



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE ELECTRICIDAD

**PRUEBA AUTOMATIZADA DE IMPACTO (IK)
DE LUMINARIAS.**

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO.

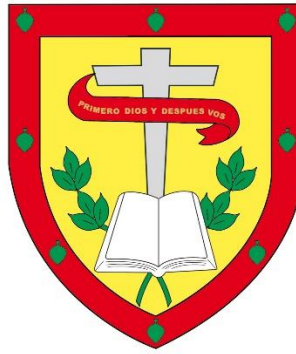
AUTOR: ELIAN MARCEL CUENCA ROMERO.

DIRECTOR: MGTR. OSCAR MAURICIO SIGUENCIA SIGUENZA.

CUENCA - ECUADOR

2025

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN.**

CARRERA DE ELECTRICIDAD

PRUEBA AUTOMATIZADA DE IMPACTO (IK) DE LUMINARIAS.

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO.**

AUTOR: ELIAN MARCEL CUENCA ROMERO.

DIRECTOR: MGTR. OSCAR MAURICIO SIGUENCIA SIGUENZA.

CUENCA - ECUADOR

2025

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Elian Marcel Cuenca Romero portador de la cédula de ciudadanía N.º 0706942778. Declaro ser el autor del trabajo de titulación: “Prueba automatizada de impacto (IK) de luminarias”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 24 de enero del 2025



F:

Elian Marcel Cuenca Romero

C.I. 0706942778

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Elian Marcel Cuenca Romero, bajo mi supervisión.



Ing. Oscar Siguenza Siguenza MSc.

DIRECTOR

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a todas las personas que han sido parte fundamental de mi vida académica y personal durante estos años de esfuerzo y aprendizaje.

A mis padres, su apoyo constante y por creer en mí en todo momento. Sus enseñanzas y valores han sido la base sobre la cual he construido mi carrera.

A mis amigos, por su compañerismo y por estar siempre a mi lado, brindándome ánimo y risas en los momentos más difíciles.

Especialmente, deseo dedicar esta tesis a mi tutor, Oscar Sigüenza. Su guía, paciencia, y sabiduría han sido cruciales para el desarrollo de este trabajo. Su dedicación y entusiasmo me han inspirado a seguir adelante y a esforzarme por alcanzar la excelencia. No solo ha sido un mentor académico, sino también un modelo a seguir en el ámbito profesional y personal.

Att: Elian Marcel Cuenca Romero.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento al Ingeniero Oscar Siguencia por brindarme la oportunidad de participar activamente en sus proyectos de investigación, por orientarme a lo largo de todas las fases de la tesis, lo que condujo al logro de los resultados previstos.

Por último, quiero expresar mi agradecimiento de manera especial a la Universidad Católica de Cuenca, así como a todos los que forman parte de esta institución, incluyendo autoridades, profesores y compañeros de clase. Juntos, hemos conseguido adquirir sabiduría, compartir vivencias y anécdotas a lo largo de este camino educativo.

Att: Elian Marcel Cuenca Romero.

RESUMEN

El diseño de un prototipo automatizado para pruebas de impacto en luminarias busca mejorar la precisión y eficiencia de estas pruebas, fundamentales para evaluar la resistencia y durabilidad de los productos de iluminación. La investigación responde a la necesidad de reemplazar las pruebas manuales por un sistema automatizado que reduzca el margen de error y optimice recursos. Este trabajo facilita la implementación de estándares internacionales en laboratorios de iluminación, mejorando así la calidad y seguridad de los productos. Además, permite detectar automáticamente grietas tras impacto mediante el uso de cámaras digitales, reduciendo costos y aumentando la fiabilidad de los resultados.

El objetivo general es diseñar y verificar un prototipo automatizado para pruebas IK en luminarias mediante un estudio experimental con utilizadas en laboratorios de pruebas. Se espera que los resultados confirmen su eficacia y proporcionen datos valiosos para futuras implementaciones.

El prototipo basado en la normativa IEC 62262 demostró su eficacia al integrar un sistema de análisis de imágenes en MATLAB, permitiendo identificar daños en tiempo real y garantizando coherencia con los estándares internacionales.

Palabras clave: pruebas IK, luminarias, prototipo automatizado, cámaras digitales, estándares internacionales.

ABSTRACT

The design of an automated prototype for impact testing of luminaires aims to improve the accuracy and efficiency of these tests, which are essential for assessing the resistance and durability of lighting products. The research addresses the need to replace manual testing with an automated system that reduces the margin of error and optimizes resources. This work facilitates the implementation of international standards in lighting laboratories, thus improving product quality and safety. In addition, it enables the automatic detection of cracks after impact through the use of digital cameras, reducing costs and increasing the reliability of the results.

The overall objective is to design and verify an automated prototype for IK testing of luminaires through an experimental study conducted in test laboratories. The results are expected to confirm its effectiveness and provide valuable data for future implementations.

The prototype, based on IEC 62262 standard, demonstrated its effectiveness by integrating an image analysis system in MATLAB, enabling real-time damage identification and ensuring consistency with international standards.

Keywords: IK testing, luminaires, automated prototype, digital cameras, international standards.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad	iii
CERTIFICACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	1
ÍNDICE DE FIGURAS	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
CAPITULO I.....	6
1.1 INTRODUCCION.....	6
1.2 Formulación del problema	7
1.3 Justificación.....	8
1.4 Objetivos.....	9
1.4.1 Objetivo general	9
1.4.2 Objetivos específicos	9
1.5 Alcance.....	10
CAPITULO II.....	11
2 Marco teórico.....	11
2.1 Luminaria	11
2.1.1 Partes de una Luminaria	11
2.2 Normativa y Estándares de las Pruebas de Impacto IK	15
2.2.1 Normativa IK.....	15
2.2.2 Norma IEC 62262	16
2.2.3 Sistema de clasificación IK	16
2.2.4 Relación con otras normas.	18
2.2.5 Importancia de la Normativa IK en la industria de la iluminación.....	19
2.2.6 Métodos Convencionales de Prueba de Impacto y sus Limitaciones	19
CAPITULO III.....	23
3. MARCO METODOLÓGICO.....	23

3.1	Planteamiento de la Investigación	23
3.2	Desarrollo del proyecto.....	23
3.3	Diseño metodológico	24
CAPITULO IV		30
4.	DISEÑO DEL PROTOTIPO PROPUESTO	30
4.1	Diseño del Sistema de Pruebas	30
4.1.1	Componentes Mecánicos	30
4.1.2	Componentes electrónicos	33
4.1.3	Ensamblaje en SolidWorks.....	35
CAPITULO V		41
5.	SISTEMA DE ANÁLISIS DE IMAGENES.....	41
5.1	Selección de componentes necesarios para el análisis de imágenes	42
5.1.1	Sensores y Cámaras	42
5.1.2	Iluminación (Lámpara UV)	42
5.1.3	Procesadores y Almacenamiento	43
5.2	Diseño del software de procesamiento de imágenes	43
5.2.1	Adquisición de imágenes	43
5.2.2	Algoritmos de Procesamiento de Imágenes	44
5.3	Pruebas y evaluación del sistema de análisis	51
5.3.1	Escenarios de Prueba.....	52
5.3.2	Parámetros de Rendimiento.....	52
5.3.3	Informe detallado de pruebas IK en materiales.....	52
6	CONCLUSIONES.....	72
7	RECOMENDACIONES	73
8	Bibliografía.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Carcasa.....	12
Figura 2. Difusor.....	12
Figura 3. Reflector.....	12
Figura 4. Filtro Óptico.....	13
Figura 5. Junta.....	13
Figura 6. Fuente de luz.....	14
Figura 7. Porta lámparas.....	14
Figura 8. Balasto.....	14
Figura 9. Condensador.....	15
Figura 10. Pruebas de impacto.....	17
Figura 11. Esquema de prueba de impacto Charpy.....	20
Figura 12. Equipo para la realización del ensayo de Izod.....	21
Figura 13. Máquina para ensayo de impacto por caída libre DWTT series.....	22
Figura 14. Esquema del desarrollo del proyecto.....	24
Figura 15. Estructura de probador IK propuesto.....	31
Figura 16. Brazo mecánico KALIOU 7.....	31
Figura 17. Motor Paso a Paso Nema 34 de 8.7 Nm.....	32
Figura 18. Péndulo.....	33
Figura 19. Cámara Digital.....	33
Figura 20. Lámpara UV.....	35
Figura 21. Modelo 3D de probador IK automatizado.....	36
Figura 22. Desplazamiento del brazo hacia el punto medio.....	38
Figura 23. Captura de imagen para análisis.....	38
Figura 24. Movimiento de retorno del brazo mecánico.....	39
Figura 25. Relación de los componentes del péndulo del diseño de probador IK.....	40
Figura 26. Adquisición de imágenes.....	44
Figura 27. Configuración de los filtros empleados.....	44
Figura 28. Función mostrar diferencias.....	46
Figura 29. Diferencia absoluta entre imágenes.....	46
Figura 30. Porcentaje de diferencias.....	46
Figura 31. Código para resaltar diferencias entre imágenes.....	47
Figura 32. Selección del tipo de deformación.....	48
Figura 33. Ingreso de datos del material puesto a prueba.....	48
Figura 34. Interfaz principal.....	49
Figura 35. Ventana Antes de impacto.....	49
Figura 36. Ventana Comparación.....	50
Figura 37. Ventana Detección Normal.....	50
Figura 38. Ventana Detección UV.....	51
Figura 39. Ventana Conclusión de prueba IK.....	51
Figura 40. Peso de 200g y 500g.....	53
Figura 41. Comparación del aluminio antes y después del impacto IK03 con diferencias resaltadas.....	57

Figura 42. Resultados de prueba IK03 en el aluminio.....	58
Figura 43. Comparación del aluminio antes y después del impacto IK05 con diferencias resaltadas.....	59
Figura 44. Resultados de prueba IK05 en el aluminio.....	60
Figura 45. Comparación del aluminio antes y después del impacto IK07 con diferencias resaltadas.....	61
Figura 46. Resultados de prueba IK07 en el aluminio.....	62
Figura 47. Comparación del vidrio antes y después del impacto IK03 con diferencias resaltadas.....	65
Figura 48. Resultados de prueba IK07 en el vidrio.....	66
Figura 49. Comparación del acrílico antes y después del impacto IK03 con diferencias resaltadas.....	69
Figura 50. Resultados de prueba IK07 en el acrílico.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación Ik	18
Tabla 2. Propiedades del aluminio.	54
Tabla 3. Resultados de las comparaciones del aluminio.	55
Tabla 4. Propiedades del vidrio.	62
Tabla 5. Resultados de las comparaciones del vidrio.....	63
Tabla 6. Propiedades del acrílico.	66
Tabla 7. Resultados de las comparaciones del acrílico.....	67

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCION

En el mundo actual, la seguridad y durabilidad de las luminarias son aspectos críticos en diversas áreas, desde la iluminación urbana hasta la iluminación industria. La eficacia de la iluminación afecta directamente la seguridad pública, la productividad en entornos laborales y el consumo energético global. Por lo tanto, garantizar la calidad y resistencia de las luminarias es fundamental para asegurar un funcionamiento óptimo y seguro en diferentes contextos y aplicaciones. Las pruebas de impacto (IK) juegan un papel fundamental en la evaluación de la resistencia de estas luminarias frente a condiciones adversas. Sin embargo, la realización de estas pruebas de manera manual puede resultar costosa, poco eficiente y propensa a errores. En un entorno donde la seguridad y la calidad son prioritarias, la automatización de estas pruebas se presenta como una solución necesaria para asegurar la confiabilidad de los productos y la protección del usuario. El desarrollo de un prototipo automatizado para pruebas de impacto en luminarias representa un avance significativo en la optimización de las normativas de calidad y seguridad en la industria de la iluminación.

Las clasificaciones IK son una medida internacional del grado de protección que se proporciona a los equipos eléctricos contra impactos mecánicos externos, evaluando la resistencia de una carcasa para resguardar su contenido frente a influencias externas, acuerdo a la norma IEC 62262: 2002 (EUROLAB, 2018). Esta norma define el grado de protección al impacto de los equipos eléctricos contra esfuerzos mecánicos externos, utilizando el código IK para especificar el nivel de protección ofrecido por una carcasa, con valores que van del 0 al 10, donde un número más alto representa una mayor resistencia al impacto mecánico (Giraldo, 2019). La importancia de contar con productos clasificados según IK es especialmente destacada en áreas públicas, zonas de alto tráfico, entornos comerciales y áreas propensas al vandalismo (Argüello, 2023). La clasificación IK mide la resistencia de los equipos eléctricos frente a golpes mecánicos externos, basada en la norma europea BS EN 50102 de 1995 y modificada por la IEC 60068-2-75 en 1997, utilizando un número del 00 al 10 para indicar el nivel de resistencia ante impactos (ZGSM, 2023). Además, realizar pruebas de protección contra impactos no solo asegura una ventaja competitiva en licitaciones, sino que también incrementa la fiabilidad y mejora la vida útil del producto (Ineltec, 2022).

Este estudio se centra en diseñar un prototipo automatizado de pruebas (IK) para luminarias, empleando software especializado y validación mediante simulaciones, con el propósito de su futura implementación en laboratorio de luminotecnía del CIITT. Además, se pretende mostrar cómo este sistema puede mejorar la precisión y eficiencia de las pruebas de impacto, así como su capacidad para verificar la integridad estructural de las luminarias conforme a estándares internacionales.

Para alcanzar estos objetivos, se plantea una metodología cuantitativa que abarca desde una revisión de la literatura sobre pruebas de impacto en luminarias, tecnologías automatizadas para pruebas y normativas relevantes. Se establecerán requisitos de diseño y funciones del prototipo automatizado, enfocándose en precisión, velocidad, seguridad y adaptabilidad a diferentes tipos de luminarias. Se generará un diseño conceptual mediante la exploración de diversas tecnologías y enfoques, seguido por la creación de un diseño detallado que integre componentes mecánicos, eléctricos y de control.

La programación del software incluirá algoritmos de control y sistemas de adquisición de datos. Se realizarán simulaciones para validar el funcionamiento del prototipo, evaluando su precisión y capacidad para realizar pruebas de impacto. Posteriormente, se realizarán ajustes y mejoras basados en los resultados de las pruebas, culminando en la elaboración de un informe técnico que documente el proceso de desarrollo, validación y resultados del prototipo automatizado

Se espera demostrar cómo un prototipo automatizado de pruebas (IK) para luminarias puede mejorar significativamente la precisión, eficiencia y seguridad en las evaluaciones de impacto. Además, se proyecta que este sistema no solo cumpla con los estándares internacionales establecidos, sino que también proporcione una herramienta robusta para la industria de la luminotecnía, facilitando la evaluación más precisa y confiable de la resistencia de las luminarias.

1.2 Formulación del problema

Las pruebas manuales tienen de objetivo identificar defectos significativos de manera rápida. Para minimizar costos y asegurar una alta consistencia en los resultados, es necesario implementar sistemas automatizados (Polo, Reales, Piattini, & Ebert, 2013).

La incorporación de un sistema de visión artificial a través del análisis digital de imágenes facilita la automatización del proceso de control de calidad (Jaramillo, Ramos, & Jimenez, 2014).

La manera en que los materiales a diversas cargas externas son cruciales en múltiples disciplinas científicas, ingenieriles e industriales. Por lo tanto, la automatización de las pruebas de impacto puede mejorar significativamente la calidad y la fiabilidad de los resultados obtenidos (Komvopoulos, 2021).

La problemática principal se debe a la falta de herramientas efectivas y precisas para evaluar la resistencia y durabilidad de las nuevas luminarias que se van a instalar a nivel residencial, comercial, industrial y alumbrado público. Actualmente, las pruebas de impacto se realizan manualmente, lo que resulta ineficiente y puede estar propenso a errores humanos al momento de la inspección. Esto conlleva a que las luminarias a instalarse no cumplan con los estándares de seguridad requeridos, lo que representa un riesgo potencial para los usuarios y genera reclamaciones por productos defectuosos que implican gastos adicionales para los fabricantes.

Por lo tanto, surge la necesidad de abordar las siguientes interrogantes:

1. ¿Cuál es el diseño óptimo para un prototipo automatizado destinado a realizar pruebas de impacto en luminarias, asegurando la precisión y eficacia en la valoración de su resistencia y durabilidad?
2. ¿Qué metodología de desarrollo y validación puede emplearse para garantizar la efectividad y confiabilidad del prototipo automatizado en la realización de pruebas de impacto en luminarias, considerando las normativas y estándares pertinentes?
3. ¿Cuáles son las implicaciones y beneficios potenciales de la implementación de un prototipo automatizado para pruebas de impacto en luminarias en el ámbito industrial, en términos de mejora de la seguridad, reducción de costos y optimización de procesos de calidad?

1.3 Justificación

En la actualidad, la industria de la iluminación enfrenta un reto constante en el desarrollo de luminarias que no solo ofrezcan eficiencia energética y calidad lumínica, sino que también sean duraderas y resistentes. La resistencia a impactos mecánicos evaluada mediante las pruebas de impacto IK, es un aspecto crucial para garantizar la longevidad y fiabilidad de las luminarias, especialmente en aplicaciones exteriores y ambientes industriales. Sin embargo, la realización de estas pruebas de manera manual puede ser ineficiente y propensa a errores humanos. Por lo tanto, la implementación de un prototipo automatizado para pruebas de

impacto IK en luminarias se presenta como una solución innovadora y necesaria. Se realizará todo el diseño del prototipo y se construirá una sección que se encargará de la verificación de fisuras en materiales utilizados en los difusores de las luminarias mediante el uso de una cámara digital y el análisis de imágenes para tener como referencia datos previos a una futura construcción del prototipo.

Por los siguientes motivos existe la necesidad de automatización en las pruebas de impacto en luminarias:

Precisión y consistencias:

La automatización de las pruebas de impacto IK garantiza que cada prueba se realice en condiciones controladas y reproducibles, eliminando las variaciones causadas por la intervención humana. Esto da como resultado datos precisos y confiables, esenciales para validar y certificar luminarias (LISUN, 2022).

Eficiencia operativa:

Un sistema automatizado puede realizar pruebas de impacto de manera más ágil y eficaz que los métodos manuales, reduciendo el tiempo necesario para evaluar cada luminaria. Esto aumenta la capacidad de prueba, permitiendo evaluar más muestras en menos tiempo (EUROFINS, 2022).

Costos operativos:

Aunque la inversión inicial en un prototipo automatizado puede ser significativa, conduce a menores costos operativos a largo plazo. La automatización reduce la necesidad de trabajos que requieren mucha mano de obra y disminuye el desgaste del personal, lo que da lugar a una reducción en los costos de mantenimiento y menos errores costosos (LISUN, 2012).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Prototipar un sistema automatizado para pruebas de índice de protección mecánica (IK) utilizando técnicas de control automatizado, así como análisis de imágenes para la evaluación de la resistencia y durabilidad de luminarias cumplimiento estándares internacionales.

1.4.2 Objetivos específicos

- Fortalecer conocimientos sobre normativas y estándares internacionales relacionados con las pruebas de impacto en luminarias mediante búsquedas de

información en bases de datos científicas contando con información actualizada y de calidad

- Diseñar el prototipo automatizado, para la realización de pruebas de índice de protección mecánica (IK) en luminarias, integrando componentes mecánicos, electrónicos y de control necesarios para su funcionamiento.
- Construir el sistema de análisis de imágenes con el uso de una cámara digital para la verificación de fisuras en materiales utilizados en el difusor de las luminarias de impacto, asegurando un análisis preciso y eficiente de la integridad de las mismas.
- Validar el funcionamiento del sistema de análisis de imágenes mediante la realización de pruebas de impacto en luminarias, comparando los resultados obtenidos con los estándares internacionales, a fin de asegurar la precisión y confiabilidad de los datos registrados.

1.5 Alcance

Se llevará a cabo el desarrollo de un prototipo automatizado capaz de realizar pruebas de impacto controladas, la integración de un sistema de análisis imágenes y la programación de un software de control para gestionar el dispositivo de pruebas. Se estudiarán los principios de diseño y funcionamiento de luminarias, así como las normativas y estándares eléctricos aplicables a su seguridad y resistencia. Además, se diseñarán estructuras y componentes mecánicos que soporten las pruebas de impacto, mientras se desarrollan sistemas de control que permitan la automatización del proceso.

Se analizará los conceptos de seguridad en iluminación, como la clasificación IK, para garantizar la integridad de las luminarias bajo ensayo y del propio prototipo. Se emplean tecnologías de medición y registro de información para evaluar los resultados de las pruebas, asegurando la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos durante el proceso de investigación y desarrollo.

El análisis de los resultados incluirá la evaluación del comportamiento de diferentes tipos de luminarias bajo condiciones de impacto controladas y un estudio estadístico de la información recolectada para determinar la resistencia al impacto de los productos evaluados

El proyecto se limita a la evaluación de luminarias para aplicaciones residenciales, comerciales e industriales, excluyendo pruebas en condiciones extremas fuera de los rangos definidos por las normativas aplicables. El sistema está diseñado para su uso en laboratorios de prueba y control de calidad de fabricantes de luminarias, con resultados y metodologías que pueden fundamentar futuras investigaciones en este campo.

CAPITULO II

2 MARCO TEÓRICO

Este marco establece la base conceptual para evaluar, monitorear y abordar los desafíos relaciones con las pruebas automatizadas de impacto (IK) de luminarias. Su relevancia radica en proporcionar datos precisos y en tiempo real que permitan comprender los efectos mecánicos en luminarias, evaluando su resistencia y durabilidad. Esto incluye aspectos relacionados con el procesamiento de imágenes (gestión de datos), tales como la recolección almacenamiento y estudio de los mismos. La implementación de una cámara digital para el análisis de imágenes y un sistema de control preciso y confiable es esencial para que el prototipo sea capaz de interpretar los datos recopilados durante las pruebas con la finalidad de dar resultados confiables y certeros.

2.1 Luminaria

“Una luminaria es una lampara, generalmente eléctrica, diseñada para ser fijada a la pared y comúnmente utilizadas en espacios residenciales y comerciales. Estas pueden clasificarse según su ubicación, forma, función y otras características específicas.” (Eligenio, n.d). Además, una luminaria es un dispositivo concebido para dispersar, filtrar o modificar la luz a través de una o varias lámparas, e incluye todos los componentes necesarios para su fijación, protección y conexión (MKT DIGITAL, 2022). En conclusión, las luminarias no solo desempeñan la función de iluminar los espacios donde sean ubicadas, sino que también integran elementos esenciales que garanticen su correcto funcionamiento y su adaptación a diferentes entornos, destacando su importancia tanto en el diseño como en la seguridad de las instalaciones.

2.1.1 Partes de una Luminaria

Detallar las características y funciones de cada uno de estos componentes es crucial para entender como una luminaria cumple con sus objetivos tanto en términos de iluminación, seguridad y eficiencia. A continuación, se describen las principales partes que conforman una luminaria, cada una con un rol esencial en su funcionamiento y diseño.

2.1.1.1 Carcasa

Una carcasa (ver Figura 1), es la estructura principal de la luminaria que sostiene y protege los demás componentes. Está diseñada para resistir impactos, humedad y otras condiciones ambientales.



Figura 1. Carcasa.

Fuente: (DM Desarrollos, n.d)

2.1.1.2 Difusor

El difusor (ver Figura 2), es el componente que cubre la fuente de luz, dispersando y suavizando la luz emitida para reducir el deslumbramiento. Puede estar hecho de vidrio, plástico o materiales similares.



Figura 2. Difusor.

Fuente: (POLINTER, n.d)

2.1.1.3 Reflector

Un reflector (ver Figura 3), está ubicado dentro de la carcasa, su función es dirigir y concentrar la luz hacia una dirección específica. Mejora la eficiencia luminosa al maximizar la cantidad de luz útil.



Figura 3. Reflector.

Fuente: (LEDBOX, n.d)

2.1.1.4 Filtro de iluminación.

El filtro en una luminaria (ver Figura 4), es un componente diseñado para modificar las características de la luz distribuida por la fuente luminosa. El filtro ajusta el color de la luz emitida por una lámpara al absorber las frecuencias luminosas no deseadas (Niebla , Pazmiño , & Leon, 2010).



Figura 4. Filtro Óptico.

Fuente: (Tabernero, 2010)

2.1.1.5 Junta

La junta (ver Figura 5), es un componente diseñado para las siguientes funciones:

- Sellado: Crea un sello hermético en las áreas donde se unen la carcasa y el difusor, impidiendo la entrada de elementos externos.
- Protección contra la Intemperie: protege a la luminaria contra la lluvia, polvo y cambios de temperatura.
- Mejora la durabilidad: Al proteger los componentes internos de la luminaria de factores internos, la junta contribuye a prolongar la vida útil del dispositivo.



Figura 5. Junta.

Fuente: (Hidromaronline, n.d)

2.1.1.6 Componentes eléctricos

Los componentes eléctricos de una luminaria son esenciales para su funcionamiento, ya que permiten la conexión, control y distribución de la electricidad a la fuente de luz. A continuación, se describen los principales componentes eléctricos de una luminaria:

- Lámpara o fuente de luz:

La lámpara (ver Figura 6), es el componente que produce la luz. Puede ser diferentes tipos, como bombillas incandescentes, fluorescentes, halógenas, leds, entre otras.



Figura 6. Fuente de luz.

Fuente: (OPCC, n.d)

- Porta Lámparas:

Es el componente (ver Figura 7) que sostiene la lámpara en su lugar y proporciona el contacto eléctrico necesario para que funcione. Los porta lámparas están diseñados para diferentes tipos de lámparas.



Figura 7. Porta lámparas.

Fuente: (PASTORUTTI NEORED, n.d)

- Balasto:

El balasto (ver Figura 8) es utilizado principalmente en lámparas fluorescentes y de descarga, además regula la cantidad de corriente que pasa a la lámpara asegurando un funcionamiento estable.



Figura 8. Balasto.

Fuente: (WIKIPEDIA, n.d)

- Condensador:

Componente (ver Figura 9), es empleado para ajustar el factor de potencia en circuitos de lámparas fluorescentes y de descarga, mejorando la eficiencia energética de la luminaria.



Figura 9. Condensador.

Fuente: (LIFASA, n.d)

2.2 Normativa y Estándares de las Pruebas de Impacto IK

Las Pruebas de impacto Ik son un estándar internacional utilizado para medir la resistencia de las luminarias y otros equipos eléctricos. Estas pruebas se ejecutan para establecer la tenacidad y fragilidad de los aparatos cuando se someten a impactos mecánicos externos (KEYENCE, n.d).

Estas pruebas tienen como objetivo principal determinar la capacidad de una carcasa para proteger sus componentes internos de posibles daños causados por golpes, caídas u otros tipos de impactos. La clasificación IK, derivada de estas pruebas, es esencial para certificar que los productos cumplan con las exigencias de durabilidad y seguridad, especialmente en entornos exigentes. En la industria de la iluminación, las pruebas de impacto IK son cruciales para garantizar que las luminarias puedan soportar las condiciones adversas a las que podrían estar expuestas, como en áreas públicas, zonas de alto tráfico o ambientes industriales. Una evaluación precisa de la resistencia al impacto no solo contribuye a la seguridad de los usuarios, sino que también prolonga la vida útil del producto, reduciendo la necesidad de reemplazos frecuentes y mejorando la confiabilidad del equipo en el mercado.

2.2.1 Normativa IK

La normativa IK es el sistema de clasificación que resulta de las pruebas de impacto reguladas por la norma IEC 62262. Esta normativa es crucial para identificar el nivel de protección que ofrece una carcasa contra impactos mecánicos externos (INNOVATION, n.d). El cumplimiento de estas normas garantiza que los productos puedan soportar las condiciones adversas a las que podrían estar expuestos en su entorno operativo, como golpes, caídas o

actos de vandalismo. A continuación, se detallan las principales normativas que regulan las pruebas IK y su aplicación en la industria de la iluminación.

2.2.2 Norma IEC 62262

La norma IEC 62262, también conocida como EN 62262 en Europa, es el principal estándar internacional que regula las pruebas de impacto IK. Esta norma establece un sistema de clasificación para los niveles de protección que brindan las envolventes de los equipos eléctricos contra golpes mecánicos externos. (IEC, 2002) . Aunque este sistema se puede aplicar a la mayoría de los tipos de equipos eléctricos, no se puede suponer que todos los niveles de protección indicados sean apropiados para un equipo en particular.

Para realizar las pruebas IK, se emplean máquinas diseñadas específicamente para aplicar impactos con diferentes niveles de energía según la clasificación requerida. La norma IEC 62262 detalla el tipo de martillo de impacto que se debe usar, las condiciones ambientales para llevar a cabo las pruebas, y cómo se deben montar los equipos durante estas. Estas máquinas suelen estar equipadas con un péndulo de masa controlada que impacta la muestra en prueba desde una altura específica. Además, algunas máquinas IK cuentan con un sistema de medición que registra la energía del impacto, permitiendo así determinar la clasificación correspondiente.

- Propósito de la norma IEC 62262: El principal objetivo es garantizar que los equipos eléctricos, incluyendo las luminarias, tenga la capacidad de soportar impactos que puedan ocurrir en su entorno de uso. Este es un factor clave en la seguridad y durabilidad de los productos, especialmente donde están expuestos a posibles daños, como áreas públicas, zonas industriales o espacios comerciales.
- Procedimiento de la prueba: Según la IEC 62262, las pruebas de impacto se realizan aplicando golpes controlados con un martillo de impacto calibrado sobre la carcasa del equipo. La energía del impacto, medida en julios (J), se ajusta según el nivel de resistencia que se desea probar.
- Resultados de las pruebas: Se evalúa la integridad de la carcasa para determinar si ha mantenido su capacidad de proteger los componentes internos del equipo. Los resultados de estas pruebas se emplean para asignar un código IK a la carcasa, indicando su nivel de resistencia a impactos.

2.2.3 Sistema de clasificación IK

El código IK es un sistema de clasificación derivado directamente de las pruebas realizadas conforme a la norma IEC 62262. Este código permite identificar el nivel de

resistencia de una carcasa frente a impactos mecánicos externos como se puede visualizar en la Figura 10.



Figura 10. Pruebas de impacto.

Fuente: (Años luz, 2020)

Aunque este sistema puede aplicarse a la mayoría de las categorías de equipos eléctricos, pero no se debe asumir que todos los niveles de protección disponibles sean adecuados para cada equipo. Por lo general, el nivel de protección se refiere a la envolvente en su conjunto. Si alguna sección de la envolvente tiene un grado de protección distinto, esto debe indicarse específicamente por separado en las instrucciones o documentación proporcionada por el fabricante.

- Rango de clasificación: A continuación, la Tabla 1 muestra el incremento en el código IK se relaciona con un mayor nivel de resistencia al impacto, lo cual es esencial para seleccionar el equipo adecuado según el entorno de uso. La clasificación IK abarca desde IK00, que indica una ausencia de protección contra impactos, hasta IK10, que representa la máxima resistencia, capaz de soportar impactos de hasta 20 julios.

Tabla 1. Clasificación Ik

Grado IK	Energía (J)	Masa y altura de la pieza de golpeo
IK00	-	-
IK01	0.15	0,2 kg / 70 mm
IK02	0.2	0,2 kg / 100 mm
IK03	0.35	0,2 kg / 175 mm
IK04	0.5	0,2 kg / 250 mm
IK05	0.7	0,2 kg / 350 mm
IK06	1	0,5 kg / 200 mm
IK07	2	0,5 kg / 400 mm
IK08	5	1,7 kg / 295 mm
IK09	10	5 kg / 200 mm
IK10	20	5 kg / 400 mm

Fuente: (INNOVATION, 2022)

- Aplicaciones del código IK: En la industria de la iluminación, la clasificación IK es crucial para garantizar que las luminarias sean adecuadas para su uso en entornos donde pueden estar expuestas a golpes o daños mecánicos. Por ejemplo, una luminaria con una alta clasificación IK es ideal para instalaciones en áreas públicas o industriales donde la seguridad y la durabilidad sean prioridad.

2.2.4 Relación con otras normas.

La norma IEC 62262 está estrechamente relacionada con otras normativas que también tratan la resistencia a impactos y la durabilidad de los equipos eléctricos.

- Norma BS EN 50102: Esta norma europea precedió a la IEC 62262 y estableció uno de los primeros marcos para la evaluación de la resistencia a impactos mecánicos. Aunque la IEC 62262 ha tomado preeminencia como estándar internacional, la BS EN 50102 sigue siendo relevante en muchas aplicaciones, especialmente en Europa (INTERELECTRONIX, n.d).

- Norma IEC 60068-2-75: Esta norma especifica los métodos de prueba para impactos mecánicos en equipos eléctricos. Aunque más general que la IEC 62262, la IEC 60068-2-75 también se utiliza en conjunto con la norma IK para evaluar la resistencia de las carcasas (INTERELECTRONIX, n.d).

2.2.5 Importancia de la Normativa IK en la industria de la iluminación

La normativa IK es de vital importancia en la industria de la iluminación, ya que garantiza que las luminarias puedan soportar impactos mecánicos y seguir funcionando de manera segura y eficaz.

- Seguridad del Usuario: Un alto nivel de resistencia a impactos reduce el riesgo de que una luminaria se dañe y cause accidentes, lo cual es crucial en áreas de alto tráfico o en entornos industriales donde la seguridad es primordial.
- Ventaja Competitiva: Los productos que cumplen con la normativa IK tienen una ventaja competitiva en la industria, ya que son percibidos como más duraderos y confiables. Esto es especialmente importante en proyectos de iluminación pública o industrial, donde la calidad y la fiabilidad del producto son factores decisivos en las licitaciones.
- Reducción de Costos: El cumplimiento con la normativa IK contribuye a prolongar la vida útil de las luminarias, reduciendo la necesidad de reemplazos frecuentes y, por lo tanto, disminuyendo los costos a largo plazo para los usuarios.

