

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS Y PUESTA A PUNTO DE LA  
TÉCNICA DE RÉPLICA METALGRÁFICA EN ACEROS AL CARBONO E  
INOXIDABLES PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN LA PRÁCTICA DOCENTE

HERNÁN DARÍO SALAMANCA CASTRO  
FRANK ROMARIO ORTIZ MURILLO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES  
BUCARAMANGA

2019

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS Y PUESTA A PUNTO DE LA  
TÉCNICA DE RÉPLICA METALOGRAFICA EN ACEROS AL CARBONO E  
INOXIDABLES PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN LA PRÁCTICA DOCENTE

HERNÁN DARÍO SALAMANCA CASTRO  
FRANK ROMARIO ORTIZ MURILLO

Trabajo de Grado Para Optar el Título de Ingeniero Metalúrgico

DIRECTORA  
ANA MARÍA PÉREZ CEBALLOS  
Doctora en Ingeniería Metalúrgica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES  
BUCARAMANGA

2019

## AGRADECIMIENTOS

*El más sincero y especial agradecimiento a la profesora Ana María Pérez Ceballos, por confiar en nosotros y siempre animarnos a seguir adelante. Gracias por compartirnos su conocimiento y haber realizado siempre las cosas con pasión y entrega, disfrutando cada momento.*

*Al laboratorio de metalografía, dirigido por los técnicos Sergio Andrés González Calderón y Juan Domingo Carreño Anaya, por todo su valioso apoyo en el desarrollo de este proyecto, sin su colaboración no se habría podido desarrollar exitosamente.*

*Para finalizar, a Dios y nuestra familia, sin ellos no lograríamos nada, gracias por estar siempre presentes en cada paso que damos, a todos, muchas gracias.*

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	13
1. ANTECEDENTES .....	15
1.1 RÉPLICA METALOGRÁFICA .....	15
1.2 TIPOS DE TÉCNICAS DE PREPARACIÓN DE RÉPLICAS.....	16
1.2.1 Método de una Etapa.....	16
1.2.2 Método de dos Etapas.....	16
1.3 PREPARACIÓN METALOGRÁFICA DE LA SUPERFICIE .....	18
1.4 OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRÁFICA .....	19
2. OBJETIVOS.....	21
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
3. METODOLOGÍA .....	22
3.1 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS .....	22
3.1.1 Práctica metalografía convencional.....	22
3.1.2 Ensayo de réplica metalográfica.....	22
3.2 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS.....	24
3.3 OBTENCIÓN DE RÉPLICA METALOGRÁFICA.....	24
3.4 OBTENCIÓN DE LAS MICROGRAFÍAS .....	25
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	26
4.1 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS.....	26
4.2 OBTENCIÓN DE RÉPLICAS Y ANÁLISIS METALOGRÁFICO.....	27
4.3 ELABORACIÓN DE GUÍA .....	31

5. CONCLUSIONES .....	32
6. RECOMENDACIONES.....	33
BIBLIOGRAFIA.....	34

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Parámetros de obtención de réplica .....	27

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Aplicación de una réplica a una pieza de trabajo.....	16
Figura 2. Esquema de proceso de réplica por el método de dos etapas .....	18
Figura 3. Micrografía óptica acero al carbono ensayo de metalografía convencional .....	28
Figura 4. Micrografía óptica acero al carbono práctica de réplica metalográfica ...	29
Figura 5. Imágenes acero inoxidable ensayo de metalografía convencional.....	30
Figura 6. Micrografía óptica acero inoxidable práctica de réplica metalográfica.....	31

## **LISTA DE ANEXOS**

“Los anexos están adjuntos en el CD y puede visualizarlos en base de datos de la biblioteca UIS”

Anexo A. Guía: Procedimiento para réplica metalográfica, para el laboratorio de ensayos no destructivos.

## RESUMEN

**TÍTULO:** DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS Y PUESTA A PUNTO DE LA TÉCNICA DE RÉPLICA METALGRÁFICA EN ACEROS AL CARBONO E INOXIDABLES PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN LA PRÁCTICA DOCENTE\*

**AUTORES:** HERNÁN DARÍO SALAMANCA CASTRO, FRANK ROMARIO ORTIZ MURILLO, ANA MARÍA PÉREZ CEBALLOS\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Réplica metalográfica, desbaste, pulido.

### DESCRIPCIÓN:

El trabajo de grado presentado busca implementar una nueva técnica en la práctica docente del laboratorio de ensayos no destructivos, para aumentar los conocimientos de los estudiantes en este campo de la metalurgia. El desarrollo de la guía para la práctica de Réplica Metalográfica permitirá al personal (Técnicos – Docentes) llevar a cabo de manera satisfactoria el ensayo, de tal manera que se logre la correcta obtención de la réplica y su posterior análisis en el microscopio óptico. El conocimiento de esta técnica no destructiva le permitirá al estudiante expandir su campo de acción, debido a que ésta se utiliza muy a menudo en empresas donde sus componentes son extremadamente grandes y no es posible retirarlos del servicio para ser trasladados a un laboratorio metalográfico para ser examinados. La réplica metalográfica o metalografía in situ, permite detectar los cambios microestructurales de los componentes en servicio sin ser alterados físicamente. Para poder realizar la práctica, es necesario contar con un equipo portátil para el proceso de desbaste y pulido, además tener esmeriles por si es necesario eliminar óxidos que se encuentran presentes en la superficie del material a analizar. La práctica de réplica metalográfica se realiza de acuerdo con la norma ASTM E1351-01, *Standard practice for evaluation and production of metallographic replicas in the field*. Las muestras son preparadas metalográficamente según la norma ASTM E3-11, *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens* y el ataque químico debe ser realizado de acuerdo con la norma ASTM E407 *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*. Una vez preparada la superficie de la muestra, para la obtención de la réplica se pega la hoja de acetato de celulosa (réplica) en la superficie a analizar con el objetivo de copiar el relieve topográfico, por 5 minutos. Transcurrido este tiempo, se retira con ayuda de una cinta adhesiva y se coloca en un portaobjetos de vidrio, para luego analizar la microestructura del material usando el microscopio óptico. La evaluación de los parámetros experimentales más relevantes permitió realizar la guía para la práctica donde se presenta de manera sencilla cada paso para que cualquier estudiante, técnico o docente pueda llevar a cabo la implementación de esta técnica en el laboratorio de ensayos no destructivos y en su vida profesional.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Director: Ana María Pérez Ceballos. Doctora en Ingeniería

## ABSTRACT

**TITLE:** DETERMINATION OF THE PARAMETERS AND TUNING OF THE METALLOGRAPHIC REPLICATION TECHNIQUE IN CARBON AND STAINLESS STEELS FOR IMPLEMENTATION IN TEACHING PRACTICE\*

