grietas, los martensíticos soldables por lo general requieren precalentamiento y tratamiento térmico posterior a la soldadura.

- *Acero AISI 420*, éste acero inoxidable tiene buena ductilidad en la condición de recocido, pero es capaz de ser endurecido hasta 52 HRc, la dureza máxima que se puede conseguir en los aceros inoxidables con 12% de cromo. La mayor resistencia a la corrosión para este grado es lograda cuando el metal es endurecido y luego rectificado o pulido. En la condición de endurecido tiene buena resistencia a la atmósfera, alimentos, agua fresca y ácidos y bases medios. La resistencia a la corrosión es muy baja en la condición de recocido. No se recomienda utilizar en temperaturas mayores de los 370 °C. En cuanto a los tratamientos térmicos, el recocido se logra luego de calentarlo hasta 845 – 900 °C, seguido de un enfriamiento lento en el horno hasta 535 °C y luego enfriamiento al aire. El endurecimiento se da con un calentamiento entre 980 – 1035 °C y con enfriamiento en aceite o al aire. El temple en aceite es necesario para piezas grandes. El revenido se hace entre 200 y 650°C, no se recomienda revenir entre 430 y 535 °C ya que la resistencia al impacto es muy baja. (SUMITEC)

5.4.3 Aceros inoxidables Ferríticos: Los aceros inoxidables ferríticos constan de aleaciones de hierro-cromo con estructuras cristalinas cúbica de cuerpo centrado. Pueden tener una buena ductilidad y conformabilidad, pero las fortalezas a altas temperaturas son relativamente pobres en comparación con los del grupo austeníticos. Algunos aceros inoxidables ferríticos (como tipos 409 y 405) se utilizan, por ejemplo, en los silenciadores, sistemas de escape, mostradores de cocina y fregaderos, cuestan menos que otros aceros inoxidables.

- Acero AISI 430, es un acero inoxidable que no es tratable térmicamente que combina la buena resistencia a la corrosión y características de conformado con propiedades mecánicas útiles. Su habilidad de resistir el ataque del ácido nítrico permite usarlo en aplicaciones químicas específicas pero su mayor aplicación es la de fabricación de componentes de adorno. Tiene buena resistencia a una amplia variedad de medios corrosivos, incluyendo el ácido nítrico y otros ácidos orgánicos. Alcanza su máxima resistencia a la corrosión cuando está altamente pulido. Resiste a la oxidación en servicio intermitente hasta 870 °C y hasta 815°C en servicio continuo. Este grado es quebradizo a temperatura ambiente luego de un calentamiento prolongado entre 400 y 595°C. Esto se puede eliminar con el recocido. el recocido se da con calentamiento entre 815 – 850 °C, mantenimiento de 30 minutos por cada 13mm de espesor, enfriamiento lento en el horno hasta 625 °C y luego enfriamiento rápido en aire. Este grado no es endurecible por tratamiento térmico. (SUMITEC)

5.5 NORMAS RELACIONADAS

- ASTM E407: Método de ataque de una muestra de metal para revelar su microestructura. Esta microestructura puede ser inspeccionada por el montaje, la sección transversal, y pulido según la norma ASTM E3 seguido por el ataque químico según la norma ASTM E 407, esta norma especifica qué productos químicos de ataque (por lo general ácidos) y los trámites necesarios para revelar la microestructura de los diferentes tipos de metales, se enumeran los métodos y soluciones recomendadas para el grabado de muestras para examen metalográfico. Las soluciones aparecen al resaltar las fases presentes en la mayoría de los principales sistemas de aleaciones. (ASTM International, 2011)

- ASTM E3-01: Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens, trata sobre las correctas técnicas de preparación de muestras metalográficas.

- ASTM E562: Este método de ensayo se basa en el principio estereológico en el que una rejilla con una serie de puntos regularmente dispuestos, puede presentar una estimación estadística imparcial de la fracción de volumen de un componente o fase de identificación. Cualquier número de componentes claramente distinguibles o fases dentro de una microestructura o macroestructura se pueden contar con este método, por esta razón puede ser utilizado en cualquier tipo de material sólido a partir de cual las secciones bidimensionales adecuadas se pueden preparar y observar.

6. METODOLOGÍA

El presente proyecto se desarrollara con continuidad de las fases y actividades que se mencionaran a continuación:

6.1 Fase Documental, comprende la recopilación de información implícita en artículos, trabajos de grado similares, libros, normas (ASTM E407 - ASTM E3-01 *- ASTM E562), bases de datos entre otros. Lo anterior se analizara para que sea la estructura fundamental del documento final.

6.2 Fase de Fabricación, en esta fase se tendrán en cuenta los procedimientos necesarios para la construcción de la muestra objeto de estudio metalográfico. Por consiguiente incluye la compra de materiales, y elementos necesarios para la elaboración de las muestras y preparación de reactivos para los ataques químicos.

