**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

**“**Estudio De Factibilidad En Técnicas No Destructivas Para Realizar  
Metalografía En Campo De Componentes Estructurales:  
Réplicas Metalográficas Y Microscopio Portátil”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:  
William Vidal Salazar Rodríguez  
GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2010

A G R A D E C I M I E N T O

Agradezco a Dios por cada día, a mis padres, mi familia, amistades y al Ing. Julián Peña, por su apoyo incondicional en la realización de esta Tesis.

D E D I C A T O R I A

A mi madre, por ella soy lo que soy, a mi padre, siempre preocupado por mi bienestar. Para los dos, este gran momento de mi vida y un pequeño paso para mis propósitos…… Los amo

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Francisco Andrade S. Ing. Julián Peña E. DECANO DE LA FIMCP DIRECTOR DE TESIS

Ing. Omar Serrano V. VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

William Vidal Salazar Rodríguez

**RESUMEN**

El presente trabajo trata sobre el Estudio de Factibilidad acerca de dos técnicas

para obtener la metalografía de un componente en campo, análisis que difiere

en gran manera del que se realiza en un laboratorio.

Se aprovechó el análisis de un componente estructural, un Horno Catalítico,

para llevar a cabo el estudio de dos técnicas para obtener una metalografía en

campo, tales como son: Las Réplicas Metalográficas y el uso del Microscopio

Portátil.

En el primer capítulo, se mencionan las consideraciones generales, junto con

los aspectos teóricos en lo que a Metalografía No destructiva se refiere. Se

explica sobre las Réplicas Metalográficas y la Microscopía en campo.

En el segundo capítulo, se detalla el Plan de Trabajo que se utiliza para la

inspección de un componente mediante las técnicas no destructivas en cuestión.

Se trata sobre la experiencia que se adquirió al inspeccionar un componente

estructural en campo, las dificultades que se presentaron dependiendo de su

configuración, y las áreas a analizar, momento en el cual se crea el dilema

sobre que técnica no destructiva es más conveniente utilizar.

II

En el tercer capítulo, se analiza la factibilidad de cada método, luego de

ponerlos a prueba en el análisis de un componente estructural. Se detallan las

ventajas y desventajas de cada uno.

En el cuarto capitulo se dan las conclusiones y recomendaciones con respecto a

la utilización de cada método.

III

**ÍNDICE GENERAL**

Pág.

RESUMEN……………………………………………………………………… I

ÍNDICE GENERAL………………………………………………………………III

ÍNDICE DE TABLAS…………………………………………………………….XII

ÍNDICE DE FIGURAS…………………………………………………………..VIII

INTRODUCCIÓN………………………………………………………………. 1

CAPÍTULO 1

**1.** LA METALOGRAFÍA DE CAMPO COMO METODOLOGÍA EN PROGRAMAS

DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA…………………………………….3

1.1 La Metalografía de Campo………………………………………………4

1.2 Replicas Metalográficas…………………………………………………8

1.2.1 Tipos de réplicas…………………………………………………. 8

1.2.2 Tipos de materiales utilizados para réplicas…………………... 9

1.2.3 Técnicas de preparación de replicas………………………….. 14

1.2.4 Análisis Micro estructural……………………………………….. 24

1.2.5 Alcance de la técnica……………………………………………. 40

IV

1.3 Microscopía de Campo………………………………………………… 47

1.3.1 Microscopio metalográfico………………………………………. 48

1.3.2 Microscopio metalográfico portátil……………………………….51

1.4 Metodología para la Obtención de Metalografía de

Componentes Estructurales………………………………………….. 54

1.4.1 Inspección visual…………………………………………...…….55

1.4.2 Desbaste…………………………………………………………. 56

1.4.3 Técnicas de pulido……………………………………………….59

1.4.4 Revelado de la micro estructura……………………………… 70

CAPÍTULO 2

**2.** PLAN DE TRABAJO PARA INSPECCIÓN DE DOS COMPONENTES

MEDIANTE TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS……………………………75

2.1 Plan de Inspección.- Metodología…………………………………….75

2.2 Inspección visual en un Horno Catalítico……………………………. 78

2.3 Preparación de las superficies………………………………………. 79

2.3.1 Desbastado……………………………………………………. 80

2.3.2 Pulido mecánico………………………………………………. 81

2.3.3 Pulido electroquímico…………………………………………. 85

2.3.4 Revelado micro estructural…………………………………… 95

V

2.4 Obtención de las micro estructuras…………………………………….97

2.4.1 Microscopio portátil…………………………………………….. 97

2.4.2 Réplicas Metalográficas……………………………………….. 106

CAPÍTULO 3

**3.** ANÁLISIS DE RESULTADOS………………………………………………111

3.1. Réplicas Metalográficas………………………………………………. 111

3.2. Microscopio Portátil…………………………………………………….119

CAPÍTULO 4

**4.** CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES……………………………. 130

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

VI

**ABREVIATURAS**

ASTM American Society for Testing and Materials

CD Compact Disc

CNEA Centro Nacional de Energía Atómica

cm 2 Centímetro cuadrado

Cr Cromo

HP High Power

LP Low Power

min Minuto

mm Milímetro

Mo Molibdeno

mts Metros

PC Personal Computer

SEM Scanning Electron Microscope

USB Universal Serial Bus

ZAT Zona Afectada Térmicamente

**SIMBOLOGÍA**

Ǻ Angstrom (10-10 metros)

°C Grado Centígrado

δ Ferrita Delta

σ Fase sigma

µm Micrómetro (10-6 metros)

**ÍNDICE DE FIGURAS**

.

Pág.

Figura 1.1 Instalaciones en montaje – control inicial……………………. 5

Figura 1.2 Proceso de laminación en caliente……………………………. 6

Figura 1.3 Réplicas de goma, se mezcan dos componentes

y se obtiene una pasta.......................................................... 10

Figura 1.4 Réplicas de ranuras realizadas en el interior de un tubo….. 11

Figura 1.5 Equipo para réplicas fabricado por Struers,

incluye el solvente y el kit con 50 replicas………………….. 12

Figura 1.6 Hojas de acetato de 50 µm…………………………………….. 13

Figura 1.7 Esquema de un proceso típico de replicación

de dos etapas…………………………………………………….21

Figura 1.8 Esquema de replicación carburo-fisura…………................... 22

Figura 1.9 Esquema de los Distintos Tipos de Fisuras que pueden

ser puestos en evidencia por una replica micro estructural

en un material de base hierro ……………………………….. 26

Figura 1.10 Distribución de la vida por Creep basada en la

Clasificación de Cavidades………………………………….. 29

Figura 1.11 Curva de progresión del daño por Creep……………………. 31

Figura 1.12 Clasificación del daño por creep a partir de la evolución de

la micro estructura………………………………………………. 33

Figura 1.13 Estado de degradación micro estructural A………………….. 34

Figura 1.14 Estado de degradación micro estructural B………………….. 35

Figura 1.15 Estado de degradación micro estructural C…………………. 35

Figura 1.16 Estado de degradación micro estructural D…………………. 36

Figura 1.17 Estado de degradación micro estructural E…………………. 37

Figura 1.18 Estado de degradación micro estructural F…….………........ 37

Figura 1.19 Esquema para la determinación del parámetro

Micro estructural A ligado al grado del daño, para

determinar la vida remanente del componente…………...... 39

Figura 1.20 Curva de creep, específica del material analizado,

para determinar la vida remanente del componente

(Método cuantitativo)…………………………………………… 39

Figura 1.21 Tubo de sobrecalentador fisurado, con corrosión

erosión en la pared exterior……………………………………. 42

Figura 1.22 Disminución de espesor en zona fisurada…………………… 43

Figura 1.23 A la izquierda la microestructura tomada en la zona

de fractura, nótese la globulización de la perlita.

A la derecha la micro estructura tomada a 180°,

no presenta degradación …..………………………………….. 43

Figura 1.24 Corte transversal de un microscopio metalográfico.

Camino de la luz……............................................................. 50

Figura 1.25 Ilustración del aspecto microscópico de los límites

de grano que aparecen como líneas oscuras. Reflexión

del haz de luz…………………………………………………… 50

Figura 1.26 Esquema de las Zonas Críticas de obtención

de Metalografías de un Componente en Campo…………… 55

Figura 1.27 Desbaste grueso con el uso de una amoladora

Portátil………………………………………………………........ 56

Figura 1.28 Representación de la superficie al comienzo del

pulido grueso………………………………………………… ….58

Figura 1.29 Pulido mecánico “in situ” con abrasivos y felpas con

pasta diamantada……………………………………………….. 60

Figura 1.30 Elementos utilizados para preparar superficies metálicas

con pulido mecánico……………………………………………. 61

Figura 1.31 Etapas que deben eliminarse en el pulido fino………………. 62

Figura 1.32 Esquema de nivelación de la superficie en el pulido

Electrolítico………………………………………………………. 64

Figura 1.33 Curva densidad de corriente / voltaje………………………… 65

Figura 1.34 Fuente de corriente continua para pulido electroquímico…. 68

Figura 2.1 Horno Catalítico a evaluar, primero a la izquierda…………. 77

Figura 2.2 Inspección visual interior Horno Catalítico………………….. 79

Figura 2.3 Desbaste grueso con la amoladora…………………………… 81

Figura 2.4 Taladro con el adaptador portapapeles (disco de goma)…... 83

Figura 2.5 Pulido manual con papeles de granulometría #400 y 600…. 85

Figura 2.6 Rectificador de corriente DC – AC……………………………. 89

Figura 2.7 Conexión del ánodo (-) al rectificador………………………… 90

Figura 2.8 Inicio del pulido electrolítico, se moja en tampón

en el electrolito………………………………………………….. 91

Figura 2.9 Movimientos circulares para el pulido, con una

presión relativamente baja para no quemar el paño………... 92

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. …………… 94

Figura 2.11 Microscopio Metalográfico Portátil utilizado en el

proyecto…………………………………………………………. 98

Figura 2.12 Cámara Digital para microscopio …………………………….. 99

Figura 2.13 Vista del programa para la digitalización de las

Fotografías……………………………………………………….100

Figura 2.14 Trabajo en equipo para la digitalización de las imágenes

por medio del Microscopio Portátil…………………………… 103

Figura 2.15 Manejo del microscopio hasta obtener un enfoque

preciso para la digitalización de la micro estructura ………. 104

Figura 2.16 Digitalización de la imagen……………………………………. 105

Figura 2.17 Se coloca una capa de disolvente (acetona) a la

superficie para luego adherir la Hoja de Acetato

por tensión superficial …………………………………………. 108

Figura 2.18 Se extrae la réplica de la superficie luego de 5 min

de espera. Se lo realiza con la mano ………………………… 109

Figura 2.19 Se clasifica la réplica para su transporte y posterior

análisis en laboratorio ………………………………….. ……... 110

Figura 3.1 Análisis punto 1 por medio de Réplicas……………………… 112

Figura 3.2 Análisis punto 4 por medio de Réplicas……………………… 113

Figura 3.3 Análisis punto 5 por medio de Réplicas……………………….114

Figura 3.4 Análisis punto 17 por medio de Réplicas…………………….. 115

Figura 3.5 Análisis punto 18 por medio de Réplicas……………………...116

Figura 3.6 Análisis punto 23 por medio de Réplicas….......................... 117

Figura 3.7 Análisis punto 34 por medio de Réplicas….......................... 118

Figura 3.8 Análisis punto 1 por medio de Microscopio Portátil…………. 120

Figura 3.9 Análisis punto 4 por medio de Microscopio Portátil…………. 121

Figura 9.10 Análisis punto 5 por medio de Microscopio Portátil…………. 122

Figura 3.11 Análisis punto 17 por medio de Microscopio Portátil……….. 123

Figura 3.12 Análisis punto 18 por medio de Microscopio Portátil……….. 124

Figura 3.13 Análisis punto 23 por medio de Microscopio Portátil……….. 125

Figura 3.14 Análisis punto 34 por medio de Microscopio Portátil……….. 126

XII

**ÍNDICE DE TABLAS**

Pág.

Tabla 1.1 Ventajas y desventajas de los diferentes materiales

Para Réplicas Metalográficas…………………………………….. 23

Tabla 1.2 Criterios aplicables a la degradación por cavidades…………… 30

Tabla 1.3 Electrolitos y voltaje para pulido con tampón…………………… 70

Tabla 2.1 Electrolitos y Voltaje para Pulido Electrolítico

del Acero Inoxidable A - 312……………………………………. 87

Tabla 2.2 Electrolitos y Voltaje para Revelado Micro estructural

del Acero Inoxidable A - 312……………………………………… 96

Tabla 2.3 Características Microscopio Metalográfico utilizado

en el proyecto………………………………………………………. 99

**INTRODUCCIÓN**

El mantenimiento y análisis de la vida remanente de todo componente estructural es de vital importancia para toda industria. Con ello se minimizan pérdidas económicas y en mayor importancia, pérdidas humanas.

En industrias donde trabajen componentes a altas temperaturas y presiones es importante su continua revisión mediante chequeos periódicos. Estos chequeos que son parte del mantenimiento preventivo, incluyen ensayos no destructivos, de cualquier tipo dependiendo de las exigencias de la estructura, pero muchas veces no es suficiente con realizar medición de espesores o tintas penetrantes por ejemplo, entonces es cuando hay que analizar la Micro estructura del material para ver como se está comportando a nivel micro estructural.

Es cuando se hace uso de la Metalografía, para realizar este tipo de análisis. Pero en ese momento surge el dilema sobre que técnica extractiva es mas conveniente utilizar. Nos referimos a Las Replicas Metalográficas y al uso del Microscopio Metalografico Portátil. El Análisis Micro estructural que se realice en un laboratorio va a diferir en gran manera del que se realice en campo, por ello se requiere de técnicas que permitan extraer estas micro estructuras de manera correcta y fácil.

El desarrollo de la presente Tesis, aportará en gran manera como una guía para futuros proyectos similares, gracias a la experiencia que se adquirió al analizar un componente estructural en campo. Se trata de un Horno Catalítico, el cual se aprovechó su parada de operación para su revisión. Se tomaron 41 puntos de análisis en toda la integridad del Horno, muchas veces en lugares de difícil acceso, ventilación e iluminación.

Es en ese momento, gracias a la experiencia, es que se puede decidir sobre uno u otro método para la extracción de las Micro estructuras, cada una con sus ventajas y desventajas. Se explicará el procedimiento de inspección con cada método, y quedará a criterio del lector, cual de ellos es el más factible para usar.

**BIBLIOGRAFIA**

1. Calvo F. A., Metalografía Práctica, 1972.

2. Combustion Engineering Inc, Remaining Life Estimation of Boiler Pressure Parts.

3. L. H. Van Vlack, Materiales para Ingeniería, 1973.

4. Metals Handbook, Volume 9, Metallography, 2004.

5. Montero Ricardo, Curso Réplicas Metalográficas.

6. Ovejero García José, Réplica sus Aplicaciones, Universidad Nacional de General San Martin (Argentina), Maestría en Ciencia y Tecnología de Materiales, 1998.

7. Sturla – Castellano, Metalografía Microscópica, 1951.