

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



PROCESAMIENTO DE IMAGEN DEL ESPECTRO DE DIFRACCIÓN DE  
ELECTRONES

POR

EDSON EDGARDO SAMANIEGO PANTOJA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

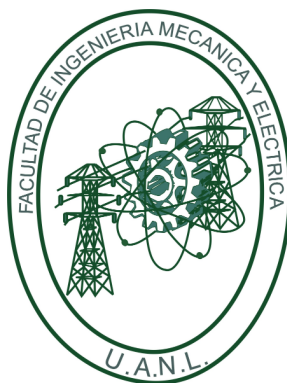
CON ORIENTACIÓN EN NANOTECNOLOGÍA

AGOSTO 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



PROCESAMIENTO DE IMAGEN DEL ESPECTRO DE DIFRACCIÓN  
DE ELECTRONES

POR

EDSON EDGARDO SAMANIEGO PANTOJA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CON ORIENTACIÓN EN NANOTECNOLOGÍA

AGOSTO 2022

# Universidad Autónoma de Nuevo León

## Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

### Subdirección de Estudios de Posgrado

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis “PROCESAMIENTO DE IMAGEN DEL ESPECTRO DE DIFRACCIÓN DE ELECTRONES”, realizada por el alumno Edson Edgardo Samaniego Pantoja, con número de matrícula 2081741, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias de la Ingeniería con Orientación en Nanotecnología.

El Comité de Tesis

---

Dr. Virgilio Ángel González González

Co-Asesor

---

Dra. Satu Elisa Schaeffer

Co-Asesora

---

M. C. Nombre Apellido1 Apellido2

Revisora

Vo. Bo.

---

Dr. Simón Martínez Martínez

Subdirector de Estudios de Posgrado

San Nicolás de los Garza, Nuevo León, agosto 2022

*escribir aquí la dedicatoria*

# RESUMEN

---

Edson Edgardo Samaniego Pantoja.

Candidato para obtener el grado de Maestría en Ciencias de la Ingeniería con Orientación en Nanotecnología.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: PROCESAMIENTO DE IMAGEN DEL ESPECTRO DE DIFRACCIÓN  
DE ELECTRONES.

Número de páginas: 10.

OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO:

Firma de los asesores:

RESULTADOS:

---

Dr. Virgilio Angel González González

Asesor

---

Dra. Satu Elisa Schaeffer

Co-asesora

# ABSTRACT

---

Fulano de Tal.

Candidate for obtaining the degree of Master in Engineering with Specialization in  
Systems Engineering.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Title of the study: INCREDIBLE STUDY.

Number of pages: 10.

OBJECTIVES AND METHODS:

Signature of supervisors:

RESULTS:

---

Dr. Virgilio Angel González González  
Asesor

---

Dra. Satu Elisa Schaeffer  
Co-asesora

# ÍNDICE GENERAL

---

<b>Resumen</b>	<b>v</b>
<b>Abstract</b>	<b>vi</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Hipótesis . . . . .	2
1.2. Objetivos . . . . .	4
1.2.1. Objetivos específicos . . . . .	4
1.3. Metodología . . . . .	5
1.4. Antecedentes . . . . .	5
1.5. Literatura . . . . .	5
1.6. Estructura de la tesis . . . . .	5
<b>2. Marco teórico</b>	<b>6</b>
<b>A. Información complementaria</b>	<b>8</b>

---

Bibliografía	8
B. Otro apéndice complementario	9



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

2.1. Figura de ejemplo. . . . .	7
---------------------------------	---

# ÍNDICE DE TABLAS

---

2.1. Generador en <a href="http://www.tablesgenerator.com/latex_tables">http://www.tablesgenerator.com/latex_tables</a> . .	7
---	---

## CAPÍTULO 1

# INTRODUCCIÓN

---

En el campo de la nanotecnología y ciencia en materiales es muy común y necesario realizar trabajos con el microscopio electrónico de transmisión y uno de sus modos es el de difracción el cual estudia la estructura cristalina de los sólidos haciéndolo uno de los métodos más importantes para la obtención de información cristalográfica acerca de los materiales, dicha información es una cantidad en espacio recíproco. La difracción de electrones consiste en un haz de electrones que atraviesa una muestra delgada del material a estudiar, los electrones tendrán interacción mediante fuerza eléctrica con los átomos de la muestra produciéndoles una dispersión. Los haces difractados son enfocados por un lente que finalmente forma un patrón de difracción resultante que puede ser observado en una pantalla fluorescente o en forma digital como lo muestra la figura ??.

Las imágenes de patrones de difracción son interpretadas de manera que se miden los haces difractados a el centro obteniendo un radio que es necesario para determinar a que plano cristalográfico pertenece y así determinar cada plano para poder formar la red cristalina del material.

Para eso Python resulta una herramienta de programación adecuada de manera

que facilita el análisis de imágenes en las que se pueden obtener datos importantes, rangos de intensidad, etc. Por eso es desarrollado un programa con cualidades como poder leer la imagen de difracción de electrones y primeramente ubicar de manera automática el centro donde impacta el haz de electrones ya que este es cubierto por una punta que tiene como objetivo cubrir que la muestra sea irradiada en exceso y no sea posible visualizar los puntos difractados, lo cual dificulta en la actualidad ubicar el centro del haz de manera manual.