2.2.6 Métodos Convencionales de Prueba de Impacto y sus Limitaciones

2.2.6.1 Prueba de Impacto Charpy

Es un método tradicional para valorar la tenacidad de materiales, primordialmente en metales. Se utiliza un péndulo que golpea una muestra en forma de viga, previamente entallada. La muestra se coloca horizontalmente entre dos soportes, y el péndulo se suelta desde una altura determinada para impactarla en el centro, provocando su fractura. La energía absorbida durante este proceso, medida en julios, se emplea para evaluar la resistencia al impacto del material. La prueba de impacto Charpy mide la energía absorbida al romper la muestra, calculada a partir de los ángulos de elevación y oscilación del martillo. A continuación, se presenta un esquema de una máquina de prueba de impacto Charpy (ver Figura 11).

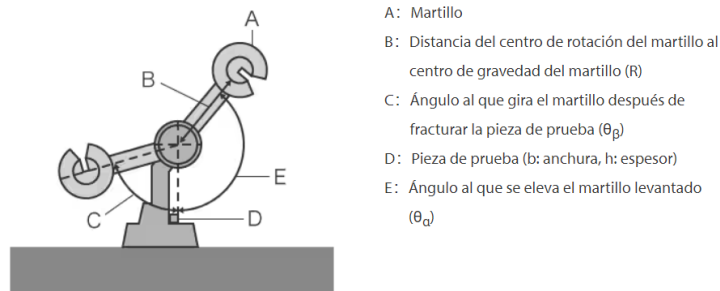


Figura 11. Esquema de prueba de impacto Charpy.

Fuente: (KEYENCE, n.d)

A continuación, se presentan las fórmulas empleadas para determinar la energía absorbida y la resistencia en el ensayo de impacto Charpy.

Fórmulas:

$$E = W * R * (\cos \theta_\beta - \cos \theta_\alpha) - L \quad (\text{Ec.1})$$

$$a = E / (b * h) \quad (\text{Ec.2})$$

E: Energía absorbida (J).

a: Valor de energía de impacto Charpy (kg-cm/cm²).

W: Peso del martillo (N).

R: Distancia entre el eje de rotación del martillo y su centro de gravedad.

θ_β = Ángulo de rotación del martillo tras romper la pieza de prueba (°).

θ_α = Ángulo de elevación del martillo (°).

b: Ancho de la pieza principal de prueba (cm).

h: Espesor de la pieza de prueba (cm).

L: Pérdida de energía debido a la fricción.

Limitaciones

- Aplicación limitada: Principalmente aplicable a materiales metálicos, no es ideal para materiales como plásticos o cerámicas.
- Sensible a la geometría de la muestra: Los resultados pueden variar significativamente con cambios en la forma y el tamaño de la muestra.

- Unidireccionalidad del impacto: La prueba evalúa la resistencia al impacto en una sola dirección, lo que no siempre refleja las condiciones reales de uso.

2.2.6.2 Prueba de Impacto Izod

Similar a la prueba Charpy, la prueba Izod mide la resistencia al impacto de materiales, pero con algunas diferencias clave. En esta prueba, la muestra se sostiene verticalmente, y el péndulo golpea en un extremo. La muestra también suele estar entallada, y la energía necesaria para fracturar la muestra se mide. Los ensayos de impacto utilizando el método Izod se emplean para valorar la resistencia al impacto de materiales plásticos o compuestos ante altas tasas de deformación (Zwick Roell, n.d).

La resiliencia se calcula tomando el promedio de la información obtenida en los tres ensayos. El método Izod se distingue del péndulo Charpy en la forma en que se configura la probeta entallada.

Limitaciones

- Uso restringido: Aunque más versátil que Charpy, sigue siendo más adecuada para materiales homogéneos como metales y algunos plásticos.
- Entalladura obligatoria: La entalladura puede concentrar el esfuerzo en un solo punto, lo que puede no representar la distribución real de esfuerzos en aplicaciones prácticas.
- Falta de simulación de condiciones reales: Como Charpy, Izod también evalúa la resistencia en una sola dirección, lo que puede no ser representativo de las condiciones de impacto en el mundo real.



Figura 12. Equipo para la realización del ensayo de Izod.

Fuente: (Allen & Blists Hill , 2017)

1. Prueba de Impacto con Gota de Peso

En este método, un peso se deja caer desde una altura específica sobre la muestra. La energía del impacto es igual a la energía potencial del peso antes de la caída. Este método se utiliza para simular impactos severos que pueden ocurrir en situaciones reales.

Limitaciones

- Control limitado de la energía de impacto: Aunque el peso y la altura se pueden ajustar, no se tiene un control tan preciso sobre la energía de impacto como en los métodos con péndulo.
- Poca repetibilidad: Las variaciones en la alineación y el contacto pueden afectar la repetibilidad de la prueba.
- No apto para materiales pequeños o frágiles: Puede ser demasiado severo para materiales pequeños o frágiles, causando fracturas catastróficas que no reflejan el uso real.



Figura 13. Máquina para ensayo de impacto por caída libre DWTT series.

Fuente: (Direct Industry, n.d)

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Planteamiento de la Investigación

La problemática de esta investigación, se encuentra en que las pruebas de impacto de realizan mayoritariamente de manera manual, lo que introduce variabilidad en los resultados, limita la precisión y repetibilidad de las evaluaciones. La automatización de este proceso tiene el potencial de superar estas limitaciones, mejorando la exactitud de las mediciones y la eficiencia en la recolección de datos. Esta investigación propone el diseño de un prototipo automatizado que permitirá realizar pruebas IK de manera más eficiente, ofreciendo una herramienta avanzada para la supervisión de calidad y la validación de luminarias.

3.2 Desarrollo del proyecto

El prototipo automatizado para pruebas de impacto (IK) incluye tanto la selección y configuración de los componentes electrónicos y mecánicos adecuados, como la integración de un software de control que garantice la ejecución precisa y consistente de las pruebas. Cada componente del sistema será elegido cuidadosamente para certificar que el dispositivo cumpla con los requerimientos de robustez y fiabilidad necesarios para operar en un entorno de prueba riguroso.

Además, se prestará especial atención al diseño modular del sistema, lo que permitirá futuras actualizaciones y mejoras sin necesidad de una reconfiguración completa. El proceso de desarrollo también incluirá la calibración del prototipo, asegurando que las mediciones sean precisas y alineadas con las normativas internacionales. De esta manera, el sistema no solo facilitará la realización de pruebas de impacto de manera eficiente, sino que también ofrecerá la flexibilidad necesaria para adaptarse a diferentes tipos de luminarias y escenarios de prueba.

A continuación, se presenta un esquema del desarrollo del proyecto, (ver Figura 14).

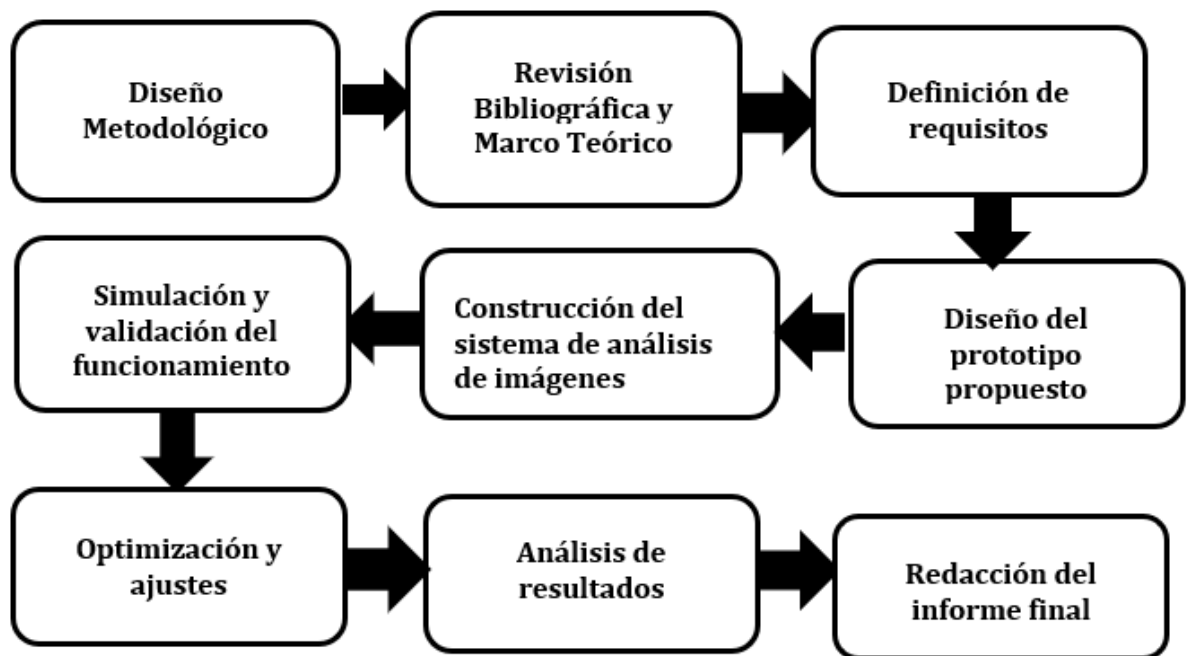


Figura 14. Esquema del desarrollo del proyecto.

Fuente: Autor

De acuerdo al planteamiento propuesto, la investigación se ha organizado en diferentes etapas, garantizando un enfoque metódico y coherente en su desarrollo:

3.3 Diseño metodológico

Se procedió a definir el diseño metodológico de la investigación, el cual se orienta al desarrollo de un sistema automatizado para pruebas de impacto (IK) en luminarias. Este diseño metodológico se estructura en varias etapas clave que permiten cumplir con los objetivos de la investigación de manera sistemática, garantizando la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

- **Etapas 1 (Revisión bibliográfica y Marco teórico)**

Se realizó una revisión bibliográfica científica en repositorios digitales que nos proporcionó información actual y de calidad sobre la automatización de procesos y las pruebas IK. Además, se recopiló información relevante sobre los diferentes factores que influyen en la resistencia de luminarias frente a impactos mecánicos. Esta revisión, fundamentada en el uso de fuentes de datos confiables y recursos académicos, fue fundamental para la elaboración del Marco Teórico, permitiendo definir los conceptos clave, teorías y normativas aplicables. El objetivo de este proceso fue comprender y establecer el alcance de la investigación, orientada a mejorar la precisión y eficiencia en la validación de luminarias mediante sistemas automatizados de prueba.

- **Etapa 2 (Definición de requisitos)**

Se llevará a cabo la identificación y especificación de los requisitos técnicos, normativos y funcionales necesarios para el diseño del sistema automatizado de pruebas de impacto (IK) en luminarias. Este proceso es fundamental para asegurar que el prototipo cumpla con las normativas internacionales y los objetivos de la investigación.

Objetivos de la Etapa:

- Definir los Requisitos claves para el desarrollo del prototipo, basados en la normativa IEC 62262, donde se establece los niveles de protección IK para luminarias.
- Establecer las características necesarias para los componentes electrónicos (sensores de impacto, actuadores, controladores) y mecánicos, asegurando que sean adecuados para la realización de pruebas precisas y repetibles.
- Identificar las especificaciones del software de control, incluyendo la capacidad para configurar los parámetros de prueba, monitorear el proceso y almacenar los resultados de manera eficiente.

Actividades Principales:

- Revisión de Normativas y Estándares Técnicos: Se estudiarán los requerimientos establecidos en la normativa IEC 62262 para asegurar que el sistema automatizado cumpla con los niveles de protección IK correspondientes. Esto permitirá determinar los niveles de energía de impacto que el prototipo deberá simular y medir.
- Definición de Componentes: Se seleccionarán los sensores, actuadores y controladores que garantizan la precisión en las pruebas de impacto. Se evaluará su compatibilidad con el sistema de automatización y la capacidad de soportar múltiples ciclos de pruebas sin pérdida de precisión.
- Especificación del Software de Control: Se definirán las funciones del software de control, enfocadas en la automatización de la prueba. Esto incluirá la capacidad de ajustar parámetros como la magnitud de los impactos y la frecuencia de las pruebas, así como la recolección y almacenamiento de los datos obtenidos durante las pruebas.
- Requerimientos de Seguridad y Mantenimiento: Se identificarán los mecanismos necesarios para garantizar la seguridad operativa del sistema, así como las especificaciones de mantenimiento que permitirán su correcto funcionamiento en el largo plazo.

Resultados esperados:

- Documento de requisitos técnicos que detalle los componentes del sistema, los parámetros de prueba y las especificaciones funcionales del prototipo.
- Plan detallado de integración de los componentes electrónicos, mecánicos y el software de control.
- Validación de que el prototipo cumplirá con los niveles de protección IK establecidos por la normativa IEC 62262.

Esta etapa será crucial para garantizar que el diseño y desarrollo del prototipo automatizado estén alineados con los objetivos de la investigación y los estándares internacionales.

- **Etapa 3 (Diseño del prototipo propuesto)**

En esta etapa, se llevará a cabo el diseño del prototipo automatizado para las pruebas de impacto (IK), con el objetivo de cumplir con los requerimientos técnicos establecidos y garantizar la fiabilidad del sistema, a continuación, se detallarán los pasos a seguir para el diseño del prototipo:

Selección de Componentes

El proceso comienza con la identificación y selección de los componentes electrónicos y mecánicos más adecuados para realizar las pruebas de impacto. Estos incluyen sensores de fuerza, actuadores que generen el impacto necesario, controladores programables (PLC) para la automatización del proceso, y módulos de adquisición de datos. La elección de cada componente se basará en su capacidad de garantizar una medición precisa y repetible, así como su compatibilidad con el software de control.

Diseño de la arquitectura del sistema

A continuación, se procederá a la definición de la arquitectura del prototipo, integrando los elementos seleccionados en un sistema cohesivo. El diseño del prototipo será modular, permitiendo la fácil integración y sustitución de componentes en caso de futuras mejoras. Se crearán esquemas que muestren la conexión entre sensores, actuadores y el sistema de control, asegurando una comunicación eficiente entre los distintos módulos.

Desarrollo del software de control

En paralelo al diseño físico del prototipo, se desarrollará un software de control que gestionará la ejecución de las pruebas de impacto. Este software permitirá configurar los parámetros de las pruebas (como la fuerza del impacto, el número de repeticiones y el tipo de luminaria a probar) y será responsable de la adquisición y almacenamiento de los datos obtenidos durante las pruebas. El sistema también incluirá un panel de monitoreo para supervisar el proceso en tiempo real y ajustar las pruebas según sea necesario.

Se utilizará MATLAB, una herramienta ampliamente reconocida en el campo de la ingeniería y el análisis de datos. MATLAB ofrece numerosas ventajas en comparación con otros softwares de procesamiento de imágenes. Su facilidad para integrar múltiples funciones matemáticas y algoritmos avanzados lo convierte en una elección ideal para el análisis detallado y preciso.

Simulaciones y ajustes del prototipo

Antes de su construcción final, el diseño será sometido a simulaciones para validar su comportamiento bajo diferentes escenarios de prueba. Estas simulaciones permitirán realizar ajustes en la configuración del sistema, asegurando que el prototipo cumpla con las especificaciones de precisión, seguridad y fiabilidad. Una vez completada esta etapa, el prototipo estará listo para ser construido e integrado en el sistema automatizado de pruebas de impacto.

- **Etapas 4 (Construcción del sistema de análisis de imágenes)**

En esta etapa, se llevará a cabo el diseño y desarrollo del sistema de análisis de imágenes, que permitirá evaluar de manera visual y cuantitativa el comportamiento de las luminarias durante las pruebas de impacto (IK). La construcción del sistema incluirá la selección de cámaras, software de procesamiento de imágenes, y algoritmos específicos para la detección y análisis de deformaciones, grietas u otros daños producidos por los impactos, a continuación, se indicará el procedimiento a seguir para elaborar lo mencionado anteriormente.

Desarrollo del Software de Análisis

El software de análisis de imágenes será diseñado para procesar las secuencias capturadas por las cámaras, utilizando algoritmos de visión por computadora. Este software identificará las áreas afectadas por el impacto y medirá

parámetros clave como la magnitud de la deformación y la extensión de los daños visibles. Se utilizarán técnicas de detección de bordes, segmentación y reconocimiento de patrones para asegurar la precisión en la evaluación de los resultados.

Integración con el Sistema de Pruebas Automáticas

El sistema de análisis de imágenes será integrado con el prototipo automatizado de pruebas de impacto, permitiendo una sincronización precisa entre los momentos de impacto y la captura de imágenes. Esta integración asegurará que los datos obtenidos por el sistema de análisis de imágenes complementen los resultados numéricos proporcionados por los sensores de impacto, ofreciendo una visión más completa de la resistencia de las luminarias.

Validación del Sistema de Análisis

Una vez construido, el sistema de análisis de imágenes será sometido a pruebas de validación utilizando luminarias de distintas características y niveles de resistencia. Se compararán los resultados obtenidos por el sistema automatizado con los análisis visuales manuales, asegurando que el sistema de imágenes proporcione resultados precisos y repetibles. Esta validación garantizará la fiabilidad del sistema para su uso en pruebas futuras.

- **Etapa 5 (Simulación y validación del funcionamiento)**

En esta etapa, se realizará la simulación y validación del funcionamiento del sistema automatizado para pruebas de impacto (IK). Inicialmente, se utilizarán entornos de simulación para replicar las condiciones de prueba, permitiendo observar el comportamiento del prototipo sin realizar pruebas físicas. Estas simulaciones facilitarán la identificación de posibles errores en el diseño o el software de control, y ayudarán a ajustar parámetros clave, como la precisión del impacto y la respuesta de los sensores.

Posteriormente, se realizarán pruebas físicas utilizando luminarias reales para verificar que el prototipo cumpla con los requisitos de la normativa IK y que los resultados sean consistentes con los estándares establecidos. Durante este proceso, se monitorizarán parámetros como la energía del impacto, la resistencia estructural de las luminarias y la capacidad del sistema para realizar pruebas repetitivas sin variabilidad significativa.

Los datos obtenidos en las simulaciones y las pruebas físicas serán comparados con resultados de métodos manuales tradicionales, asegurando que el sistema automatizado no solo cumple con los objetivos de precisión y repetibilidad, sino que también optimiza el tiempo

y los recursos necesarios para las pruebas. Esta validación permitirá determinar si el prototipo es apto para su implementación en escenarios industriales y de control de calidad.

- **Etapa 6 (Optimización y ajustes)**

En esta etapa, se realizarán ajustes y mejoras al sistema automatizado con base en los resultados obtenidos durante las pruebas iniciales y la validación del prototipo. Se evaluará el desempeño del sistema en cuanto a precisión, repetibilidad y eficiencia en la ejecución de las pruebas de impacto (IK). Los datos recopilados serán analizados para identificar posibles áreas de mejora en el software de control.

Los ajustes pueden incluir la recalibración de los sensores, la optimización de los algoritmos de control para garantizar tiempos de respuesta más rápidos, y la mejora de la interfaz de usuario para facilitar su operación en entornos industriales. Además, se implementarán mecanismos para asegurar que el sistema mantenga su desempeño a largo plazo, reduciendo posibles errores o desviaciones en los resultados.

El objetivo principal de esta etapa es maximizar la fiabilidad y eficiencia del sistema, asegurando que cumpla de manera óptima con las normativas internacionales y se pueda integrar de forma efectiva en procesos industriales de control de calidad y validación de luminarias.

- **Etapa 7 (Análisis de resultados)**

En esta etapa del proyecto, se llevará a cabo la recolección de datos obtenidos a través del prototipo automatizado para pruebas de impacto (IK). Los sensores instalados en el sistema medirán parámetros clave como la energía del impacto, la deformación y la resistencia de las luminarias durante las pruebas. Todos los datos recopilados serán almacenados de manera sistemática para su posterior análisis. El análisis de los datos incluirá un estudio estadístico que permitirá evaluar la precisión, repetibilidad y comportamiento de las luminarias bajo diferentes condiciones de impacto. Este proceso es crucial para validar la eficacia del prototipo y su capacidad para cumplir con las normativas internacionales, y proporcionará información valiosa hacia futuras mejoras y optimizaciones del sistema.

CAPITULO IV

4. DISEÑO DEL PROTOTIPO PROPUESTO

En este capítulo, se desarrolla el diseño del prototipo propuesto, que representa la materialización conceptual y funcional de las soluciones planteadas en el marco teórico. El diseño del prototipo se fundamenta en los requisitos técnicos y operativos establecidos durante la fase de análisis y se orienta a validar las hipótesis planteadas. Para ello, se definen los componentes principales, los materiales, la estructura y la metodología de ensamblaje del prototipo, con el objetivo de garantizar su viabilidad técnica y operativa. A su vez, se aplican principios de ingeniería, ergonomía y eficiencia, buscando optimizar su rendimiento y cumplir con las especificaciones iniciales. Este diseño preliminar servirá como base para las pruebas experimentales y los ajustes posteriores.

El diseño del prototipo propuesto para pruebas de impacto (IK) se basa en una arquitectura modular que integra tanto componentes electrónicos como mecánicos, además se compone de varias capas interconectadas que garantizan el correcto funcionamiento del prototipo y su capacidad para realizar pruebas de impacto de manera automatizada y precisa.

4.1 Diseño del Sistema de Pruebas

Se detalla el boceto del sistema de pruebas desarrollado en el software SolidWorks, especificando cada uno de los componentes mecánicos y electrónicos utilizados en el ensamblaje. El objetivo principal de este sistema es automatizar las pruebas de cinemática inversa (IK, por sus siglas en inglés) mediante la integración de sensores, actuadores y controladores, optimizando así el desempeño y precisión de los movimientos controlados en el proceso de pruebas.

4.1.1 Componentes Mecánicos

A continuación, se describen los componentes mecánicos integrados en el diseño del sistema de pruebas en SolidWorks:

4.1.1.1 Estructura de probador IK propuesto

Estructura estable que facilita el ensamblaje de los componentes del sistema, concebida para garantizar estabilidad y precisión durante las pruebas, con todas las dimensiones expresadas en pulgadas.

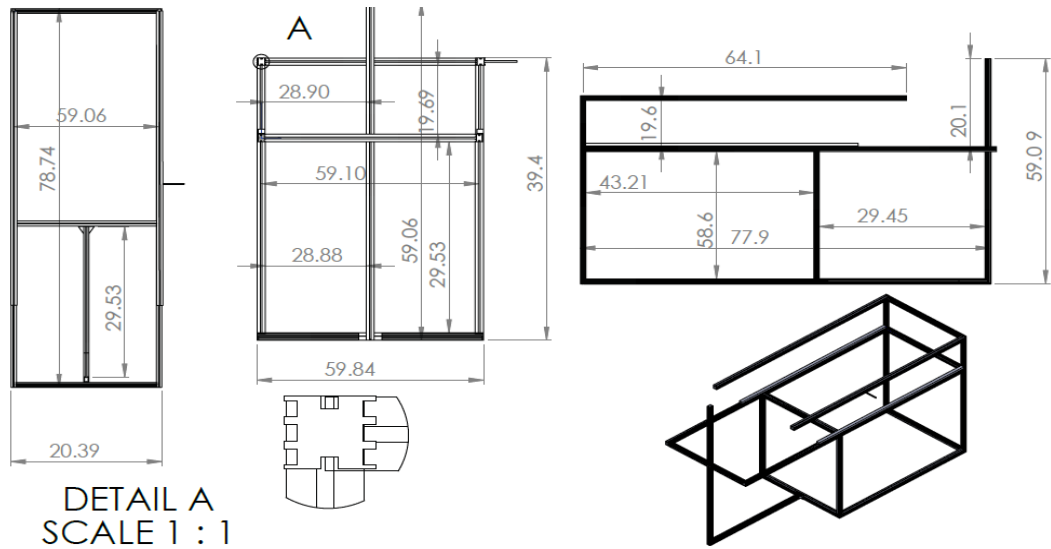


Figura 15. Estructura de probador IK propuesto.

Fuente: Autor.

4.1.1.2 Soporte de brazo para cámara

El soporte del brazo para la cámara es un elemento fundamental en sistemas de captura e inspección de imágenes, pues proporciona la estabilidad y precisión necesarias para obtener datos confiables. Este componente permite que la cámara se posicione y desplace de manera controlada, asegurando tomas consistentes en ángulos y posiciones específicas, aspecto crucial para estudios de movimiento, inspección de calidad o pruebas de impacto, entre otras aplicaciones. Un soporte de brazo bien diseñado no solo facilita la alineación y ajuste de la cámara, sino que además contribuye a reducir vibraciones o movimientos no deseados, garantizando imágenes nítidas y precisas para análisis detallados.



Figura 16. Brazo mecánico KALIOU 7.

Fuente: (Shenzhen Kaliou Industrial, 2024)

4.1.1.3 Motor Paso a Paso

Los motores paso a paso ofrecen alta precisión en el posicionamiento, permitiendo movimientos incrementales exactos en el brazo mecánico sin necesidad de sensores adicionales. Su control sencillo de posición y velocidad facilita el ajuste preciso de cada eje, mientras que su respuesta inmediata a cambios de control asegura que el sistema pueda reaccionar en tiempo real. Además, destacan por su fiabilidad y capacidad para realizar movimientos repetibles, lo que permite un funcionamiento continuo sin desviaciones. Su facilidad de integración con sistemas de control hace que sean ideales para aplicaciones de automatización industrial donde se requiere un control de posicionamiento preciso en cada eje.

El motor paso a paso Nema 34 es el modelo seleccionado específicamente para este diseño debido a su precisión y durabilidad en aplicaciones de control de movimiento. Este motor, que permite una división de rotación en pasos de 1.8 grados, facilita un control detallado de posición y velocidad, características clave para nuestro proyecto. Con un torque de 8.7 Nm y una corriente nominal de 6.0 A, el Nema 34 se adapta perfectamente a las demandas de alta torsión y precisión necesarias en sistemas robóticos y máquinas CNC. Su estructura robusta y su tamaño estándar hacen de este modelo una opción confiable para el diseño planteado, garantizando rendimiento estable en condiciones de trabajo exigentes. Este motor será utilizado para impulsar la banda que desplaza el brazo mecánico, permitiendo el recorrido de la cámara para capturar imágenes destinadas a su posterior análisis (T.E.M, 2020).



Figura 17. Motor Paso a Paso Nema 34 de 8.7 Nm.

Fuente: (Changzhou Hejie Motors, 2024)

4.1.1.4 Péndulo

Elemento clave en la simulación para la ejecución de pruebas IK. Este componente está diseñado para realizar movimientos controlados mediante la acción de poleas.

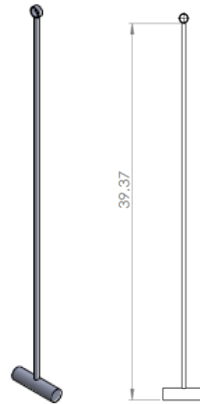


Figura 18. Péndulo.

Fuente: Autor

4.1.2 Componentes electrónicos

En este apartado se especifican los sensores, actuadores y controladores utilizados en el diseño del sistema para la automatización de las pruebas:

4.1.2.1 Cámara digital

Permite capturar y registrar visualmente los resultados de cada prueba, brindando un monitoreo visual en tiempo real del movimiento y posición de los componentes mecánicos, y permitiendo una evaluación precisa de los resultados.

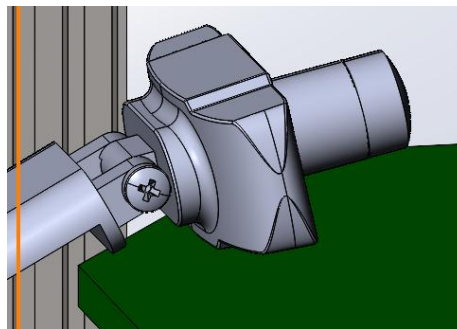


Figura 19. Cámara Digital.

Fuente: Autor

4.1.2.2 Lámpara UV

Se utilizan para iluminar el área de prueba, lo cual ayuda a observar claramente las marcas o patrones que se necesitan para la precisión del monitoreo de las pruebas IK. Las lámparas UV ofrecen varias ventajas para la detección de fisuras en materiales, especialmente en el ámbito de inspección de calidad y mantenimiento:

1. Detección precisa y rápida: La luz ultravioleta resalta los materiales fluorescentes aplicados en la superficie, como líquidos penetrantes o polvos magnéticos, permitiendo que las fisuras y defectos sean visibles con alta precisión y rapidez.
2. No destructiva: El uso de lámparas UV en combinación con líquidos fluorescentes permite inspeccionar piezas sin dañarlas, lo que preserva la integridad de los materiales durante el proceso de detección.
3. Aumento de visibilidad: La iluminación UV mejora significativamente la visibilidad de micro fisuras o defectos que podrían pasar desapercibidos bajo luz natural o visible, incluso en áreas complejas o de difícil acceso.
4. Eficiencia en grandes superficies: Permiten inspeccionar rápidamente áreas amplias, lo cual es útil en industrias como la aeroespacial, automotriz y metalúrgica, donde la detección de fisuras es fundamental para la seguridad.
5. Versatilidad en aplicaciones: Pueden utilizarse en distintos tipos de materiales, como metales, cerámicos y plásticos, siempre que se aplique un material fluorescente adecuado, facilitando su implementación en una amplia diversidad de contextos industriales.

Estas ventajas hacen de las lámparas UV una herramienta esencial en el control de calidad y el reconocimiento de fisuras (Chiminelli & Gemma , 2020).

En la Figura 20 se presenta la lámpara UV utilizada para las simulaciones que se llevarán a cabo. Sus características son las siguientes:

- **Voltaje:** 110V AC, 60Hz.
- **Potencia:** 36W (12x3W).
- **Dimensiones:** (47 x 5 x 5) cm
- **Longitud de onda:** UV de 395 a 400 nm.



Figura 20. *Lampara UV.*

Fuente: Autor

4.1.2.3 Controlador Electrónico

Para el control efectivo de un motor paso a paso desde una computadora, se implementará un sistema que integre un driver de motor y una placa de desarrollo, como un microcontrolador Arduino. Esta combinación permite implementar diversas funciones, tales como la inversión de giro, el control de límites de revoluciones por minuto (RPM) y la ejecución de comandos enviados desde la computadora.

Microcontrolador o Placa de Desarrollo

Para gestionar las funciones avanzadas del motor, una placa Arduino (como el modelo Uno o Mega) es altamente recomendada. Esta plataforma permite programar y controlar funciones como la inversión de giro y la regulación de velocidad (RPM), así como la implementación de topes o límites en el movimiento del motor. Mediante la programación en el entorno de desarrollo de Arduino, es posible definir secuencias de pasos y enviar comandos al driver, utilizando una conexión serial.

Software de Comunicación

Para la interacción entre la computadora y el sistema de control, se pueden emplear diversas herramientas de software. El Serial Monitor incluido en el IDE de Arduino proporciona una interfaz básica para el envío de comandos.

4.1.3 Ensamblaje en SolidWorks

El modelado en SolidWorks concluyó (ver Figura 21) con la integración de todos los componentes mecánicos y electrónicos en un ensamblaje final que simula el funcionamiento del sistema de pruebas. Se ajustaron las relaciones de posición y movimiento entre el brazo, el péndulo, y los demás elementos, asegurando que cada componente funcione de manera coordinada según los parámetros definidos. Finalmente, se realizaron simulaciones para

verificar la precisión y efectividad del sistema, garantizando su adecuación para las pruebas de cinemática inversa.

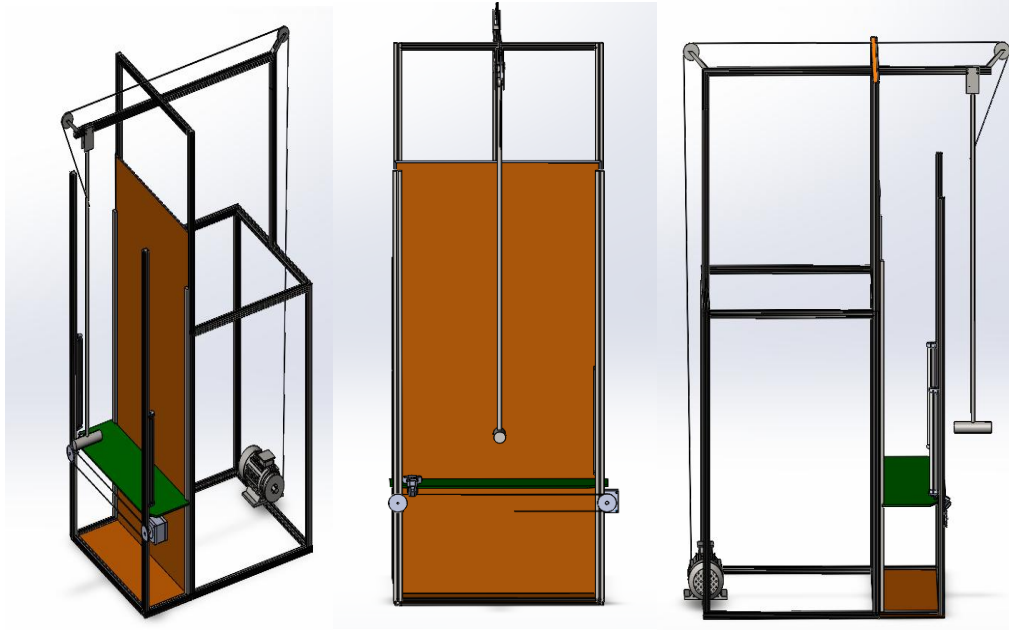


Figura 21. Modelo 3D de probador IK automatizado.

Fuente: Autor

4.1.3.1 Estudio de movimiento probador IK

En este subtema, se detalla el estudio de movimiento realizado en el ensamblaje del probador de cinemática inversa (IK) en SolidWorks, con un enfoque en los movimientos planteados para evaluar la precisión y funcionalidad del sistema.

4.1.3.1.1 Descripción general del estudio de movimiento

El estudio de movimiento en SolidWorks permite visualizar y analizar la interacción entre las diferentes partes mecánicas del ensamblaje en condiciones simuladas, lo que es crucial para evaluar la coherencia y funcionalidad del diseño planteado. A través de esta herramienta, es posible observar cómo los componentes, como el brazo y la cámara, se mueven en conjunto y responden a las restricciones de movimiento y posiciones definidas en el modelo. Esto facilita identificar posibles interferencias, desajustes o limitaciones en la interacción entre piezas, asegurando que el sistema final funcione de acuerdo con las especificaciones del diseño y cumpla con los objetivos de la prueba de cinemática inversa.

4.1.3.1.2 Definición de movimientos clave

En el modelo de ensamblaje del probador de cinemática inversa (IK), se han definido movimientos clave que son esenciales para evaluar la funcionalidad del sistema. Estos movimientos se centran en dos componentes principales: el brazo y el péndulo.

4.1.3.1.2.1 Desplazamiento del Brazo mecánico

El brazo mecánico está situado sobre una banda para que este se desplace de manera lineal hasta ubicarse al frente del material a ponerse a prueba y regresar a su punto de partida. Este movimiento se activa mediante un motor paso a paso, que permite que el brazo se pueda desplazar hasta una longitud 58.6 pulgadas.

Los movimientos del brazo en el modelo diseñado son los siguientes: inicialmente, el brazo se desplaza 29.3 pulgadas a lo largo de la banda hasta situarse en el punto medio del recorrido. Desde esta posición, se toma una foto antes del impacto. Luego, el brazo regresa a su posición de inicio mediante la inversión de polaridad del motor paso a paso. Después del impacto, el brazo repite este desplazamiento hacia el punto medio para capturar una segunda foto y así comparar el estado del material antes y después del impacto.

4.1.3.1.2.2 Oscilación del péndulo

El péndulo está diseñado para oscilar en un movimiento controlado, cuya amplitud y frecuencia son fundamentales para las pruebas del sistema. La amplitud de oscilación se ha configurado para que el péndulo se desplace hasta 15 grados desde la posición vertical, generando un movimiento que simula condiciones dinámicas. La frecuencia de oscilación, determinada por el motor paso a paso que mueve la polea conectada al péndulo, se establece en función de las revoluciones por minuto (RPM) del motor. Al ajustar las RPM, se controla la velocidad de oscilación del péndulo, afectando directamente la distancia que este se eleva o el tope al que llega en cada ciclo. Este mecanismo garantiza que el péndulo funcione de manera sincronizada con el brazo, permitiendo realizar pruebas de cinemática inversa de manera efectiva.

4.1.3.1.3 Simulación y análisis de movimiento

Para el análisis de movimiento del probador IK, se realizaron simulaciones detalladas en SolidWorks que permiten observar el comportamiento de cada componente bajo condiciones de operación. Durante estas simulaciones, se evaluaron los desplazamientos del brazo y el péndulo, observando su interacción en distintas etapas del ciclo de movimiento. Estas pruebas revelaron posibles desajustes y, en

algunos casos, interferencias entre piezas que requerían ajustes en las configuraciones de ensamblaje. A continuación, se presentan capturas de pantalla que ilustran el proceso de simulación y las correcciones implementadas, permitiendo una visualización clara del funcionamiento final del modelo.

A continuación, se detallan los movimientos planteados en la simulación:

1. Desplazamiento del brazo

El desplazamiento lineal del brazo fue simulado para evaluar su capacidad de movimiento en un rango de 29.3 pulgadas. Durante la prueba, se verificó que el brazo mantuviera su trayectoria sin desajustes y con precisión en los límites de desplazamiento establecidos.

En la figura 22 se observa el primer movimiento, donde el brazo mecánico se desplaza a lo largo de la banda hasta alcanzar el punto central de su recorrido.



Figura 22. Desplazamiento del brazo hacia el punto medio.

Fuente: Autor

La figura 23 muestra cómo el brazo se desplaza hasta el punto medio del recorrido de la banda, donde captura imágenes del material sometido a prueba.

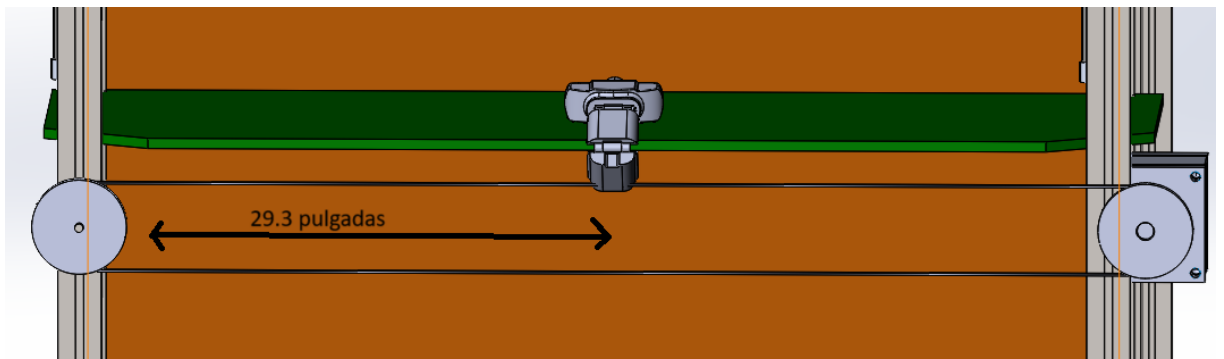


Figura 23. Captura de imagen para análisis.

Fuente: Autor

La figura 24 ilustra cómo, mediante la inversión de giro, la cámara retorna a su posición de origen.

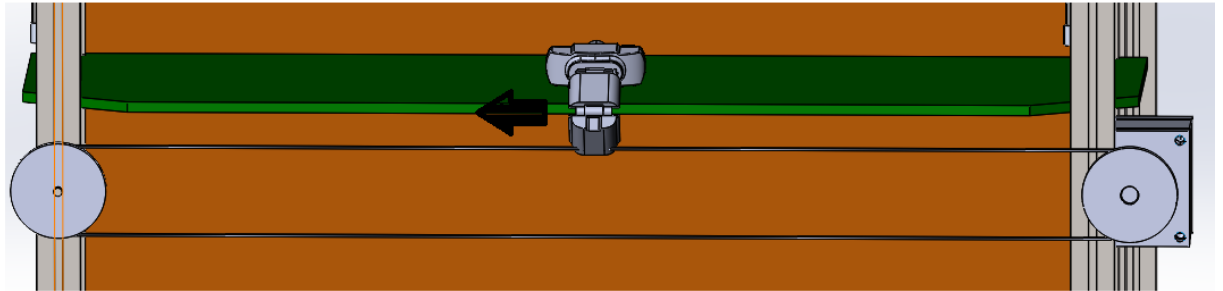


Figura 24. *Movimiento de retorno del brazo mecánico.*

Fuente: Autor

Este procedimiento se realiza en dos ocasiones durante la prueba de impacto: primero antes del impacto y luego después del mismo, permitiendo que la cámara capture referencias previas y posteriores para un análisis más preciso.

2. Movimiento Controlado del Péndulo mediante Banda y Polea Accionada por Motor Paso a Paso

El movimiento controlado del péndulo mediante una banda y polea accionada por un motor paso a paso representa una solución innovadora para aplicaciones que requieren precisión en la manipulación de objetos y análisis de dinámicas. Este sistema combina la capacidad de un motor paso a paso para generar movimientos discretos y controlados con la versatilidad de una banda que transmite la fuerza a través de una polea. Al implementar un diseño que optimiza la interacción entre estos componentes, se logra un desplazamiento suave y eficiente del péndulo, lo que resulta en un desempeño confiable durante las pruebas.

La configuración del sistema permite que el motor paso a paso determine el ángulo y la velocidad del péndulo a través de la rotación de la polea. Cada paso del motor se traduce en un desplazamiento preciso, garantizando que el péndulo se mueva con exactitud y replicabilidad. Esto es especialmente importante en aplicaciones de análisis de movimiento, donde se necesita capturar datos precisos para realizar evaluaciones detalladas. La integración de este tipo de sistema no solo mejora la eficacia del proceso, sino que también permite una mayor flexibilidad en el diseño del equipo, adaptándose a diferentes necesidades y requisitos experimentales.

La figura 25 muestra las interacciones entre los componentes del sistema que facilitan el movimiento del péndulo. Estos elementos están dispuestos de manera que

optimizan la transferencia de energía desde el motor a la polea, garantizando un desplazamiento fluido y controlado del péndulo. Además, la disposición de los componentes en la figura resalta la importancia del diseño en la eficacia del sistema. Al alinear correctamente la banda, la polea y el motor, se minimizan las fricciones y se maximizan las fuerzas transmitidas, lo que da lugar a un movimiento más exacto del péndulo, asegurando no solo un rendimiento óptimo, sino que también permite ajustes fáciles para calibrar el sistema según las necesidades específicas de cada experimento.

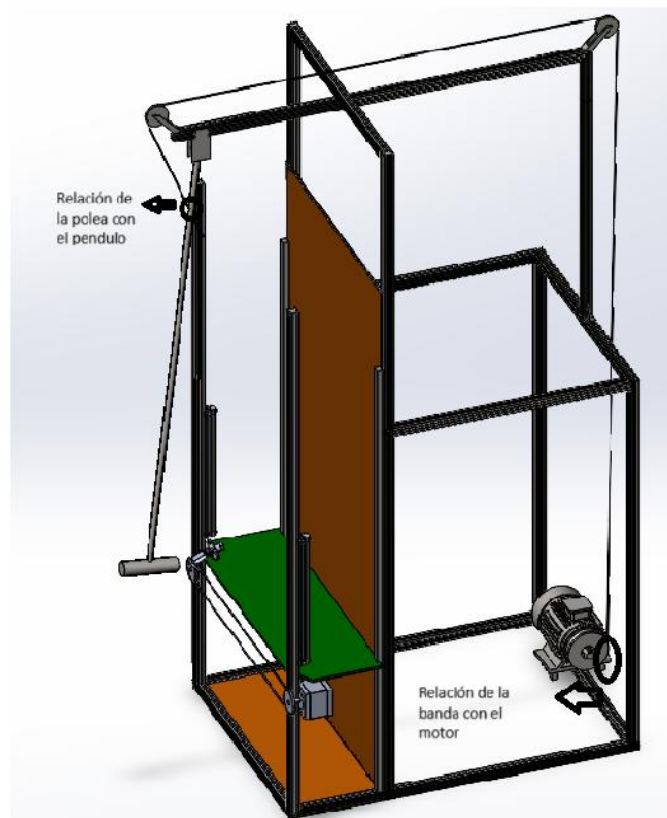


Figura 25. Relación de los componentes del péndulo del diseño de probador IK.