**AUTHORS:** HERNÁN DARIO SALAMANCA CASTRO, FRANK ROMARIO ORTIZ MURILLO, ANA MARÍA PÉREZ CEBALLOS\*\*

**KEYWORDS:** Metallographic replica, grinding, polishing.

### DESCRIPTION:

The degree work presented seeks to implement a new technique in the teaching practice of the laboratory of non-destructive testing, to increase the knowledge of students in this field of metallurgy. The development of the guide for the practice of Metallographic Replication will allow the staff (Technicians - Teachers) to carry out the test satisfactorily, in such a way that the correct obtaining of the replica and its subsequent analysis in the optical microscope is achieved. The knowledge of this non-destructive technique will allow the student to expand his field of action, because it is often used in companies where its components are extremely large and it is not possible to remove them from service to be transferred to a metallographic laboratory for examination. The metallographic replica or metallography in situ, allows to detect the microstructural changes of the components in service without being physically altered. In order to carry out the practice, it is necessary to have a portable equipment for the process of roughing and polishing, in addition to having grinders in case it is necessary to eliminate oxides that are present on the surface of the material to be analyzed. The metallographic replication practice is performed according to ASTM E1351-01, Standard practice for evaluation and production of metallographic replicas in the field. The samples are prepared metallographically according to ASTM E3-11, Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens and the chemical attack must be performed according to ASTM E407 Standard Practice for Microetching Metals and Alloys. Once the surface of the sample has been prepared, in order to obtain the replica, the cellulose acetate sheet (replica) is glued to the surface to be analyzed in order to copy the topographic relief for 5 minutes. After this time, it is removed with the help of an adhesive tape and placed on a glass slide, to then analyze the microstructure of the material using the optical microscope. The evaluation of the most relevant experimental parameters allowed to carry out the guide for the practice where each step is presented in a simple way so that any student, technician or teacher can carry out the implementation of this technique in the laboratory of non-destructive tests and in their professional life.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Faculty of Physical-Chemical Engineering. School of Metallurgical Engineering and Materials Science. Adviser: Ana María Pérez Ceballos. Doctora en Ingeniería

## INTRODUCCIÓN

La necesidad de evaluar componentes metálicos para conocer el deterioro microestructural y así determinar su vida útil, ha sido por mucho tiempo un tema de investigación. El método habitual para realizar estos estudios implica el corte de piezas grandes para examinarlas en el laboratorio. En ocasiones, el análisis microestructural se limita cuando se las piezas en estudio son muy grandes para su traslado al laboratorio (por ejemplo, rodillos de laminación usados en la industria del acero) o cuando la inspección debe hacerse durante el servicio, es decir, cuando el corte de muestras para análisis no es posible. Esta técnica se emplea ampliamente en la inspección de centrales nucleares, centrales eléctricas y recipientes a presión. La réplica metalográfica es la técnica apropiada para solventar el limitante que presenta el laboratorio metalográfico, ya que permite detectar los cambios microestructurales en componentes que se encuentran en servicio o que deben ser retornados a este y no pueden tener secciones destruidas o alteradas físicamente.

La Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, actualmente cuenta en su inventario físico con el equipo que permite realizar la técnica de réplica metalográfica, la cual hace parte de los ensayos no destructivos. A pesar de contar con el equipo y de haberlo usado en algunas actividades puntuales en servicios de extensión, no existen directrices de procedimiento para asegurar la eficiencia de la técnica, es decir, en la actualidad no se cuenta con un manual de uso que le permita al personal (Técnicos – Docentes) ejecutar de manera adecuada la técnica mencionada. Esto restringe en un alto margen su implementación en los respectivos laboratorios, lo cual representa la imposibilidad para que el estudiante conozca, ejecute e implemente de manera práctica una técnica altamente empleada en la industria para la inspección de equipos.

De esta manera, el presente trabajo tiene como propósito realizar la revisión bibliográfica requerida junto con los ensayos necesarios (limpieza, pulido, ataque, obtención de réplica y relación de consumibles) para definir las variables óptimas del procedimiento de tal forma que, estas puedan estandarizarse mediante una guía de procedimiento que permita la implementación de la técnica en el laboratorio de ensayos no destructivos.

# 1. ANTECEDENTES

## 1.1 RÉPLICA METALOGRÁFICA

La réplica metalográfica forma parte de los ensayos no destructivos, registra y conserva la topografía de una superficie preparada metalográficamente, para evaluar los cambios microestructurales en un componente durante su vida útil. Si se detectan a tiempo anomalías en la microestructura, el componente puede ser reemplazado para evitar daños catastróficos<sup>1</sup>. La topografía superficial se replica sobre una hoja de acetato de celulosa o una película plástica como un relieve negativo para analizar mediante microscopio óptico o mediante un microscopio electrónico de barrido (SEM) para un mayor análisis.<sup>2</sup>

El alcance de la técnica se limita solo a analizar la microestructura superficial y no la interna, debido a que las grietas profundas no se logran rellenar completamente con el material de réplica como se puede ver en figura 1.<sup>3</sup>

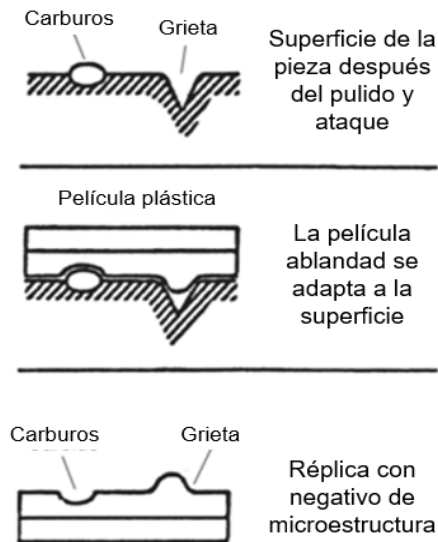
---

<sup>1</sup> B.L. Bramfitt and S.J. Lawrence, Field Metallography Techniques, Metallography and Microstructures, Vol 9, ASM Handbook, ASM International, 2004, p. 478–492

<sup>2</sup> IBID. & A. S. o. T. Materials, ASTM E 1351-01 Standar Practice for Production and Evaluation of Field Metallographic Replicas, 2002.

<sup>3</sup> IBID & Calvo F. A. Estudio de factibilidad en técnicas no destructivas para realizar metalografía en campo de componentes estructurales: Réplicas y Microscopio portátil. 1972.

Figura 1. Aplicación de una réplica a una pieza de trabajo



Fuente: Adaptada de Metals Handbook vol 9

## 1.2 TIPOS DE TÉCNICAS DE PREPARACIÓN DE RÉPLICAS

**1.2.1 Método de una Etapa.** El método de una etapa consiste en obtener réplicas directas de alta resolución. Los métodos de una etapa más importantes que hoy se conocen son réplicas de plástico, réplicas de carbono y material de réplica de óxido.<sup>4</sup>

Para este método, se deposita directamente en la superficie una solución plástica diluida, o carbón en forma perpendicular a la superficie a replicar para reproducir el relieve que se quiere evidenciar en la réplica. Al retirar este tipo de películas se dificulta el trabajo lo cual genera deterioro en la superficie<sup>5</sup>.

**1.2.2 Método de dos Etapas.** Este método es considerado como metalografía no destructiva, debido a que no implica el deterioro de la superficie estudiada dado que

<sup>4</sup> S. Jana, «Non-Destructive In-Situ Replication Metallography,» School of Mechanical and Production Engineering, Nanyang Technological University, Singapore, 1993.

<sup>5</sup> S. R.W., «La Metalografía de Campo Como Metodología en Programas de Inspección no Destructiva,» Ecuador, 2010.& S. Jana, «Non-Destructive In-Situ Replication Metallography,» School of Mechanical and Production Engineering, Nanyang Technological University, Singapore, 1993.

con el proceso de desbaste y pulido en la superficie del componente solo se eliminarán unas pequeñas micras. Este método es el más utilizado en la industria para evaluar la microestructura de los componentes en servicio para determinar su vida útil, debido a que es aplicable a todo tipo de metales<sup>6</sup>.

El procedimiento que se sigue es preparar la superficie metálica mediante las técnicas de desbaste, pulido y ataque, que son las mismas que se utilizan en un laboratorio metalográfico, ya que estas técnicas se consideran universales<sup>7</sup>.

El objetivo en esta práctica es replicar las rugosidades de la superficie metálica sobre una capa intermedia que puede ser una hoja de acetato con soporte de aluminio o una película plástica, la cual registra y conserva la topografía de una superficie preparada metalográficamente como un relieve negativo. La capa intermedia se adhiere a la superficie, mojando el área preparada con un disolvente adecuado, como acetona o acetato de metilo para facilitar el replicado. Luego de 5 minutos, se retira la capa intermedia con una pinza y se coloca en un vidrio portaobjeto para realizar el análisis<sup>8</sup>.

Los parámetros que se deben considerar para este proceso son similares a los que se consideran para la metalografía convencional, como lo son: la superficie se debe encontrar completamente preparada, eliminar restos de óxidos y contaminación que perjudiquen la correcta lectura de las micrografías. La superficie debe encontrarse debidamente atacada con los ácidos correspondientes para su revelado microestructural. Depositar las hojas de acetato sobre la superficie, es el paso crítico en este proceso, se debe garantizar que no se introduzcan burbujas de aire ni polvo

---

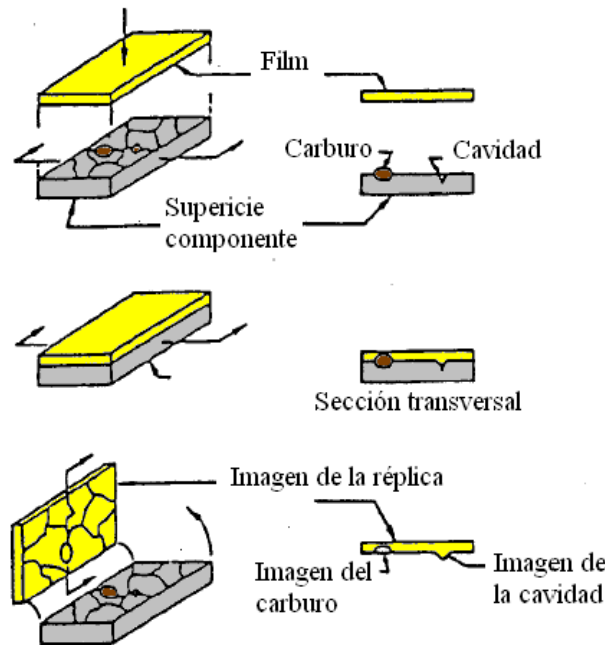
<sup>6</sup> B.L. Bramfitt and S.J. Lawrence, Field Metallography Techniques, Metallography and Microstructures, Vol 9, ASM Handbook, ASM International, 2004, p. 478–492 & S. R.W., «La Metalografía de Campo Como Metodología en Programas de Inspección no Destructiva,» Ecuador, 2010.

<sup>7</sup> B.L. Bramfitt Opcit.

<sup>8</sup> A. S. o. T. Materials, ASTM E 1351-01 Standar Practice for Production and Evaluation of Field Metallographic Replicas, 2002.& S. R.W., «La Metalografía de Campo Como Metodología en Programas de Inspección no Destructiva,» Ecuador, 2010.

atmosférico, esta contaminación puede ser un problema importante para el revelado de la microestructura. En la figura 2 se ilustra el método de réplica por dos etapas<sup>9</sup>.

Figura 2. Esquema de proceso de réplica por el método de dos etapas



Fuente: Tesis de grado, Estudio de factibilidad en técnicas no destructivas para realizar metalografía en campo de componentes estructurales, William Vidal Salazar Rodríguez

### 1.3 PREPARACIÓN METALGRÁFICA DE LA SUPERFICIE

La superficie debe ser preparada siguiendo los pasos contemplados en la Norma ASTM E3-11 *Standard guide for preparation of metallographic specimens*, modified for field use. Este procedimiento se realiza con el fin de obtener una superficie limpia sin rastros de deformaciones ocasionadas en su vida en servicio, lo cual impide ver características microestructurales reales. Es importante conocer los ensayos

<sup>9</sup> S. R.W., «La Metalografía de Campo Como Metodología en Programas de Inspección no Destructiva,» Ecuador, 2010. & S. Jana, «Non-Destructive In-Situ Replication Metallography,» School of Mechanical and Production Engineering, Nanyang Technologica University, Singapore, 1993.

previos a los cuales ha sido sometida la pieza a replicar metalográficamente. Si la pieza fue analizada por partículas magnéticas, la pieza debe ser desmagnetizada para poder iniciar con el proceso<sup>10</sup>. Para empezar con el proceso de preparación de la superficie, es conveniente conocer algunas características del material, por ejemplo, la dureza de este. Esto permitirá determinar el tipo de lija y paños a utilizar. Si el material a analizar presenta productos de corrosión se deben quitar mediante un proceso de esmerilado, estos productos de corrosión deberán ser guardados para un posterior análisis más a fondo ya que, en algunos casos, estos productos están asociados al daño del componente.