Se facilita la manera en que se hacen las mediciones del centro del haz a cada punto difractado debido a que comúnmente al hacerlo manual existe un desfase del centro lo cual a esa escala nanométrica provoca una diferencia de la medida esperada, el software analiza mediante análisis de histogramas, niveles de intensidad y la transformada de Hough que tiene como objetivo el encontrar en instancias imperfectas de objetos, una clase de formas o figuras mediante un procedimiento, con esto resulta fácil detectar líneas, elipses y círculos

## 1.1 HIPÓTESIS

Se plantea que para todas las imágenes de difracción de electrones, el haz cuando impacta se irradia constantemente en forma de circunferencia todo esto hablando en términos de intensidad de luz, sabiendo esto se establece que esa circunferencia irradiada de luz será tomada de manera que se pueda obtener los bordes y así poder leer mediante la transformada de Hough una circunferencia con su centro exacto y estar más aproximado que en las técnicas comúnmente utilizadas.

Para la ubicación de los puntos difractados se necesita omitir el haz central debido que tiene una intensidad similar a la de los puntos, al leer los histogramas la intensidad mas alta sera la utilizada para identificar donde están situados, de la

misma manera que el núcleo del haz obteniendo los bordes de cada punto formaran círculos y elipses con el mismo método de Hough que es capaz de detectar y dar un centro en base a sus píxeles de borde.

En base al centro que es dado por la función de Hough se puede sacar la distancia euclidiana a cada píxel obtenido como borde para así determinar estadísticamente si es el centro exacto o de lo contrario dar un auto-ajuste.

- Que intensidad es mejor utilizar para detectar la circunferencia de núcleo, rangos oscuros o intensidades altas que indican más saturación de blanco.
- La librería de la transformada de Hough es más preciso que hacer el proceso sin necesidad de librería.
- Mediante el histograma será posible determinar que porcentaje de oscuridad no pertenece al haz de electrones.
- El procesamiento de la imagen se puede aplicar para cada imagen distinta analizada.

## 1.2 OBJETIVOS

Lo principal y más importante es la ubicación del centro principal del haz de electrones verificando estadísticamente que el centro coincide con las distancias euclidianas a los píxeles que fueron obtenidos como borde. De manera que se obtenga un programa capaz de ubicar con mayor precisión el núcleo.

De aquí parte todo el programa ya que en base a ese centro fijo se medirán las distancias hasta cada punto difractado (anteriormente analizado y obtenido su centro ya sea de circunferencia o elipse) para su posterior conversión a escala nanométrica.

### 1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Simular la transformada de Hough y comparar con la librería para evaluar la precisión de ambos métodos.
- Validar mediante los histogramas de las difracciones el porcentaje de oscuridad de píxeles para ser usando como rango para encontrar la circunferencia del haz.
- Obtener distancia euclidiana del centro dado por la transformada de Hough a los bordes que describen la circunferencia para validar estadísticamente si es la mejor opción de centro.
- Ubicar cada punto difractado de la misma manera que se encuentra el núcleo omitiendo la zona donde se encuentra este mismo (haz central).
- Seccionar la zona donde aparece la escala de la imagen y obtener sus bordes para detectar el rectángulo y saber cuantos píxeles de longitud abarca esa

medida.

- Medir la distancia entre el centro del haz núcleo y el centro de cada punto difractado y guardar en una lista
- Convertir la lista de medidas a la escala nanométrica con la longitud que se obtuvo de la escala de la imagen.

### 1.3 METODOLOGÍA

### 1.4 ANTECEDENTES

### 1.5 LITERATURA

### 1.6 ESTRUCTURA DE LA TESIS

## CAPÍTULO 2

# MARCO TEÓRICO

---

Todo se escribe en texto normal, salvo cuando se escriben *nuevos conceptos* (también pueden escribirse en **negritas**). Es importante elegir formatos de texto adecuados a variables matemáticas como  $x$  o computacionales como tipos de archivo CSV.

También se puede citar autores con [?] y su referencia bibliográfica mediante [?]. Además, puedes agregar conceptos secundarios en notas de pie<sup>1</sup>.

Así se ponen ecuaciones

$$J(c_j) = \sum_{x_i \in c_j} \|x_i - \mu_j\|^2. \quad (2.1)$$

De este modo se enumeran elementos

1. Elemento 1,
2. elemento 2,
3. elemento 3.

---

<sup>1</sup>Ejemplo de nota al pie.



Figura 2.1: Figura de ejemplo.

Y así se hacen listas desordenadas

- Elemento 1,
- elemento 2,
- elemento 3.

Si lo necesitas, puedes agregar algoritmos

```

para cada archivo en carpetas hacer
|   para cada página en archivo hacer
|   |   si página contiene 'fin' entonces
|   |   |   cerrar página;
|   |   fin
|   fin
|   exportar datos en CSV;
fin

```

**Algoritmo 1:** Algoritmos en <https://tex.stackexchange.com/a/146053>.

Por último, es posible incluir cuadros, como el que aparece en 2.1 (con todo y su página de aparición, o sea: 7), así como la imagen 2.1 (en la p. 7).

Cuadro 2.1: Generador en [http://www.tablesgenerator.com/latex\\_tables](http://www.tablesgenerator.com/latex_tables)

Columna 1	Columna 2	Columna 3
Dato 1	Dato 2	Dato 3
Dato 4	Dato 5	Dato 6

## APÉNDICE A

# INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

---

## APÉNDICE B

# OTRO APÉNDICE COMPLEMENTARIO

---

# RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

---

Edson Edgardo Samaniego Pantoja

Candidato para obtener el grado de  
Maestría en Ciencias de la Ingeniería  
con Orientación en Nanotecnología

Universidad Autónoma de Nuevo León  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

PROCESAMIENTO DE IMAGEN DEL ESPECTRO DE DIFRACCIÓN DE  
ELECTRONES

Nací el 22 de octubre de 1997 en la ciudad de Nuevo Laredo, Tamaulipas; mis padres son Enrique Samaniego y Gloria Pantoja. En 2019 egresé como Ingeniero en Mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo.