

# CAPÍTULO 2

## 2. PLAN DE TRABAJO PARA INSPECCIÓN DE DOS COMPONENTES MEDIANTE TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS

### 2.1 Plan de Inspección.- Metodología

Se aprovecha la parada de operación de un Horno Catalítico *Figura 2.1*, cuyo año de fabricación fue en 1996 a cargo de la Compañía Técnicas Reunidas.

Al momento del ingreso al Horno, ya se tenían los andamios previamente armados en 5 niveles separados casi equidistantemente, uno de los problemas con los que se encontró fue que los tablonos no estaban sujetos contra la estructura metálica de los andamios, se tuvo que realizar esta operación. Este punto hay que tenerlo muy en cuenta por medidas de seguridad, ya que se trabajaron en alturas superiores a 6 m. y esto constituía un riesgo latente.

Una vez que se tienen todos los aspectos de seguridad controlados, empieza el plan de inspección para el análisis íntegro de dicho horno.



**Figura 2.1 HORNO CATALÍTICO A EVALUAR. PRIMERO A LA IZQUIERDA**

## **2.2 Inspección visual en un Horno Catalítico**

La selección de las zonas críticas y representativas de posibles daños de tipo termo mecánicos se tienen en cuenta para la detección de degradación microestructural en este componente.

Por medio de inspección visual **Ver Figura 2.2** se deciden previamente cuales serán las posibles zonas críticas las cuales serán verificadas buscando, en el caso de este componente, daños tales como:

Oxidación excesiva, deformación plástica, zonas erosionadas, uniones soldadas fisuradas, en áreas donde funcionen quemadores restos de combustibles quemados pueden indicar desviaciones que podrían provocar degradación micro estructural anormales.

Para este Horno, se precisan de 41 puntos a evaluarse, los cuales son distribuidos como se detalla en el **Plano 1 (ver Apéndice A)**.



**Figura 2.2** Inspección visual interior Horno Catalítico.

### **2.3 Preparación de las superficies**

Para la preparación y análisis cuantitativo de los 41 puntos que se tienen que realizar en el Horno para el análisis metalográfico, se utiliza la norma ASTM E 1351 – 06.

El procedimiento de preparado superficial es el mismo para los 41 puntos a realizarse en el Horno.

Cabe resaltar que todos los instrumentos utilizados para el desbaste inicial, así como de pulido intermedio y final, tanto mecánico como electrolítico, son instrumentos que pueden ser obtenidos en cualquier ferretería o tienda electrónica.

Se utilizan este tipo de artefactos “comunes” ya que estos poseen mayor torque y potencia que los aparatos que usualmente se venden para trabajos metalográficos en campo, y suelen ser más costosos.

Se detalla a continuación los respectivos pasos a seguir hasta tener completamente preparada la superficie para su análisis metalográfico:

### **2.3.1 Desbastado**

Debido a la atmósfera de trabajo del componente que genera oxidación, se necesita como primer paso utilizar una amoladora portátil *ver Figura 2.3*, para realizar el también llamado “pulido grueso”

Se utiliza el disco de corte que viene con la amoladora, que sumado al potente torque que posee, es suficiente para desbastar una capa superficial de aprox. 1mm de espesor.

Se realiza el pulido de un área de 10 x 5 cm.



**Figura 2.3 DESBASTE GRUESO CON LA AMOLADORA**

### **2.3.2 Pulido mecánico**

Una vez concluida la etapa de desbaste grueso (amolado), se elimina la deformación plástica generada en esta etapa con papeles abrasivos de carburo de silicio de malla desde #120, 220, 320, 400 y 600.

El procedimiento y herramientas utilizados en este proceso se detallan a continuación:

Los papeles abrasivos de carburo de silicio de granulometría #120, 220, 320 tienen forma de disco (tienen exactamente las mismas dimensiones de un disco compacto) y son colocados en un adaptador portapapel (disco de goma, marca Black & Decker), el

mismo que es adaptado al mandril de un taladro cualquiera a manera de broca. **Ver Figura 2.4**

Este adaptador portapapel es fabricado con un plástico flexible por lo que al momento de uso es muy cómodo para desbastar superficies irregulares.

En el centro posee un agujero donde va un tornillo con arandela para realizar el cambio de papel abrasivo y así completar el pulido hasta el papel #320.

Como en el caso anterior se utiliza una herramienta “común” como es el caso de un taladro, en este caso la misma marca Black & Decker. **Ver Figura 2.4**

El procedimiento de pulido se realiza suavemente por aprox. 3 min con cada papel y en direcciones opuestas cada vez que se realice el cambio (tal como se lo realizaría en laboratorio para evitar las llamadas “colas de cometa”). Este procedimiento es el más decisivo a la hora de tener una buena micro estructura, por lo que hay que realizarlo con mucho cuidado y sin apuros.



**Figura 2.4** TALADRO CON EL ADAPTADOR PORTAPAPELES (DISCO DE GOMA)

Para el pulido final con los papeles de granulometría #400 y 600, se utilizan tiras de 10 x 5 cm. El pulido se lo realiza a mano, procurando cambiar la dirección del mismo, cada que se realice el cambio de papel.

Hay que tener mucho cuidado de no contaminar la superficie de preparación llevando resto de óxidos de las vecindades hacia ella. Para evitar esto procurar realizar el pulido manual únicamente en el centro de la superficie (de todas formas para la obtención de la metalografía no se necesita más que una superficie de 1cm<sup>2</sup>. **Ver**

***Figura 2.5***





**Figura 2.5** PULIDO MANUAL CON PAPELES DE GRANULOMETRÍA #400 Y 600

### **2.3.3 Pulido electroquímico**

El electropulido (o pulido electroquímico, o pulido electrolítico) funciona básicamente debido a que, al disolverse el metal bajo la circulación de corriente, se forma una capa viscosa de productos de la disolución, la cual se va difundiendo lentamente en el baño electrolítico.

Tiene por objeto, mediante la disolución anódica del material en el baño, la eliminación completa de las rayas y la zona distorsionada por la preparación previa.

Se sabe que el material de las tuberías del Horno son: **ASTM A-312**, (Standard Specification for Seamless and Welded Austenitic Stainless Steel Pipes". Norma ASTM para tubería "Pipe de **acero inoxidable austenítico**, con y sin costura, para usos generales de corrosión y alta temperatura).

Una vez conocido este dato, se consulta las tablas respectivas para saber el Electrolito y variables Tiempo, y Voltaje a utilizar para el electropulido con tampón.

En la siguiente tabla se tienen los valores para este tipo de Acero Inoxidable:

**TABLA 2.1**  
**ELECTROLITOS Y VOLTAJE PARA PULIDO ELECTROLÍTICO DE ACERO**  
**INOXIDABLE A - 312**

<b>Electrolitos</b>	<b>Materiales</b>	<b>Tensión (Volt)</b>
10 ml de ácido perclórico 90 ml Butil cellosolve	- Aceros al C e inoxidables	30 - 35

El pulido electroquímico para obtener réplicas “in situ” se la realiza con la técnica denominada TAMPÓN. Se reemplaza la celda electrolítica por un menisco de reactivo ubicado entre la pieza a pulir (ánodo) y un cátodo (tampón).

El tampón está formado por una varilla metálica que termina en una cabeza cilíndrica semiesférica, en este caso como el material a pulir es **acero inoxidable**, la cabeza cilíndrica también tiene que ser de acero inoxidable.

La cabeza del tampón está cubierta por un material absorbente no conductor. La felpa está sujeta al tampón con unas ligas para su fácil cambio, ya que con el uso tiende a quemarse.

El material de esta felpa tiene que ser de carácter inerte, para que de esta manera no afecte la integridad de la estructura metalográfica.

La parte eléctrica es muy económica, como se había dicho anteriormente, esta técnica de preparación de superficies es realizada con materiales que se pueden conseguir fácilmente, como ocurrió con la amoladora y el taladro, la **Fuente de Corriente Continua** consiste en un transformador que es construido con materiales que fácilmente se pueden conseguir en un tienda de repuestos electrónicos. **Ver Figura 2.6**

A pesar de ser un Rectificador “común”, comparado con los que se pueden conseguir en el mercado, se puede decir con certeza que

tiene un mejor desempeño que los diseñados por grandes casas comerciales, ya que esos son Digitales, y por tal motivo cuando ocurra un leve corto en el sistema a la hora de realizar el pulido, alguno de sus componentes sufrirá serios daños.