#### **1.4 OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRÁFICA**

La réplica se debe humedecer con un solvente adecuado como acetona o acetato de metilo. Para facilitar este paso, es recomendable utilizar un gotero o cuentagotas para agregar exactamente la cantidad suficiente de disolvente que garantice la correcta adherencia de las hojas de acetato a la superficie<sup>11</sup>. Una vez la película esté en contacto con la superficie, no se debe presionar, es importante esperar 30 segundos para que la película se ablande en el disolvente y así permitir que la acetona se evapore y la película se seque. Luego se debe hacer presión con una superficie rectangular por un minuto para que la película pueda tomar la forma exacta de la superficie grabada. Finalmente, se deja en reposo por cinco (5) minutos, después se retira de la superficie metálica la película con ayuda de unas pinzas y se pega con cuidado en un vidrio portaobjetos para luego almacenar para un análisis en el microscopio<sup>12</sup>.

---

<sup>10</sup> A. S. o. T. Materials, ASTM E 1351-01 Standar Practice for Production and Evaluation of Field Metallographic Replicas, 2002.

<sup>11</sup> B.L. Bramfitt and S.J. Lawrence, Field Metallography Techniques, Metallography and Microstructures, Vol 9,ASM Handbook, ASM International, 2004, p. 478–492

<sup>12</sup> B.L. Bramfitt and S.J. Opcit & A.R. Marder, Energy Research Center, Lehigh University. Replication microscopy techniques for NDE. ASM Handbook, Volume 17: Nondestructive Evaluation and Quality Control. ASM Handbook Committee, p 52-56. 1989.

Con esta técnica se pueden obtener imágenes de la misma calidad que en metalografía convencional. Esta técnica presenta una ventaja con respecto a la observación de la microestructura con un microscopio portátil, puesto que las partes curvas serán más fáciles de analizar ya que, la hoja de acetato se adhiere a la superficie, replica su microestructura y al colocarla en el portaobjetos no habrá dificultad para verla, mientras que un microscopio portátil será difícil más difícil de ver, pues no será cómodo para el metalógrafo encontrar la ubicación precisa para poder realizar un examen correcto<sup>13</sup>.

---

<sup>13</sup> B.L. Bramfitt and S.J. Lawrence, Field Metallography Techniques, Metallography and Microstructures, Vol 9, ASM Handbook, ASM International, 2004, p. 478–492

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una guía con fines académicos que permita la ejecución de la técnica réplica metalográfica de manera eficiente en un acero al carbono y un acero inoxidable.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los parámetros y variables de mayor relevancia de la técnica para la obtención de réplicas metalográficas.
- Obtener réplicas metalográficas de alta calidad en las que se puedan evidenciar las fases claramente.
- Comparar de manera técnica los resultados obtenidos de dos aceros mediante las respectivas pruebas tanto del ensayo metalográfico convencional como el ensayo de réplica metalográfica.
- Elaborar una guía con fines académicos para el desarrollo de la práctica en el laboratorio.

### 3. MÉTODOLOGÍA

El proyecto tiene como fin la puesta a punto de la técnica de réplica metalográfica, y comparar la calidad de las micrografías que se obtienen con la práctica de metalografía convencional que se realiza en el laboratorio metalográfico, mediante el estudio de un acero al carbono y un acero inoxidable. Por ende, la etapa de la preparación de muestras se divide para la práctica de metalografía convencional y el ensayo de réplica metalográfica, para determinar, en este último, los parámetros necesarios para implementar esta práctica en el laboratorio de ensayos no destructivos.

#### 3.1 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

**3.1.1 Práctica metalografía convencional.** Las muestras fueron preparadas metalográficamente según la norma ASTM E3-11, *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. El ataque químico se realizó de acuerdo con la norma ASTM E407 *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*. La muestra de acero al carbono fue sumergida en Nital al 2% por 5 segundos para revelar óptimamente su microestructura. La muestra de acero inoxidable fue atacada electrolíticamente, aplicando un voltaje de 2.5 V en una solución de ácido oxálico al 10% durante 1 minuto y medio.

**3.1.2 Ensayo de réplica metalográfica.** La superficie de las muestras a analizar, deben ser preparadas según la norma ASTM E3-11, *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*, modified for field use, de tal manera que se pueda obtener una superficie libre de deformaciones, rayones, defectos de pulido y otros defectos que pueden oscurecer las características microestructurales reales<sup>14</sup>.

---

<sup>14</sup> A. S. o. T. Materials, ASTM E 1351-01 Standar Practice for Production and Evaluation of Field Metallographic Replicas, 2002.

En réplica metalográfica se utilizan las mismas lijas que se utilizan en el laboratorio de metalografía, pueden ser recortadas para que coincidan con el diámetro del equipo<sup>15</sup>. Además, es necesario seguir los pasos estipulados en la norma ASTM E1351-01, *Standard practice for evaluation and production of metallographic replicas in the field*. El proceso de desbaste y pulido se realiza con ayuda del equipo *Electer Emax NE 129*, el cual, cuenta con un moto-tool al que se le conecta un cabezal donde se ponen las lijas y los paños para realizar los respectivos procedimientos. Si la muestra que se va a analizar presenta en su superficie productos de corrosión, es necesario conectar al moto-tool otro tipo de cabezales que contengan esmeriles, para que mediante un proceso de esmerilado, estos productos de corrosión sean removidos de la superficie y guardados para un análisis más a fondo, debido a que en algunos casos, son estos quienes generan el daño en los componentes.<sup>16</sup>

El ataque químico, al igual que en la metalografía convencional, debe ser realizado de acuerdo con la norma ASTM E407 *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*. Las muestras de acero al carbono y acero inoxidable fueron atacadas usando los mismos reactivos para el ataque en metalografía convencional, sin embargo, para réplica metalográfica es necesario sobreatacar la muestra para poder revelar la topografía de la superficie en la hoja de acetato y así, analizarla en un microscopio óptico. En el acero inoxidable, la superficie no aparece tan opaca, por tanto, es necesario revisar constantemente la evolución del sobreatacado, debido a que si se pasa de sobreataque se deforma el límite de grano. En la práctica se evidenció que es necesario un tiempo entre 12 y 13 minutos de exposición ante el ataque. Luego de ser sobreatacada la muestra, se debe lavar con alcohol y secarla, para realizar el paso de réplica<sup>17</sup>.

