



*Asesorías y Tutorías para la Investigación Científica en la Educación Puig-Salabarría S.C.
José María Pino Suárez 400-2 esq a Lerdo de Tejada, Toluca, Estado de México. 7223898475*

RFC: ATI120618V12

Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.

<http://www.dilemascontemporaneoseducacionpoliticayvalores.com/>

Año: XI Número: 1. Artículo no.:100 Período: 1ro de septiembre al 31 de diciembre del 2023

TÍTULO: Análisis de imágenes metalográficas mediante el uso de OpenCV para la estimación del contenido de carbono en acero A36.

AUTORES:

1. Máster. Esteban Fernando López Espinel.
2. Máster. Giovanni Vinicio Pineda Silva.
3. Máster. Jorge Luis Cepeda Miranda.
4. Máster. Juan Diego Zurita Vargas.

RESUMEN: En el estudio se presenta un enfoque novedoso para determinar el contenido de carbono en el acero A36 mediante el análisis de imágenes metalográficas utilizando la biblioteca OpenCV. El método propuesto se basa en una metodología robusta y normalizada para la preparación de muestras metalográficas desarrollada por docentes de UNIANDES en colaboración con un laboratorio especializado. Los resultados obtenidos proporcionan información valiosa para el diseño y desarrollo de materiales en diversos campos de la ingeniería y la investigación científica.

PALABRAS CLAVES: imágenes metalográficas, carbono, acero A36, ingeniería, laboratorio.

TITLE: Analysis of metallographic images using OpenCV for the estimation of the carbon content in A36 steel.

AUTHORS:

1. Master. Esteban Fernando López Espinel.
2. Master. Giovanni Vinicio Pineda Silva.
3. Master. Jorge Luis Cepeda Miranda.
4. Master. Juan Diego Zurita Vargas.

ABSTRACT: A novel approach to determine the carbon content in A36 steel by analyzing metallographic images using the OpenCV library is presented in the study. The proposed method is based on a robust and standardized methodology for the preparation of metallographic samples developed by UNIANDES teachers in collaboration with a specialized laboratory. The results obtained provide valuable information for the design and development of materials in various fields of engineering and scientific research.

KEY WORDS: metallographic images, carbon, A36 steel, engineering, laboratory.

INTRODUCCIÓN.

El acero sigue siendo el material metálico más utilizado en el mundo; por lo tanto, la metalografía de los aceros es esencial para estudiantes universitarios, laboratorios de metalografía e ingenieros para campos relacionados con el procesamiento, propiedades y estructura del material (Colpaert, 2018).

En este trabajo se plantea una aplicación del tratamiento de imágenes metalográficas para determinar el contenido de carbono en el acero A36, utilizando OpenCV, para ser aplicado en la industria metalmeccánica, y de esta manera, aportar a la mejora continua de la calidad de los procesos y productos (Bostanabad et al, 2018; Xu et al., 2019; Bulgarevich et al., 2018).

En el Ecuador, el sector metalmeccánico tiene gran importancia, no sólo en lo referente a la fabricación de aceros, sino contribuye al desarrollo del país en los porcentajes de crecimiento para la economía.

En el caso de las carrocerías de automóvil, son utilizados perfiles de aceros al carbono, siendo estos un 90% de la producción de acero (Jiménez-Cercado & Navarrete-Pilacuan, 2018).

El análisis metalográfico es una técnica utilizada para estudiar la estructura de los materiales metálicos (Lange et al., 1994). En particular, el análisis de imágenes metalográficas es una herramienta útil para caracterizar la microestructura de los materiales y determinar sus propiedades mecánicas y físicas. En la industria del acero, el porcentaje de carbono es un factor crítico que influye en las propiedades mecánicas del material; por lo tanto, es de gran importancia una determinación precisa del porcentaje de carbono en aceros (Zhu et al., 2023).

Un análisis metalográfico realizado de forma tradicional utiliza microscopía óptica y otras técnicas manuales para determinar el porcentaje de las fases presentes en una muestra. En términos de competencia del personal requiere entrenamiento y conocimientos adicionales de ingeniería de materiales, sumado a una considerable cantidad de tiempo, recursos y esfuerzo. Es muy probable el apareamiento sistemático del error humano en la interpretación de las imágenes (Kerscher et al., 2022). Tanto la industria metalmecánica, la ingeniería y en centros de evaluación de conformidad, específicamente en laboratorios de ensayo ha sido de gran ayuda el avance tecnológico y la disponibilidad de herramientas informáticas que faciliten el análisis de imágenes metalográficas (Bulgarevich et al., 2018); en contraste, en la academia y centros de investigación, el uso emergente de métodos computacionales de biblioteca abierta permite facilidades a la hora de procesar imágenes y analizar patrones, para infinidad de aplicaciones.

En este trabajo, se propone un método alternativo al convencional, para determinar el porcentaje de carbono en acero A36, utilizando el análisis de imágenes metalográficas y la biblioteca OpenCV (Paulic et al., 2015). Se aporta en la generación de una sistemática robusta para obtención de especímenes metalográficos y un proceso de tratamiento de imágenes y determinación de resultados de contenido de una imagen metalográfica de acero A36 de manera eficiente y precisa.

DESARROLLO.

Materiales y métodos.

Se presenta una metodología experimental con un enfoque cuantitativo. La investigación se basa en la recopilación de datos empíricos, utilizando un diseño experimental para la obtención de muestras, y la medición y análisis de los datos mediante herramientas informáticas para el procesamiento de imágenes.

Los métodos utilizados para la determinación del porcentaje de carbono, aplicando el tratamiento de imágenes son los siguientes:

- a. Procedimiento robusto y normalizado para preparación de probetas.
- b. Ataque químico con Nital al 3%.
- c. Obtención de una fotografía metalográfica.
- d. Evaluación del porcentaje de carbono por métodos tradicionales.
- e. Evaluación del porcentaje de carbono con tratamiento óptico de imágenes y programación de algoritmo de análisis.
- f. Procedimiento robusto y normalizado para preparación de probetas.

El procedimiento de preparación de muestras se realizó en el laboratorio de análisis metalográfico del Centro de Fomento Metalmeccánico Carrocero. Se selecciona una probeta de acero al carbono, cuyas características se muestran en la tabla 1, correspondientes a un acero comercial A36 utilizado en la fabricación de carrocerías. La norma a utilizar para la fabricación de probetas es: ASTM E-3 estándar para la preparación de muestras metalográficas.



Figura 1. Laboratorio de Análisis Metalográfico. Fuente: <https://centrocarrocero.tungurahua.gob.ec>

Tabla 1. Características de la muestra de estudio.

Acero comercial A36	
Tipo de Acero:	Acero al carbono
Dimensiones:	50x50x2
Aplicaciones:	fabricación de carrocerías

Corte del espécimen.

Se procede con el corte de secciones en el espécimen metalográfico, utilizando una cortadora metalográfica para evitar afectar térmicamente la estructura. La muestra según la norma ASTM E-3 literal 5.1 debe ser manipulable, pero debido al pequeño tamaño, estas muestras deben encapsularse para pasar al paso 2. La representación de las secciones del perfil 50x50x2 se muestran en la figura 2.



Figura 2. Sección planar y transversal.

Encapsulado.

Los especímenes fueron montados en resina fenólica como se presenta en la figura 4, según el procedimiento encapsulado de la norma ASTM E3 literal 9.4; para ello, se trabaja con la ayuda de la prensa metalográfica REMET IPA 30, partiendo de las indicaciones generales y realizando ajustes en el procedimiento hasta estandarizar la obtención de los resultados deseados, quedando establecidos parámetros de trabajo para una reproducción, los cuales se muestran en la tabla 2 a continuación:

Tabla 2. Datos para Encapsuladora Remet IPA 30.

Parámetros	Datos
Cantidad de resina:	15 g
Temperatura ambiente:	16,24 °C
Presión de trabajo: Aplicaciones:	4 bar
Temperatura de calentamiento:	170 °C
Temperatura de enfriamiento:	60 °C
Tiempo de encapsulamiento:	8 min



Figura 3. Probetas encapsuladas en la Prensa IPA 30.