Por el contrario, el Rectificador que en este trabajo se utiliza, al ser construido de manera “Análoga”, posee mayor resistencia a los cortos, y de paso, a los golpes y maltratos la hora del trabajo en campo.

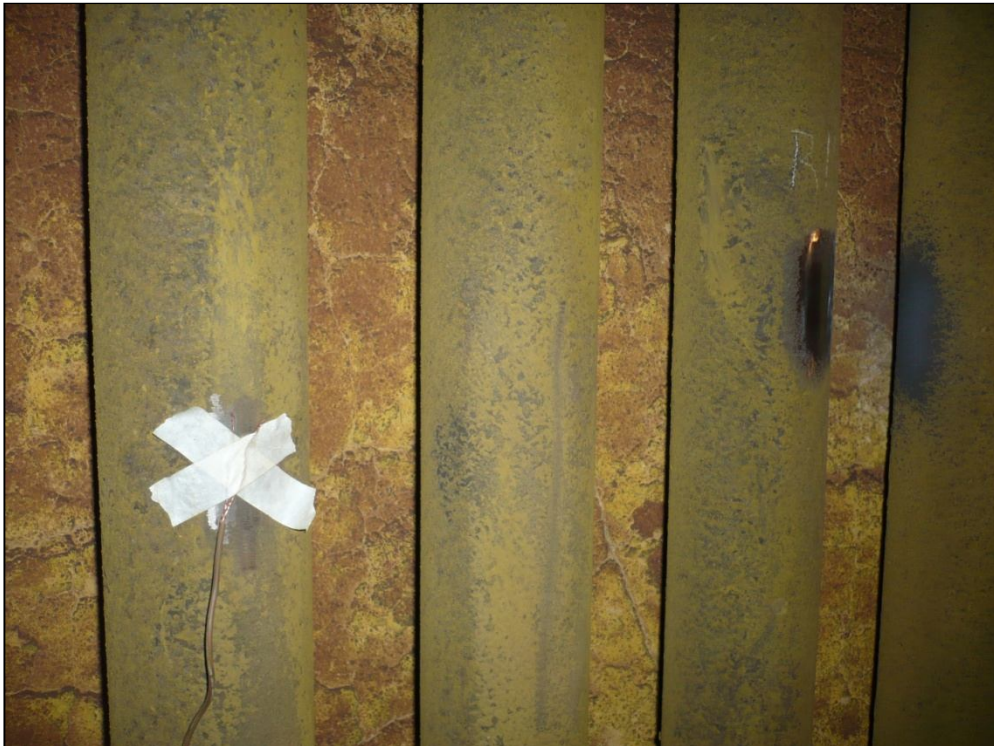


**Figura 2.6** RECTIFICADOR DE CORRIENTE DC - AC

El uso de este tipo de rectificador para el pulido es el siguiente:

El tampón es conectado al cátodo (-) (cable negro) de la fuente y la superficie a pulir al ánodo (+) (cable rojo).

La manera de conectar la superficie a pulir es simplemente con una cinta adhesiva en una superficie previamente desbastada con la amoladora (para hacer contacto). Se la muestra en el siguiente gráfico. **Figura 2.7**



**Figura 2.7** CONEXIÓN DEL ÁNODO (-) AL RECTIFICADOR

Una vez fijada la tensión de trabajo, se moja el tampón en el electrolito correspondiente al metal o aleación, en este caso Butilcellosolve, y se comienza la operación. **Ver Figura 2.8**



**Figura 2.8** INICIO DEL PULIDO ELECTROLÍTICO, SE MOJA EL TAMPÓN EN EL ELECTROLITO

El tampón se lo moja constantemente en el electrolito, cuando se haga contacto con la superficie, procurar no realizar excesiva fuerza, hay que realizar movimientos circulares con una presión relativamente baja a tal punto de que solo el electrolito haga contacto con la superficie a pulir. De no ser así, el paño se degradará fácilmente y provocará un corto circuito en el sistema y un mal proceso de pulido. **Ver Figura 2.9**



**Figura 2.9** MOVIMIENTOS CIRCULARES PARA EL PULIDO, CON UNA PRESIÓN RELATIVAMENTE BAJA PARA NO QUEMAR EL PAÑO

El pulido se lo realiza por aprox. 3 min hasta que se empiece a notar una superficie completamente liza tipo espejo.