---

<sup>15</sup> B.L. Bramfitt and S.J. Lawrence, *Field Metallography Techniques, Metallography and Microstructures*, Vol 9, ASM Handbook, ASM International, 2004, p. 478–492

<sup>16</sup> John D. Wood, Lehigh University. *Field metallography Metals Handbook. Estimation of Mechanical and Physical Properties*. vol 17.1988

<sup>17</sup> Opcit. B.L. Bramfitt and S.J. Lawrence

### **3.2 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS**

Los parámetros para obtener una réplica de alta calidad y así evaluar los cambios microestructurales presentes en las piezas a analizar, se deben estudiar durante los ensayos practicados en el laboratorio. Cada aspecto importante que se evidencia queda registrado para poder brindar una tabla donde relacione los más importantes a tener en cuenta al momento de realizar el ensayo, como lo son: el ataque químico, cantidad de disolvente (acetona), tiempo y presión y retiro de réplica.

### **3.3 OBTENCIÓN DE RÉPLICA METALGRÁFICA**

Para comenzar con el proceso de replicado, es necesario contar con hojas de acetato de celulosa (réplica), una botella con solvente que puede ser acetona o acetato de metilo, un gotero o cuentagotas para agregar la cantidad de solvente apropiado que garantice la adherencia de la réplica a la superficie, una cinta adhesiva doble cara, pinzas y un portaobjetos de vidrio, donde se dispondrá finalmente la réplica para ser analizada en un microscopio óptico<sup>18</sup>.

En general, las muestras que se pueden analizar por medio de esta técnica deben tener como mínimo un área de réplica de 12 por 18 mm (0.5 por 0.75 in) la cual es satisfactoria para analizar<sup>19</sup>.

Para iniciar el proceso, la superficie metálica a analizar se debe mojar con acetona. Para esto, es útil utilizar un gotero o cuentagotas para agregar 6 gotas de acetona como máximo, debido a que está es la cantidad de acetona necesaria para que la réplica se adhiera correctamente a la superficie. Luego, la réplica se debe colocar en la superficie húmeda y dejarla fluir uniformemente sobre la superficie; es

---

<sup>18</sup> B.L. Bramfitt and S.J. Lawrence, Field Metallography Techniques, Metallography and Microstructures, Vol 9, ASM Handbook, ASM International, 2004, p. 478–492

<sup>19</sup> A. S. o. T. Materials, ASTM E 1351-01 Standar Practice for Production and Evaluation of Field Metallographic Replicas, 2002.

necesario esperar 30 segundos para que la película se ablande de forma natural en la superficie. Al terminar los 30 segundos, se tendrá que presionar con fuerza la réplica contra la superficie preparada con ayuda de un portaobjetos de vidrio para que la presión ejercida por el dedo sea uniforme en toda la réplica; esta presión se debe hacer por 1 minuto. Posterior a esto, el acetato debe tomar la forma exacta de la superficie grabada, para ello, se deja la película quieta por un tiempo suficiente en el que la acetona se evapora y la película se seca. El tiempo dependerá del espesor de la película y la temperatura, normalmente es de 5 a 10 minutos<sup>20</sup>.

Al pasar 5 minutos, es conveniente colocar una cinta adhesiva doble cara encima de la réplica para facilitar su retiro de la superficie. Este es el paso crítico donde se obtendrá el éxito de la práctica. Con ayuda de unas pinzas, se retira la cinta de la superficie y se coloca cuidadosamente en un portaobjetos de vidrio, este servirá para trasladar la réplica a un microscopio óptico para su análisis. Para poder analizar la muestra posteriormente, se debe almacenar el portaobjetos de vidrio correctamente, evitando el daño de la superficie de la réplica.

Es necesario hacer más de una réplica en el mismo lado debido a que la primera réplica puede recoger pequeñas partículas de polvo presentes en el aire o partículas que quedan después de los procesos de desbaste y pulido en la superficie del metal.<sup>21</sup>

### **3.4 OBTENCIÓN DE LAS MICROGRAFÍAS**

Las micrografías obtenidas por el ensayo de réplica metalográfica y la práctica de metalografía convencional fueron tomadas en un Microscopio Óptico marca *OLYMPUS GX71*.

---

<sup>20</sup> B.L. Bramfitt and S.J. Lawrence, Field Metallography Techniques, Metallography and Microstructures, Vol 9, ASM Handbook, ASM International, 2004, p. 478–492 & S. Jana, «Non-Destructive In-Situ Replication Metallography,» School of Mechanical and Production Engineering, Nanyang Technological University, Singapore, 1993.

<sup>21</sup> Ibíd B.L. Bramfitt and S.J. Lawrence.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados más relevantes obtenidos durante el desarrollo de este trabajo. Se hizo un análisis de las variables de la técnica para la obtención de los parámetros óptimos de ensayo y se compararon las micrografías obtenidas tanto por metalografía convencional como por réplica metalográfica.

### 4.1 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS

Para poder ejecutar la práctica de réplica metalográfica, se evidencia que inicialmente se deben tener en cuenta factores que determinan el proceso de obtención de la réplica. Es importante conocer las características del material que se va a evaluar, es decir, el metalógrafo debe tener en cuenta la dureza, la composición de la aleación y evaluar la condición de la superficie. Estos parámetros determinan el tipo de lija y paños a utilizar, debido a que la rugosidad del material y la presencia de óxidos e imperfecciones en la superficie determinan la manera de iniciar el proceso. La composición de la aleación determina el ataque a utilizar de acuerdo con la norma ASTM E407 *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*<sup>22</sup>.

La metalografía in situ presenta un problema importante al momento de obtener la réplica, debido a que la hoja de acetato de celulosa se puede ver contaminada por agentes internos al proceso como partículas que quedan depositadas en el material después del proceso de desbaste y pulido. Para ello, es necesario lavar la muestra cada vez que se termina un paso por lija o por paño. Además, agentes externos al proceso perjudican la correcta obtención de la réplica; como lo son ambientes polvorientos, la temperatura, el acceso al componente, el tamaño y la forma del

---

<sup>22</sup> B.L. Bramfitt and S.J. Lawrence, Field Metallography Techniques, Metallography and Microstructures, Vol 9, ASM Handbook, ASM International, 2004, p. 478–492

componente, así como el número de áreas a ser examinadas. Se encontró que el paso crítico en este proceso es cuando se requiere retirar la hoja de acetato de celulosa (réplica) de la superficie del metal a analizar. Si no se retira con las medidas necesarias, las cuales quedan estipuladas en el manual, se dañará la réplica y no será posible copiar la topografía superficial del material para realizar la respectiva evaluación. Para ello, los parámetros que se deben tener en cuenta son: el ataque químico, la adición de acetona, la presión aplicada a la réplica contra la superficie, el tiempo de espera para que la acetona se evapore de tal manera que permita que la réplica se adhiera a la superficie y copie las características microestructurales del material y el retiro de la réplica del componente para pegarlo en el portaobjetos de vidrio. En la tabla N°1 se relacionan los parámetros con el uso correcto de estos, para la obtención de la réplica.

Tabla 1. Parámetros de obtención de réplica

<b>PARÁMETROS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<i>ATAQUE QUÍMICO</i>	La muestra debe quedar sobreatacada para poder revelar la microestructura en la hoja de acetato de celulosa.
<i>ACETONA</i>	Con la ayuda del gotero, se deben agregar 5 o 6 gotas en la superficie del metal a analizar para asegurar que la hoja de acetato se ablande y se pegue de la superficie
<i>TIEMPO Y PRESIÓN</i>	Para mejorar la adherencia de la réplica en la superficie, se debe esperar 30 segundos después de aplicar la acetona y luego ejercer una presión con ayuda de un portaobjetos de vidrio y del dedo por 1 minuto y se deja quieta por 5 minutos para que termine su proceso de pegado y replicado.
<i>RETIRO DE RÉPLICA</i>	Es necesario usar una cinta adhesiva doble cara sobre la superficie de la réplica para retirarla con mayor facilidad. Con la ayuda de una barra de vidrio se puede eliminar las burbujas de aire para una mejor adherencia. La cinta también es útil para pegarla en el portaobjetos de vidrio.

#### **4.2 OBTENCIÓN DE RÉPLICAS Y ANÁLISIS METALOGRAFICO**

La calidad en las imágenes obtenidas en la práctica de réplica metalográfica y la metalografía convencional se evidencian a continuación. De esta manera, se realiza una comparación entre las imágenes obtenidas por cada técnica y se emiten algunos conceptos sobre la calidad y la confiabilidad en la imagen que resulta del

proceso de réplica metalográfica, evaluando su nitidez y capacidad para determinar las variaciones microestructurales de las muestras ensayadas.

Las imágenes fueron obtenidas de una probeta de acero al carbono con un tratamiento térmico y un acero inoxidable 316L. Las muestras fueron examinadas en el microscopio óptico *OLYMPUS GX71* tomadas a unos aumentos de 100X, 200X y 500X para el acero al carbono y para el acero inoxidable.

En las figuras 3 y 4 se encuentran las imágenes para la muestra de acero al carbono obtenidas por la técnica de metalografía convencional y réplica metalográfica respectivamente.

Figura 3. Micrografía óptica acero al carbono ensayo de metalografía convencional

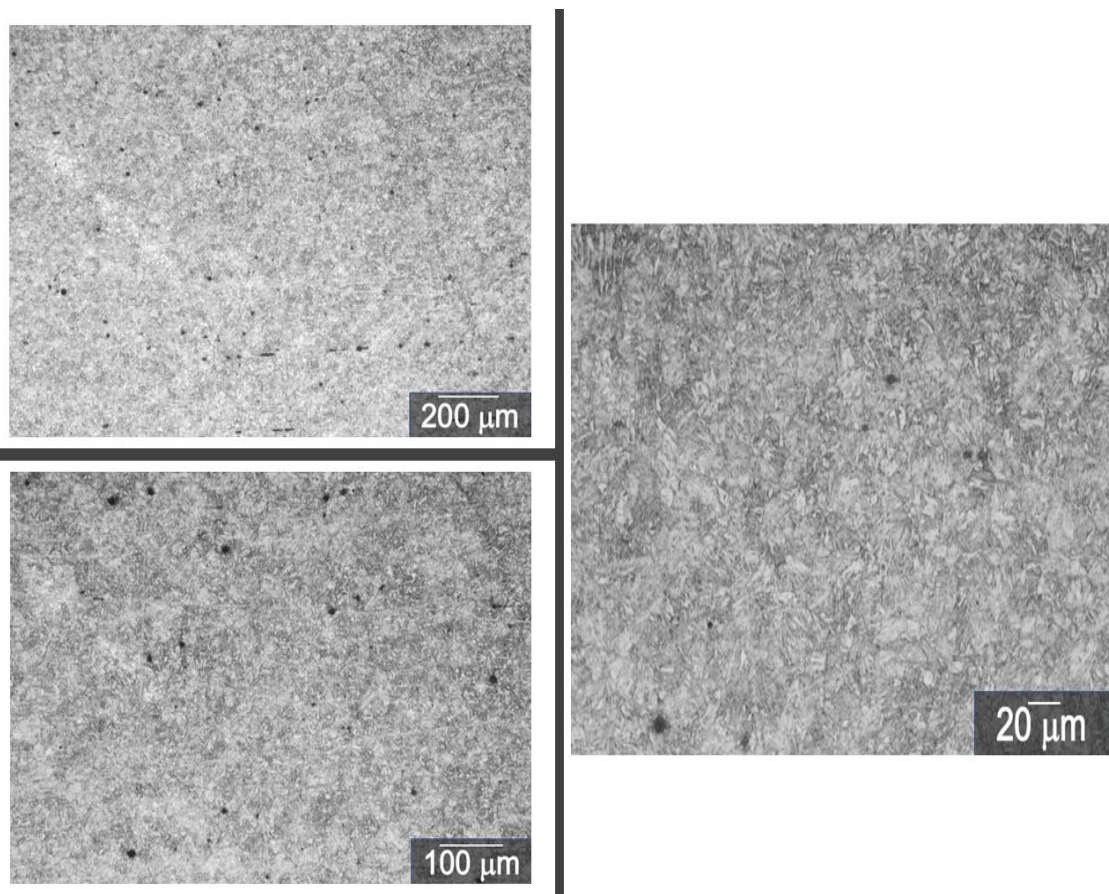
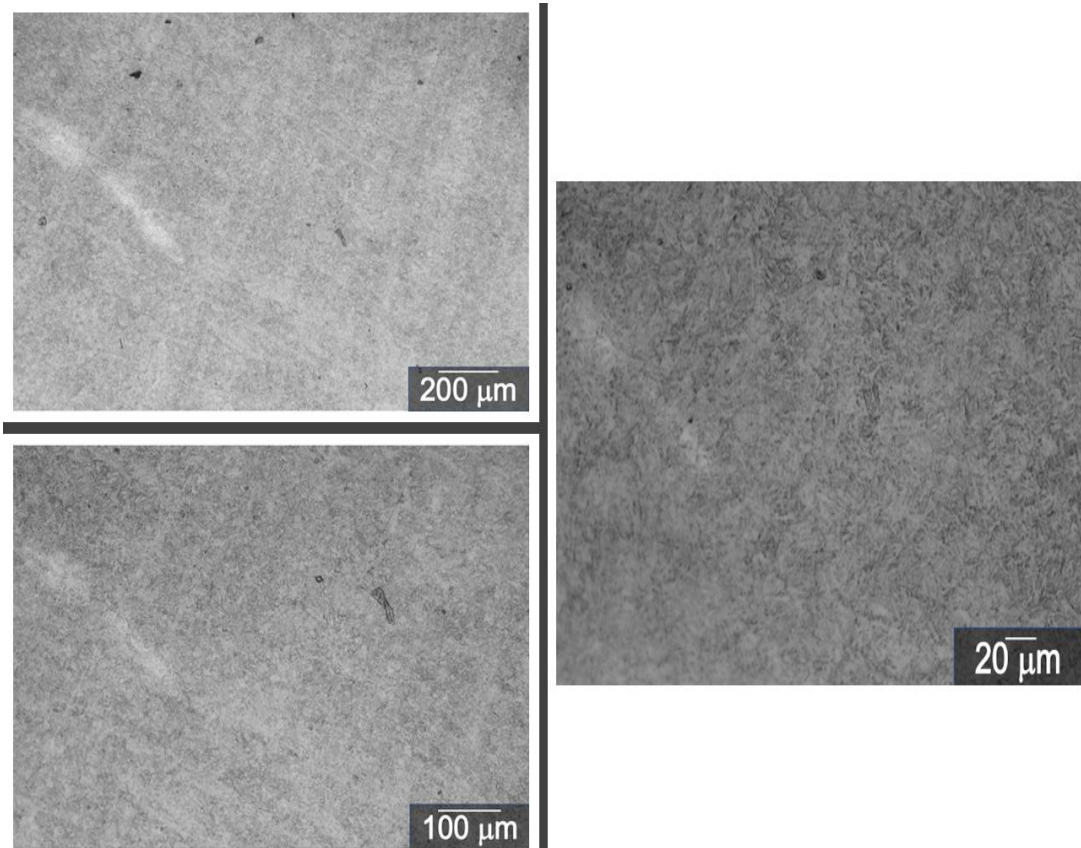


Figura 4. Micrografía óptica acero al carbono práctica de réplica metalográfica



En las imágenes obtenidas por cada técnica se evidencia una similitud entre las dos, siendo ambas prácticas confiables para emitir un concepto de calidad y determinación de sus características microestructurales. Se identifica una microestructura característica de un tratamiento térmico con presencia de martensita revenida, con zonas de geometría acicular por un posible revenido a bajas temperaturas, por lo cual se puede concluir que la pieza fue sometida a un tratamiento térmico de temple y revenido.

En las figuras 5 y 6 se encuentran las imágenes obtenidas por la técnica de metalografía convencional y réplica metalográfica respectivamente para la muestra de acero inoxidable 316L.

Figura 5. Imágenes acero inoxidable ensayo de metalografía convencional

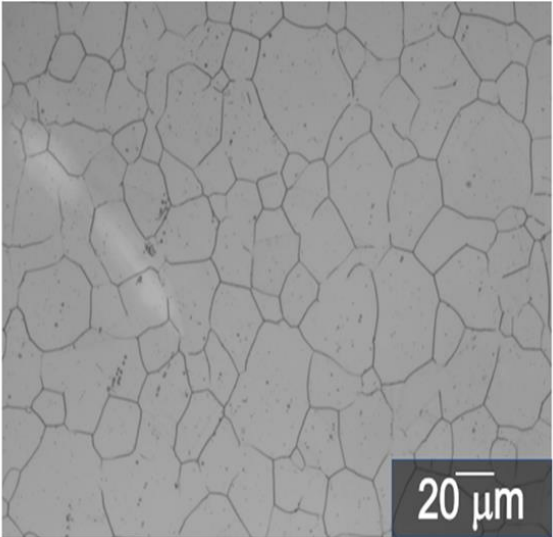
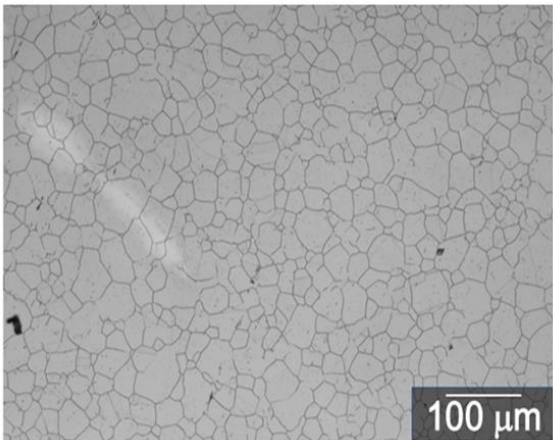
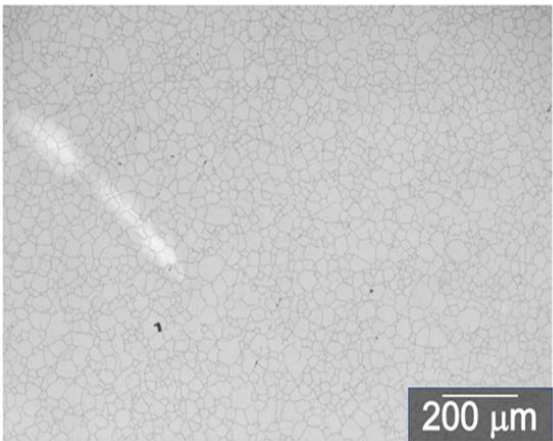
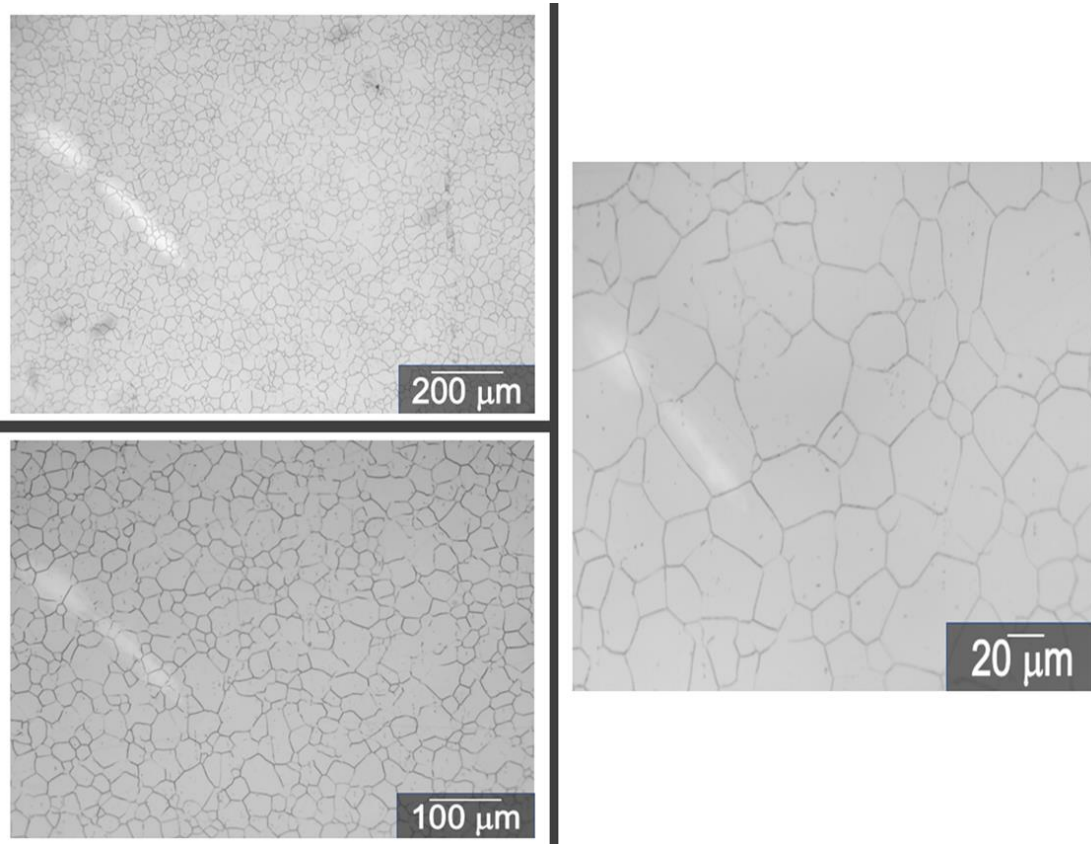


Figura 6. Micrografía óptica acero inoxidable práctica de réplica metalográfica



La calidad de las imágenes obtenidas refleja una similitud entre ambas técnicas, siendo al igual que en el anterior acero, confiables para determinar características microestructurales como por ejemplo el tamaño de grano. La metalografía in situ, es una técnica que brinda alta calidad en las imágenes obtenidas, suficientes para brindarle al ingeniero herramientas óptimas para emitir un concepto sobre la vida útil del material en componentes que se encuentran trabajando en servicio.

#### 4.3 ELABORACIÓN DE GUÍA

La guía de réplica metalográfica se anexa al documento, la cual permitirá al personal (Técnico-Docentes) implementar esta práctica en el laboratorio de ensayos no destructivos.

## 5. CONCLUSIONES

En la práctica se determinó que se debe tener en cuenta una serie de parámetros para poder obtener réplicas de alta calidad, los cuales son el ataque químico, el cual debe ser un sobre atacado en la superficie del metal a analizar; la cantidad de disolvente agregado (5 gotas), la presión ejercida sobre la réplica contra la superficie y el tiempo de esta misma; y por último la forma en cómo se debe retirar la réplica, la cual debe ser con ayuda de una cinta adhesiva doble cara y unas pizas para luego depositarla en un portaobjeto de vidrio para ser analizada microscópicamente.

La técnica de réplica metalográfica permite obtener imágenes microestructurales, que pueden soportar un análisis debido a su óptima calidad, puesto que estas comparten gran similitud con las imágenes obtenidas por metalografía convencional.

La metalografía in situ representa una gran ventaja en la industria, debido a que en algunas situaciones es imposible retirar la pieza para ser analizada, por tratarse de componentes extremadamente grandes; por tanto esta técnica permite examinar componentes que se encuentran en servicio sin ser alterados físicamente y no afectando su capacidad de servicio.

La elaboración de la guía ofrecerá una herramienta importante para el personal (Técnico-Docentes), para llevar a cabo la implementación de esta técnica en el laboratorio de ensayos no destructivos y a su vez en la vida profesional de los estudiantes.

## 6. RECOMENDACIONES

Para llevar a cabo la práctica de réplica metalográfica, es necesario contar con un kit para réplica metalográfica (hojas de acetato, acetona, portaobjetos de vidrio, cinta adhesiva doble cara y pinzas) y un equipo portátil para el proceso de desbaste y pulido; además conocer las características del material para determinar la manera de iniciar el proceso, es decir, si el desbaste se empieza con lija o esmeril si hay presencia de óxidos.

Para generar un mayor contraste en la imagen obtenida por la réplica metalográfica, la norma ASTM E 1351-01 recomienda aplicar tinta color negro al reverso de la réplica, pero es necesario dejar secar completamente la tinta antes de colocar la cinta adhesiva doble cara para que no se levante la tinta en el momento de retirar la réplica de la muestra.

Si el componente metálico a analizar presenta inclusiones de óxidos metálicos en la superficie, será necesario retirarlos con la ayuda de esmeriles y ser almacenados para un posterior análisis más a fondo; dado que pueden ser estos quienes estén causando la falla en el material y no un defecto en la microestructura.

En el proceso de retirar la réplica de la superficie metálica, antes de pegar la cinta adhesiva doble cara, se recomienda despegar levemente un extremo de la réplica, para así facilitar su desprendimiento de la superficie del componente para colocarla en el portaobjeto de vidrio y llevarla al microscopio óptico para ser analizada.

Se recomienda realizar más de un ensayo en la misma zona del material, debido a que en el primer intento pueden quedar residuos del proceso de desbaste y pulido que alteran la calidad de la imagen obtenida.

## BIBLIOGRAFIA

A. S. o. T. Materials, ASTM E 1351-01 Standar Practice for Production and Evaluation of Field Metallographic Replicas, 2002.

A.R. Marder, Energy Research Center, Lehigh University. Replication microscopy techniques for NDE. ASM Handbook, Volume 17: Nondestructive Evaluation and Quality Control. ASM Handbook Committee, p 52-56. 1989.

B.L. Bramfitt and S.J. Lawrence, Field Metallography Techniques, Metallography and Microstructures, Vol 9,ASM Handbook, ASM International, 2004, p. 478–492

Calvo F. A. Estudio de factibilidad en técnicas no destructivas para realizar metalografía en campo de componentes estructurales: Réplicas y Microscopio portátil. 1972.

Dr. E. Mogire. Field Metallography. Buehler® SumMet™ - The Sum Of Our Experience – A Guide to Materials Preparation & Analysis, 2007.

John D. Wood, Lehigh University. Field metallography Metals Handbook. Estimation of Mechanical and Physical Properties. vol 17.1988

S. Jana, «Non-Destructive In-Situ Replication Metallography,» *School of Mechanical and Production Engineering, Nanyang Technologica University, Singapore, 1993.*

S. R.W., «La Metalografía de Campo Como Metodología en Programas de Inspección no Destructiva,» Ecuador, 2010.