Desbaste grueso de probetas.

Se aplica un procedimiento de desbaste grueso a la superficie del espécimen con material abrasivo número 100, utilizando la desbastadora metalográfica, cumpliendo con la finalidad de aplanar la superficie y dejar la probeta lista para poder trabajarla en la máquina pulidora para acabados.

Proceso de desbaste fino.

Se empieza con el disco abrasivo número 200 por 15 min, y finalmente, se termina con el disco número 600 por un tiempo de 20 min. Luego se aplica un disco abrasivo número 1200.

La velocidad inicial de cada pulido fue la correspondiente a la posición 4 y en cuanto avanza el proceso de pulido, aumentamos la velocidad, seleccionando entre las posiciones 8 a 10 de la máquina de conformidad a la norma ASTM E-3 literal 10.2.1.

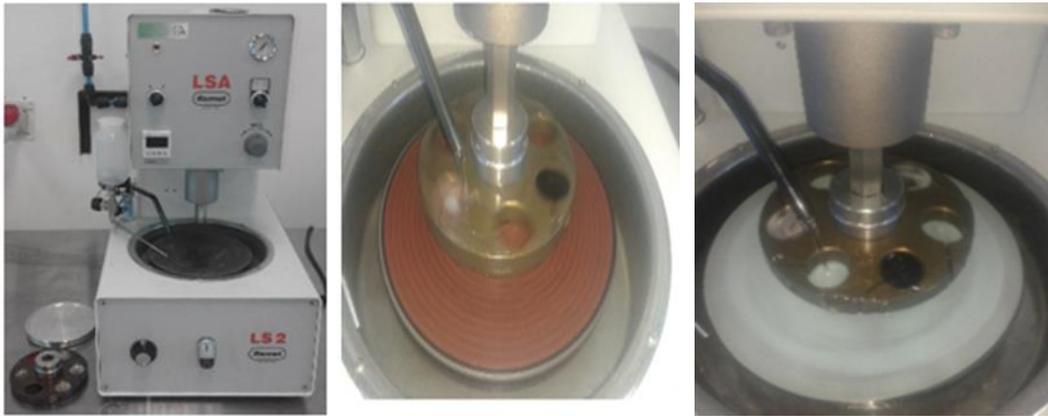


Figura 4. Proceso de esmerilado fino y acabado.

Se procede finalmente con el pulido fino según lo que establece norma ASTM E-3 literal 10.3.2 como se muestra en la figura 5, y para obtener la superficie especular se utiliza la pasta de diamante DiaMax Poly de 3 μm , regulando la perilla a Oil, lo que genera un flujo de goteo constante. El tiempo de pulido debe ser el necesario para que la superficie quede especular.

Ataque químico con Nital al 3%.

Una vez pulida la muestra, se procede al ataque químico. En este caso, se utilizó el reactivo Nital al 3% (3 ml de ácido nítrico + 97 ml de alcohol etílico) para revelar las microestructuras del acero al carbono. El tiempo de inmersión fue de 10 segundos (ASTM E-407).



Figura 5. Ataque químico.

Obtención de una fotografía metalográfica.

Luego del ataque químico, se procedió a observar la muestra metalográfica en el microscopio óptico de la marca Olympus, previo la obtención de la fotografía en formato TIFF. Se utiliza una ampliación de 100x para obtener una vista general de la microestructura que está compuesta de ferrita y perlita y luego una ampliación de 200x para observar los detalles más finos.

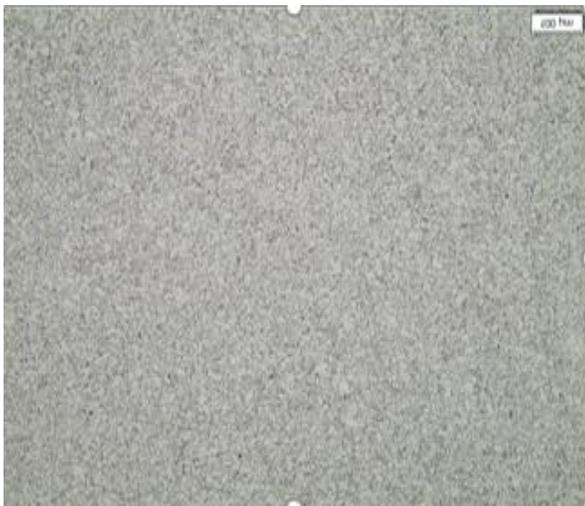


Figura 6. Magnificación 100x.



Figura 7. Magnificación 200x.



Figura 8. Magnificación 500x.

Evaluación del porcentaje de carbono por métodos tradicionales.

Aplicando métodos tradicionales manuales para detección de fases como es la segmentación, se utiliza el software ScopePhoto y se realiza una segmentación de imagen, de manera manual, que permite de acuerdo a la competencia del analista de metalografía, enrojecer los bordes e imágenes oscuras de interés, previo al cálculo de los porcentajes de ferrita y perlita; el procedimiento realizado se muestra en la figura 9, cuyo resultado de este filtro de imágenes manual se muestra en la figura 10.

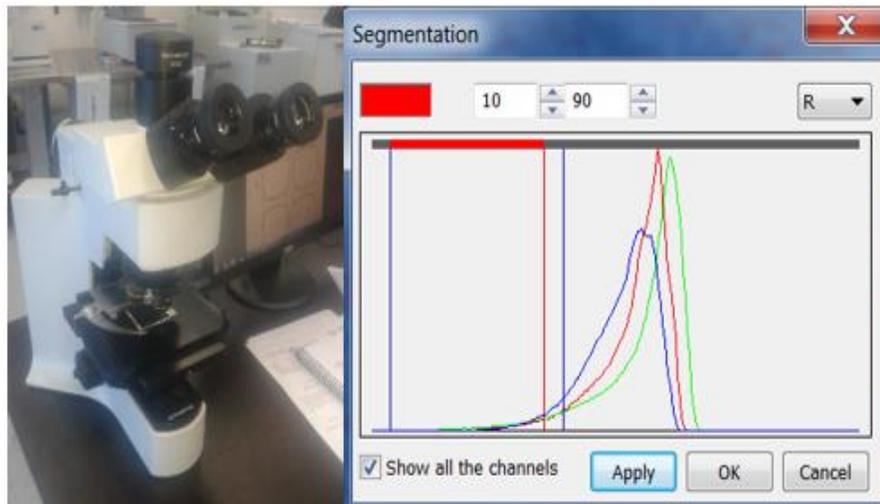


Figura 9. Aplicación de segmentación de imagen.

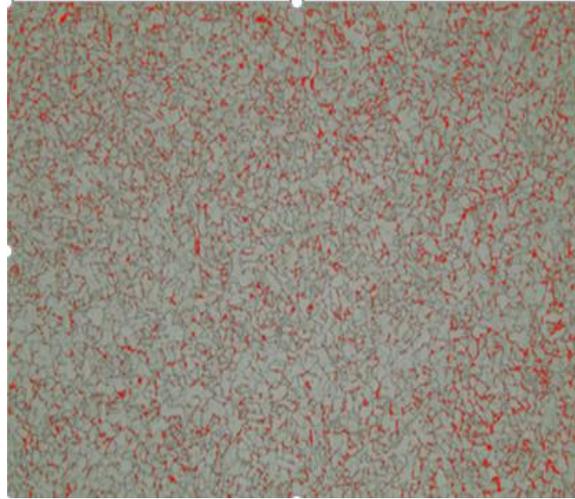


Figura 10. Magnificación 200x en rojo los oscuros.

Lo presentado permite al analista tener insumos para calcular los porcentajes de la imagen relativos al color rojo, que corresponderían al porcentaje de perlita en la muestra, siendo la totalidad de la imagen un valor de 255 píxeles que corresponde al 100% de la imagen; se procede a calcular el valor de porcentaje que correspondería a los 90 píxeles siendo este el $\%P=35.294\%$ correspondiente al porcentaje de perlita. Posteriormente, el analista aplica la fórmula de la ecuación 1, para determinar el porcentaje de carbono, cuyo resultado es $\%C=0.2875\%$.

$$\%P = [(\%C-0,008) / (0,8-0,008)] \times 100$$

Ecuación 1.

Método alternativo de tratamiento óptico de imágenes y programación de algoritmo de análisis.

Se implementa un método alternativo para las fases de adquisición, preprocesamiento, procesamiento de imágenes y algoritmo de conteo de píxeles para la obtención de los resultados que se presenta en la figura 11. El proceso utilizado se describe a continuación:

La imagen se preprocesa utilizando las herramientas proporcionadas por la biblioteca OpenCV y la estructura que proporciona QtCreator. En particular, se convirtió la imagen a escala de grises para reducir el ruido y se aplicó un filtro gaussiano para filtrar el ruido y suavizar la imagen. A continuación, se aplicó un filtro Laplaciano para resaltar los bordes de la imagen.

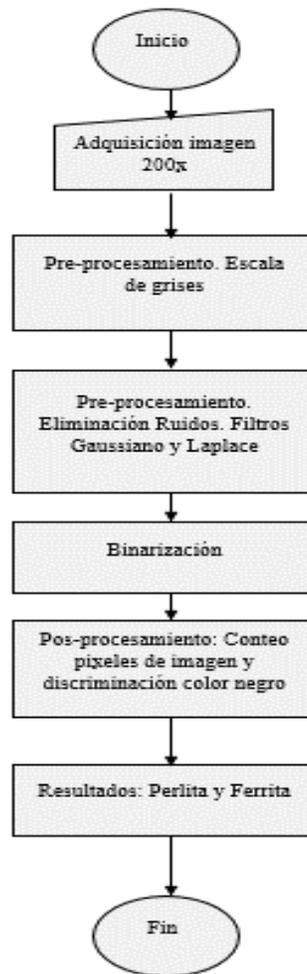


Figura 11. Diagrama de Flujo alternativa de análisis.

Una vez obtenida la imagen metalográfica, se procedió a su análisis mediante el uso de la librería de procesamiento de imágenes de OpenCV y el programa QtCreator, dentro del cual se desarrolla la programación para la obtención de resultados. El primer paso fue convertir la imagen en RGB a escala de grises, siendo un requisito para el procesamiento morfológico.

El siguiente paso fue la eliminación del ruido utilizando un filtro Gaussiano, que permitió suavizar la imagen y reducir el ruido generado durante el proceso de adquisición de la imagen. Posteriormente, se aplicó un filtro Laplaciano para resaltar los bordes de la imagen y mejorar la detección de las diferentes fases presentes en la muestra.

Para separar las fases de ferrita y perlita se utiliza el método de binarización de Otsu. Este método busca automáticamente un valor umbral que separa las dos clases de píxeles (ferrita y perlita), de tal manera, que la varianza intraclase sea mínima.

Una vez obtenida la imagen binaria, se procedió a contar los píxeles de cada fase para determinar el porcentaje de área de ferrita y perlita en la imagen. Finalmente, utilizando la relación de fases conocida, se determinó el porcentaje de carbono en el acero.

Resultados.

La aplicación de la transformación del espacio de color RGB a escala de grises se mostró en el resultado de la imagen de acuerdo con la figura 12. En la figura 13, se muestra la transformación secuencial de la imagen en grises suavizada y con menos ruidos aplicando el filtro Laplaciano.

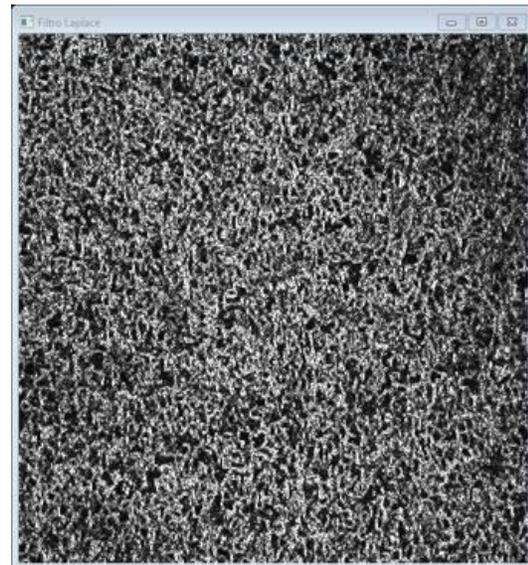
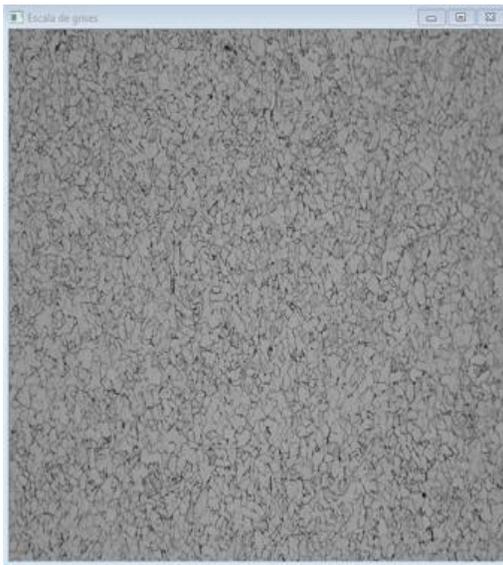


Fig.12. Transformación de espacio de color.

Fig.13. Filtrado de imagen convolución de Laplace.

La etapa de filtrado se ha determinado para la convolución y procesamiento morfológico en sus respectivas fases de erosión y dilatación de acuerdo a lo descrito en el programa principal. El resultado de lo descrito se aprecia en las figuras 14 y 15.

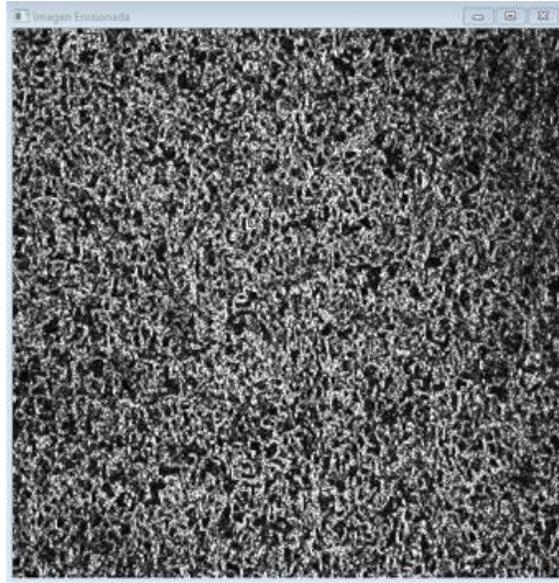


Figura 14. Filtrado de imagen morfológico por erosión.

La binarización mostrada en la figura 16, es el penúltimo proceso de postratamiento; paso para obtener los porcentajes de ferrita y perlita en el caso de los aceros al carbono obtenidos por captura de imagen, utilizando el microscopio. Esto se compara con los pixeles totales de la imagen y se muestra en porcentaje (figura 17), siendo el porcentaje de carbono por procesamiento digital igual a 0,25003%, el porcentaje de perlita 30.5590% y el restante es ferrita.

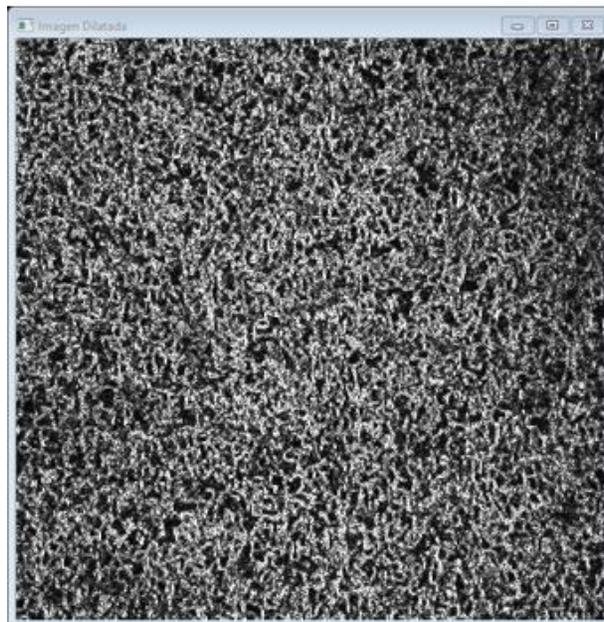


Figura 15. Filtrado de imagen morfológico por dilatación.

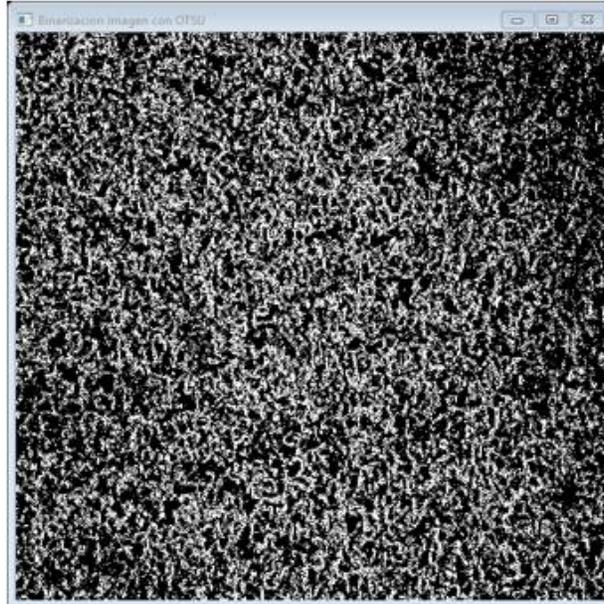


Figura 16. Segmentación de imagen por método Otsu para binarizar.

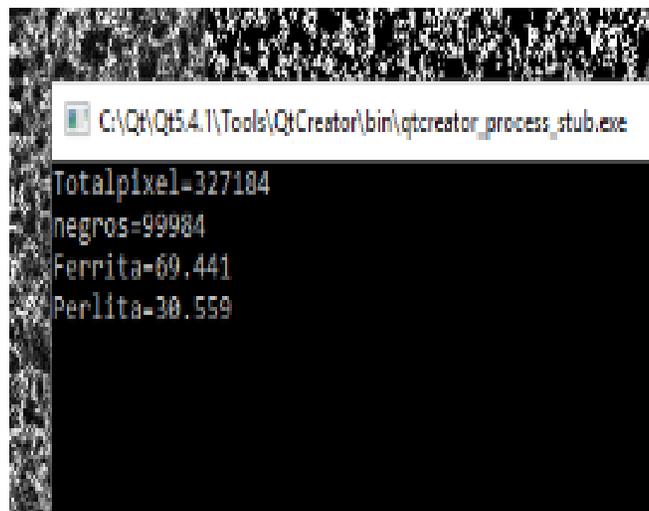


Figura 17. Conteo de pixeles.

Discusión.

La muestra metalográfica obtenida a través de un proceso de preparación estándar y robusto, garantiza la calidad y confianza de las observaciones del material y su adquisición digital a través del programa Stream basic 1.9 y el Microscopio Olympus.

El software Scope foto, empleado en el proceso convencional para la determinación del porcentaje de perlita, depende de la experiencia y la agudeza visual del técnico para apuntar a la correcta

segmentación de rojos dentro de la imagen. Esta práctica es común en el laboratorio, debido a que el software comercial no cuenta con solucionadores para postratamiento directo en este aspecto.

El proceso desarrollado determina porcentajes cercanos a los de un personal experimentado y su cálculo directo. El resultado obtenido del porcentaje de perlita mantiene una diferencia algo mayor del 13,31% en el porcentaje de perlita, por no depender de la experiencia del técnico y el método empleado. El carbono equivalente recalculado es $C=0.2499\%$ con una variación de 14,1%.

CONCLUSIONES.

Se utilizó una muestra de acero A36 pulida y atacada químicamente para revelar su microestructura. Se tomó una fotografía de alta calidad de la muestra en formato TIFF con una magnificación de 200x, utilizando un microscopio óptico con cámara digital integrada.

El test tipo presentado como referencia permitió evaluar y conocer todas las carencias del sistema de adquisición de datos que posee el laboratorio, siendo una fuente clara de partida para dar cumplimiento en la parte técnica del ensayo desarrollado.

Los métodos de análisis metalográfico requirieron una especial atención al procesamiento de imágenes para generar resultados confiables, que eviten el error humano a la hora de generar reportes de ensayo sobre el porcentaje de carbono.

Se registró imágenes de las microestructuras, aplicando distintos métodos de tratamiento digital de las mismas y se analizaron los resultados finales para obtener información sobre la composición y estructura del acero. En este caso, se observó diferentes fases como la ferrita y la perlita, y su distribución en la muestra de estudio de manera automatizada, las cuales son características del acero al carbono.

Basados en el método clásico, se determinó que el espécimen analizado de un perfil cuadrado de [50x50x2 mm] se trata probablemente de un acero ASTM A36, debido a que éste es un acero al carbono con un contenido de máximo de $\%C=0.29\%$.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Bostanabad, R., Zhang, Y., Li, X., Kearney, T., Brinson, L. C., Apley, D. W., ... & Chen, W. (2018). Computational microstructure characterization and reconstruction: Review of the state-of-the-art techniques. *Progress in Materials Science*, 95, 1-41.
2. Bulgarevich, D. S., Tsukamoto, S., Kasuya, T., Demura, M., & Watanabe, M. (2018). Pattern recognition with machine learning on optical microscopy images of typical metallurgical microstructures. *Scientific reports*, 8(1), 1-8.
3. Colpaert, H. (2018). *Metallography of steels: interpretation of structure and the effects of processing*. ASM International: Estados Unidos.
4. Jiménez-Cercado, M. E., & Navarrete-Pilacuan, M. A. (2018). Perfil Ecuatoriano de las empresas metalmeccánicas. *Dominio de las Ciencias*, 4(1), 585-602.
5. Kerscher, P. J. P., Schmith, J., Martins, E. A., de Figueiredo, R. M., & Keller, A. L. (2022). Steel type determination by spark test image processing with machine learning. *Measurement*, 187, 110361.
6. Lange, D. A., Jennings, H. M., & Shah, S. P. (1994). Image analysis techniques for characterization of pore structure of cement-based materials. *Cement and Concrete research*, 24(5), 841-853.
7. Paulic, M., Mocnik, D., Ficko, M., Balic, J., Irgolic, T., & Klančnik, S. (2015). Intelligent system for prediction of mechanical properties of material based on metallographic images. *Tehnički vjesnik*, 22(6), 1419-1424.
8. Xu, Z. W., Liu, X. M., & Zhang, K. (2019). Mechanical properties prediction for hot rolled alloy steel using convolutional neural network. *Ieee Access*, 7, 47068-47078.
9. Zhu, H., Shang, Y., Wan, Q., Cheng, F., Hu, H., & Wu, T. (2023). A Model Transfer Method among Spectrometers Based on Improved Deep Autoencoder for Concentration Determination of Heavy Metal Ions by UV-Vis Spectra. *Sensors*, 23(6), 3076.

DATOS DE LOS AUTORES.

- 1. Esteban Fernando López Espinel.** Magister en Automatización y Sistemas de Control. Docente de la Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Sede Ambato, Ecuador. E-mail: ua.estebanle84@uniandes.edu.ec
- 2. Giovanni Vinicio Pineda Silva.** Magister en Mecánica Mención en Diseño. Docente de la Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Sede Ambato, Ecuador. E-mail: ua.giovannypineda@uniandes.edu.ec
- 3. Jorge Luís Cepeda Miranda.** Maestro en Ingeniería Automotriz. Docente de la Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Sede Ambato, Ecuador. E-mail: ua.jorgecepeda@uniandes.edu.ec
- 4. Juan Diego Zurita Vargas.** Magister en Diseño Industrial y de Procesos. Docente de la Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Sede Ambato, Ecuador. E-mail: ua.juanzv40@uniandes.edu.ec

RECIBIDO: 4 de mayo del 2023.**APROBADO:** 1 de junio del 2023.