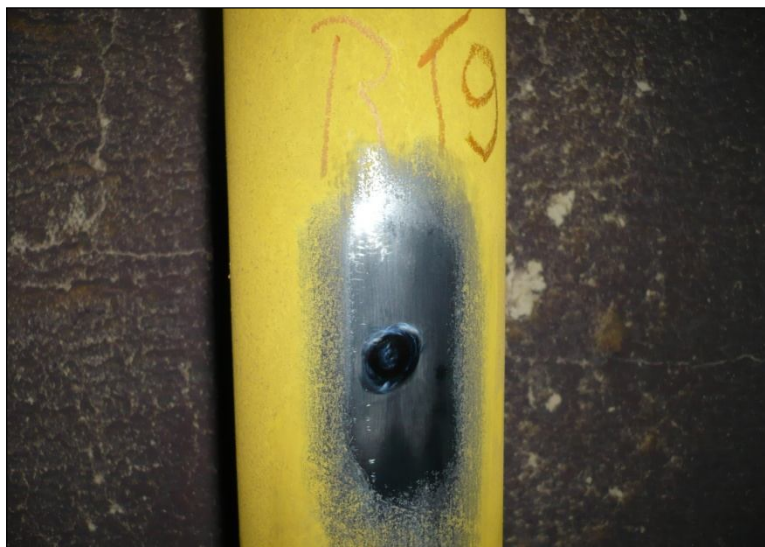
Una vez que se considere que el pulido está completo, proceder a mojar la superficie con Alcohol (para desinfectar) y luego con

Acetona (para evaporar y limpiar), se procede a soplar y la superficie queda lista.

Se muestran dos gráficos comparativos en donde se tienen dos superficies iguales, pero una de ellas ya tiene el pulido electrolítico realizado.







**Figura 2.10.** ARRIBA, SUPERFICIE SIN EL PULIDO ELECTROLÍTICO FINAL, ABAJO LA SUPERFICIE YA PULIDA. NÓTESE EL CIRCULO DE APROX. 1.5 CM DE DIÁMETRO CON UNA CALIDAD TIPO ESPEJO.

#### **2.3.4 Revelado micro estructural**

Utilizando como referencia la norma ASTM E-407 (Standard Practice for Microetching Metals and Alloys) en la cual se detallan los pasos a seguir para el micro ataque de metales y aleaciones, se utilizan según las fases que quiera observar diferentes reactivos de ataque.

En el caso de nuestro metal base, se tienen los siguientes parámetros de operación y reactivos:

**TABLA 2.2**  
**ELECTROLITOS Y VOLTAJE PARA REVELADO MICROESTRUCTURAL DE**  
**ACERO INOXIDABLE A - 312**

<b>Electrolitos</b>	<b>Materiales</b>	<b>Procedimiento</b>
10 g de ácido oxálico 100 ml de agua	Aceros al C e inoxidables	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Electrolito a 6 Volt</li> <li>- 1 minuto</li> <li>- Usar cátodo de acero inoxidable</li> </ul>

Como se puede observar, este tipo de Revelado Micro estructural **no es** por inmersión, si no, por medio de Ataque Electrolytico.

El procedimiento es similar al Pulido Electrolytico, con la diferencia de que se tienen diferentes reactivos y parámetros de operación con el rectificador.

Una vez que el Revelado esté completo, proceder a mojar la superficie con Alcohol (para desinfectar) y luego con Acetona (para evaporar), se procede a soplar y la superficie queda lista.

Se debe tener MUCHO CUIDADO de no pasarse con el tiempo de revelado especificado en la Norma, ya que de no ser así, se puede arruinar por completo la micro estructura del material.

## **2.4 Obtención de las micro estructuras**

Una vez que se tiene lista la superficie para su análisis, se procede a la obtención de su micro estructura. Para la presente tesis, se las obtendrá por dos medios:

- Replicas Metalográficas
- Microscopio Portátil

Como se puede observar, el método de preparación de la superficie es el mismo independiente de que medio se utilice para la obtención de la metalografía.

### **2.4.1 Microscopio Portátil**

Para la obtención de la micro estructura por medio del Microscopio Metalográfico Portátil, de la misma manera que con las Réplicas Metalográficas, la superficie tiene que estar correctamente pulida y atacada.

El procedimiento va a depender del tipo de Microscopio que se posea, y de la interfase para poder digitalizar las imágenes.

Para el proyecto, se utilizó un microscopio con las siguientes características:



**Figura 2.11 MICROSCOPIO METALGRÁFICO PORTÁTIL UTILIZADO EN EL PROYECTO**

**TABLA 2.3**

**CARACTERÍSTICAS MICROSCOPIO PORTÁTIL UTILIZADO EN EL PROYECTO**

<b>Marca</b>	Allring
<b>Modelo</b>	BS53
<b>Tipo</b>	Metalográfico
<b>Iluminación</b>	Eléctrica

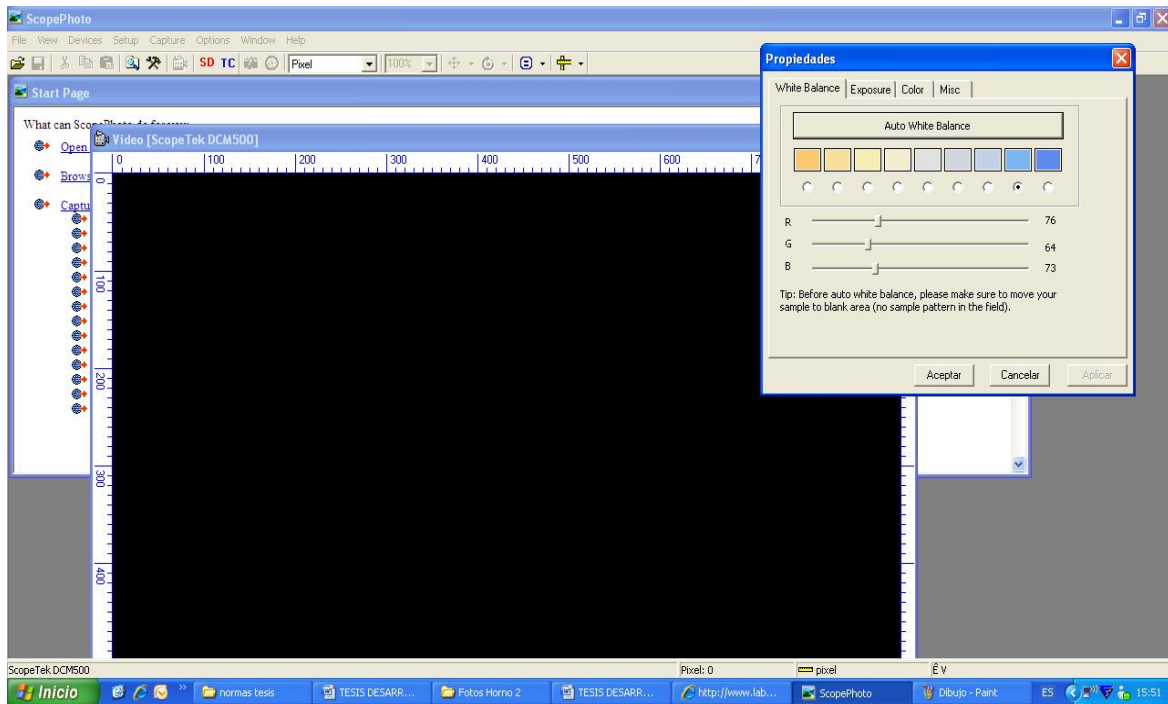
<b>Objetivos</b>	4, 10, 25, 40x
<b>Oculares</b>	10 x WF

Se utilizó también un Cámara Digital para Microscopio, modelo DCM 500 de 1.3 mega pixeles de fabricación china.



**Figura 2.12** CÁMARA DIGITAL PARA MICROSCOPIO

La cámara tiene una interface USB para su conexión con una computadora. Viene además un CD con información de su uso además del programa para la digitalización de las imágenes y su posterior variación en color, tamaño, matiz, etc.



**Figura 2.13** VISTA DEL PROGRAMA PARA LA DIGITALIZACIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS

Se utilizó también un computador portátil de 14 in. Vale decir que se puede utilizar cualquier tipo de computador portátil, el programa no es para nada pesado así que no requiere de mayor capacidad de la máquina.

El procedimiento para la obtención y digitalización de la microestructura por medio de este método es sencillo, y se lo detalla a continuación:

Preparar el Microscopio con el Objetivo deseado, preparar la Cámara Digital y conectarla al Computador.

Para el caso de los componentes utilizados en este Proyecto, se necesitan de dos personas para poder digitaliza las imágenes de forma correcta: una que maneje el Microscopio y otra que se encargue del manejo del computador. En nuestro caso, por la dificultad del área a trabajar, se necesitó de más personas para cuestiones de iluminación, etc. **Ver Figura 2.14**

La persona que maneja el Microscopio, debe observar el monitor del computador hasta enfocar correctamente la micro estructura.

**Ver Figura 2.15**

La persona que maneja el computador debe estar atenta para tomar la fotografía en el instante preciso, ya que la magnitud de la magnificación hace que el mínimo movimiento distorsione la imagen. En este caso, el botón para tomar la fotografía se debe aplastar desde el computador. **Ver Figura 2.16**



**Figura 2.14** TRABAJO EN EQUIPO PARA LA DIGITALIZACIÓN DE LAS IMÁGENES POR MEDIO DEL MICROSCOPIO PORTÁTIL.





**Figura 2.15** MANEJO DEL MICROSCOPIO HASTA OBTENER UN ENFOQUE PRECISO PARA LA DIGITALIZACIÓN DE LA MICRO ESTRUCTURA.



**Figura 2.16** DIGITALIZACIÓN DE LA IMAGEN

Los pasos antes descritos son los necesarios para la obtención de las Metalografías deseadas por medio del uso del Microscopio Portátil.

Solo se necesita llegar a casa u oficina e interpretar los resultados obtenidos.

#### **2.4.2 Réplicas Metalográficas**

Ahora que se tienen las superficies preparadas para su análisis metalográfico, se necesita de algún medio para obtener la microestructura que con mucho cuidado se la preparó, para este caso se utilizaron las Réplicas Metalográficas, los mismos que fueron explicadas en el Capítulo 1.

Fueron usadas las Réplicas de Acetato de Celulosa sin soporte de 50  $\mu\text{m}$  de espesor. Este tipo de material tiene un valor relativamente bajo en el mercado (comparado con los distribuidos por Struers por ejemplo), se pueden conseguir hojas enteras, lo único que hay que hacer es cortar el acetato en pedazos para poder transportarlo y usarlo al momento de utilizarlo como réplica.

El procedimiento que se siguió es el siguiente:

Colocarse firmemente frente a la superficie a replicar, sujetar en una mano la Hoja de Acetato y en la otra a pipeta con Acetona.

Se humedece la superficie con solvente (Acetona) para luego, con ayuda de la tensión superficial, adherir la Hoja de Acetato a la superficie. Se debe tener cuidado de no humedecer demasiado la superficie, de esta manera se evita formar burbujas de aire dentro de la Réplica. **Ver Figura 2.17**

Esperar 5 minutos y proceder al retiro de la misma. **Ver Figura 2.18**

No olvidar clasificar la Réplica con la superficie replicada para que luego no se den confusiones a la hora de emitir un informe. Guardarlas cuidadosamente para su transporte y posterior análisis en el laboratorio. **Ver Figura 2.19**



**Figura 2.17.** SE COLOCA UNA CAPA DE DISOLVENTE (ACETONA) A LA SUPERFICIE PARA LUEGO ADHERIR LA HOJA DE ACETATO POR TENSIÓN SUPERFICIAL



**Figura 2.18** SE EXTRAE LA RÉPLICA DE LA SUPERFICIE LUEGO DE 5 MIN DE ESPERA. SE LO REALIZA CON LA MANO



**Figura 2.19** SE CLASIFICA LA RÉPLICA PARA SU TRANSPORTE Y POSTERIOR ANÁLISIS EN LABORATORIO

Ahora que se han obtenido todas las Réplicas del Horno, se procede al análisis de las mismas en el laboratorio.

Para su observación en el microscopio, es necesario realizar el llamado Sublimado en Vacío a cada réplica.