6.3 Puesta a Punto, teniendo en cuenta las especificaciones de las normas ASTM E407 - ASTM E3-01, se efectuarán los procedimientos que garanticen ensayos óptimos, precisos, confiables y constantes en la obtención de datos.

6.4 Fase de pruebas o ensayos, allí se compararán las técnicas metalográficas a color y tradicionales para los aceros AISI 316, 420 Y 430. Del mismo modo se realizará el estudio de microdureza de fases, se practicará el procedimiento de microscopía electrónica de barrido y se tendrá en cuenta la norma ASTM E562 para la estimación de las fracciones de volumen de los diferentes componentes en la microestructura. Esta fase será además el paso final donde se comprobará el logro de los objetivos propuestos.

6.7. Fase de Elaboración del documento de Proyecto de grado, Corresponde a la compilación de datos y resultados obtenidos para realizar el documento final que se requiere para optar al título de Ingeniero Mecánico, siguiendo las normas Icontec disponibles para tal fin.

7. CRONOGRAMA

FASE	ACTIVIDAD	DURACIÓN EN SEMANAS																	
		1	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Documental	Búsqueda, análisis y clasificación de la información. Elaboración anteproyecto.																		
Fase de Fabricación	Análisis de normas para los procedimientos de construcción de la muestra																		
	Compra de materiales y elementos necesarios para la construcción de la muestra																		
Puesta a Punto	Verificación del cumplimiento de las especificaciones de las normas ASTM E407 - ASTM E3-01 – ASTM E562																		
Fase de ensayos	Realizar varios ensayos con muestras diferentes para comparar la información te técnicas metalográficas																		
	Toma de fotografías para el respectivo análisis																		
	Realizar la microscopía electrónica de barrido y el estudio de microdureza de fases para el respectivo análisis																		
Fase de Elaboración del documento de Proyecto de grado	Plasmar todos los resultados obtenidos en el documento final para su respectiva sustentación.																		

8. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN

DESCRIPCIÓN	COSTO ASOCIADO	FUENTE DE FINANCIACIÓN
Acero para muestras	\$ 50.000	Personal
Lijas para el pulido metalográfico	\$ 50.000	Personal
Químicos para coloración metalográfica	\$200.000	Personal
Microscopía electrónica de Barrido	\$ 70.000	Personal
Subtotal	\$ 370.000	
Imprevistos	\$ 50.000	Personal
Total presupuestos	\$ 420.000	

REFERENCIAS

- Amitava Ray, S. K. (Mayo de 1996). *ScienceDirect*. Recuperado el Agosto de 2013, de ELSEVIER: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1044580396000228>
- ASTM International. (Junio de 2011). *ASTM International*. Recuperado el Septiembre de 2013, de <http://www.astm.org/Standards/E407.htm>
- B. Suárez-Peña, J. A.-L.-V. (2010). Metalografía a color en aleacionesAl-Si comerciales. Optimización de las técnicas de caracterización microestructural mediante microscopía óptica de reflexión. *Revista de Metalurgia*, 10.
- Borja, J. M. (2014). *Escuela Universitaria Ingeniería Técnica Industrial Zaragoza*. Recuperado el 2015, de <http://zaguan.unizar.es/record/15908/files/TAZ-PFC-2014-366.pdf>
- C. Fosca, C. M. (1996). *Revista de Metalurgia*. Recuperado el 09 de 2013, de <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/904/917>
- D. E. NELSON, W. A. (Febrero de 1985). *ScienceDirect*. Recuperado el Agosto de 2013, de ELSEVIER: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S104458039700140X>
- D. E. NELSON, W. A. (Febrero de 2000). *ScienceDirect*. Recuperado el Agosto de 2013, de ELSEVIER: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S104458039700140X>
- Laura Hernández, L. H. (2014). *TÉCNICA DE METALOGRAFÍA A COLOR APLICADA A UN ACERO INOXIDABLE 316*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- metalurgicos, P. q. (Noviembre de 2009). *blogspot.com*. Recuperado el Agosto de 2013, de <http://procesos-quimicosymetalurgicos.blogspot.com/2009/11/procesos-metalograficos.html>
- Peter J. Szabo, I. K. (Mayo de 2010). *ScienceDirect*. Recuperado el 2013, de ELSEVIER: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1044580310001403>
- Revista digital para profesionales de la enseñanza. (Noviembre de 2011). *Temas para la educación*. Recuperado el 2013, de <http://www2.fe.ccoo.es/andalucia/docu/p5sd8732.pdf>
- SUMITEC. (s.f.). *Suministros Técnicos S.S.* Recuperado el 2015, de <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%20420.pdf>
- Venkannah, S. (Agosto de 2004). *University of Mauritius*. Recuperado el 2015, de Materials Science MECH-2121: http://www.uom.ac.mu/faculties/foe/mped/students_corner/practical.pdf
- Voort, G. F. (2005). *Microscopy Today*. Recuperado el Agosto de 2013, de Color Metallography: <http://mme.iitm.ac.in/gphani/lib/exe/fetch.php/om:vandervoort.pdf>