Fuente: Autor

CAPITULO V

5. SISTEMA DE ANÁLISIS DE IMAGENES

El sistema de análisis de imágenes diseñado para este prototipo automatizado tiene como objetivo principal procesar y evaluar, de manera eficiente, las imágenes obtenidas durante las pruebas de impacto realizadas en luminarias. Este sistema se desarrolló utilizando MATLAB, una herramienta versátil que permite implementar algoritmos avanzados de procesamiento de imágenes y análisis numérico, asegurando resultados confiables y personalizables según las necesidades del proyecto. Esto lo convierte en un recurso ideal para sistemas donde la precisión y el manejo eficiente de datos son esenciales.

En este contexto, el sistema de análisis de imágenes actúa como un componente fundamental para evaluar parámetros críticos como deformaciones, grietas, desplazamientos y otros efectos generados por los impactos en las luminarias evaluadas.

Alcance del sistema

- Captura de imágenes en tiempo real (cámaras USB, webcams o cámaras industriales).
- Preprocesamiento de imágenes: eliminación de ruido, ajuste de contraste y corrección de iluminación.
- Segmentación de áreas afectadas en los objetos tras los impactos.
- Medición precisa de parámetros geométricos (longitud de grietas, profundidad de deformaciones, etc.).
- Análisis y visualización de resultados en gráficos o tablas directamente desde MATLAB.
- Capacidad de procesar imágenes en alta resolución para maximizar la precisión en objetos pequeños.
- Automatización parcial del proceso de trabajo, desde la captura de imágenes hasta la generación de reportes.

Limitaciones del sistema

- Dependencia del procesador de imágenes: la calidad y resolución de las imágenes están limitadas por las capacidades de la cámara.

- Procesamiento limitado a un solo flujo de imágenes a la vez (en sistemas no paralelizados).
- Sensibilidad a las condiciones de iluminación: aunque MATLAB permite ciertas correcciones, escenarios con iluminación muy pobre pueden comprometer la calidad del análisis.
- MATLAB no incluye interfaces nativas para todos los modelos de cámaras industriales, lo que puede requerir adaptaciones específicas.

5.1 Selección de componentes necesarios para el análisis de imágenes

La selección de componentes para el análisis de imágenes es un paso esencial para garantizar el rendimiento y la precisión del sistema. En este apartado, se aborda la identificación de los elementos esenciales que permiten la integración adecuada del sistema de captura y procesamiento visual. Se consideraron aspectos como la calidad de las imágenes capturadas, la compatibilidad con el software desarrollado en MATLAB, y la capacidad de los dispositivos para operar en un entorno automatizado, asegurando la fiabilidad de los registros obtenidos durante las pruebas de impacto. A continuación, se detallan los componentes clave de la infraestructura del sistema:

5.1.1 Sensores y Cámaras

Para la captura de imágenes, se seleccionó una cámara de alta resolución que puede ser controlada mediante el software MATLAB. La cámara utilizada permite obtener imágenes de alta calidad con las resoluciones necesarias para evaluar de manera precisa los impactos en los objetos puestos a prueba. La resolución seleccionada se ajusta a los márgenes permitidos por los rangos IK, asegurando una adecuada calidad de imagen sin generar un volumen de datos excesivo. La velocidad de captura de la cámara es suficiente para registrar imágenes a tiempo real durante las pruebas de impacto, permitiendo una evaluación dinámica del comportamiento del objeto.

5.1.2 Iluminación (Lámpara UV)

El sistema de iluminación juega un papel crucial en la calidad de las imágenes obtenidas. Para enfocar los objetos en las pruebas, se utilizaron lámparas UV, las cuales proporcionan una iluminación uniforme y estable que minimiza las sombras y reflejos, asegurando una visibilidad clara de los detalles durante las pruebas de impacto. Las lámparas UV también ayudan a resaltar características específicas del material del objeto, facilitando la detección de fracturas o deformaciones después del impacto. Se diseñó un sistema de control de

iluminación que admita modificar la intensidad y la distribución de la luz en función de las demandas del ensayo.

5.1.3 Procesadores y Almacenamiento

En cuanto al procesamiento, el sistema se apoya en las capacidades de procesamiento de MATLAB, que ofrece una potente plataforma para la ejecución de los algoritmos de análisis de imágenes. La computadora o servidor en el que se ejecuta MATLAB debe tener una potencia de procesamiento suficiente para manejar las tareas de análisis en tiempo real, especialmente en los momentos críticos de captura de imágenes durante el impacto.

El almacenamiento de las imágenes capturadas se realiza mediante el uso de una variable global dentro del código MATLAB. Esta variable almacena las imágenes antes y después del impacto para su posterior análisis. Al finalizar el programa, se ofrece al usuario la opción de visualizar y guardar las imágenes, asegurando que las resoluciones de las imágenes se mantengan dentro de los márgenes IK previamente establecidos. Este almacenamiento global permite que las imágenes sean fácilmente accesibles para la evaluación, manteniendo la coherencia y precisión de los datos a lo largo de todo el proceso.

Con estos componentes de software y almacenamiento, el sistema de análisis de imágenes es capaz de capturar, procesar y almacenar imágenes con precisión, proporcionando datos fiables para la evaluación de los efectos de los impactos en los objetos en prueba.

5.2 Diseño del software de procesamiento de imágenes

El software desarrollado para la gestión de imágenes es una parte fundamental del sistema, ya que permite extraer información relevante durante las pruebas de impacto, como la detección de grietas, deformaciones y otros parámetros visuales. A continuación, se indican los pasos primordiales involucrados en el diseño y las técnicas de procesamiento de imágenes utilizadas.

5.2.1 Adquisición de imágenes

La adquisición de imágenes se realiza mediante cámaras de alta resolución que capturan las condiciones del objeto bajo prueba en tiempo real. El proceso de adquisición está diseñado para optimizar la calidad de las imágenes, ajustando factores como el enfoque, la exposición y la velocidad de captura.

Código para adquisición de imágenes en MATLAB:

IDENTIFICACION DE CAMARAS DISPONIBLES

```
camList = webcamlist; %verificacion de camaras disponibles en el ordenador
cam = webcam(2); % Seleccion de camara
```

Figura 26. Adquisición de imágenes.

Fuente: Autor

En este fragmento del código se puede seleccionar la cámara disponible para proceder a capturar las imágenes de las pruebas, mostrándola en las ventanas emergentes del programa.

5.2.2 Algoritmos de Procesamiento de Imágenes

El procesamiento de imágenes se divide en varias etapas que permiten limpiar, analizar y extraer las características necesarias. Se incluyen pasos de preprocesamiento, segmentación y extracción de características.

5.2.2.1 Preprocesamiento de la Imagen

El preprocesamiento es fundamental para optimizar la calidad de las imágenes y reducir el ruido. Se emplean técnicas como la conversión a escala de grises, bordes y fisuras, negativo, escala de rojos y escala de azules con el propósito de mejorar la calidad de las imágenes antes de la segmentación.

Código para preprocesamiento de los filtros empleados

```
% Función para aplicar filtro a una imagen
function imgFiltrada = aplicarFiltroImagen(img, filtro)
    switch filtro
        case 2 % Escala de grises
            imgFiltrada = rgb2gray(img);
        case 3 % Bordes y fisuras
            imgFiltrada = edge(rgb2gray(img), 'Canny');
        case 4 % Negativo
            imgFiltrada = imcomplement(img);
        case 5 % Escala de rojos
            imgFiltrada = cat(3, img(:, :, 1), zeros(size(img, 1), size(img, 2)), zeros(size(img, 1), size(img, 2)));
        case 6 % Escala de azules
            imgFiltrada = cat(3, zeros(size(img, 1), size(img, 2)), zeros(size(img, 1), size(img, 2)), img(:, :, 3));
        otherwise % Imagen normal
            imgFiltrada = img;
    end
end
```

Figura 27. Configuración de los filtros empleados.

Fuente: Autor

La figura 27 muestra las diferentes representaciones visuales de una imagen procesada mediante la aplicación de distintos filtros, los cuales se seleccionan según el valor del parámetro de entrada denominado filtro. Dependiendo del valor asignado a este parámetro, la función transforma la imagen original en diferentes tipos de imágenes, cada una con características específicas que permiten resaltar diferentes aspectos visuales. A continuación, se describe de manera detallada el funcionamiento de cada filtro, explicando cómo cada uno transforma la imagen original según el tipo de procesamiento que se desea realizar. Esta función, denominada `aplicarFiltroImagen`, toma como entrada dos parámetros:

`img`: La imagen sobre la que se va a aplicar el filtro.

`filtro`: Un valor que determina qué tipo de transformación o filtro se aplicará a la imagen.

La función utiliza una estructura de control `switch` para decidir qué filtro aplicar, basado en el valor del parámetro `filtro`. Para cada caso, se utiliza un procesamiento específico para modificar la imagen:

5.2.2.2 Segmentación de la Imagen

La segmentación consiste en el proceso de reconocer y separar áreas de interés dentro de la imagen, como las grietas o deformaciones causadas por el impacto. Utilizamos técnicas como el umbralado adaptativo para separar los objetos relevantes del fondo.

Código para segmentación mediante umbralado:

Se muestra la función “`mostrarDiferencias`” que se encarga de calcular y mostrar las diferencias entre dos imágenes: una antes y una después de un proceso o evento. Esta función realiza una serie de pasos para procesar las imágenes, calcular las diferencias entre ellas y mostrar el porcentaje de diferencia en una interfaz gráfica.

A continuación, se explica cada parte de la función de manera clara y detallada:

La función “`calcularDiferencias`” tiene como propósito identificar y analizar los cambios entre dos imágenes, una tomada antes (`imagenAntes`) y otra después (`imagenPost`) de un evento. El proceso se compone de los siguientes pasos:

1. Determinación de las diferencias: Se calcula la diferencia absoluta entre ambas imágenes, evaluando el cambio en cada píxel.

```

% Función para calcular las diferencias
function [imagenDiferenciasAntes, imagenDiferenciasPost, porcentaje] = calcularDiferencias(imagenAntes, imagenPost)
    % Calcular las diferencias entre las dos imágenes
    diferencia = abs(imagenAntes - imagenPost);

    % Crear una máscara para las diferencias significativas (umbral de diferencia)
    umbral = 30; % Ajustar este umbral si es necesario
    diferenciaMask = any(diferencia > umbral, 3);

```

Figura 28. Función mostrar diferencias.

Fuente: Autor

2. Creación de una máscara de cambios significativos: Se define un umbral de sensibilidad (umbral = 30) que permite identificar los píxeles donde las diferencias superan este valor en al menos un canal de color (si las imágenes son a color). Esta máscara lógica (diferenciaMask) marca las áreas con variaciones significativas y puede ajustarse según los requerimientos del análisis.

```

% Calcular el porcentaje de diferencias
porcentaje = sum(diferenciaMask(:)) / numel(diferenciaMask) * 100;

```

Figura 29. Diferencia absoluta entre imágenes.

Fuente: Autor

3. Condicional para calcular el porcentaje de diferencia: en la figura 30 se puede ver que la función incluye un condicional que selecciona qué porcentaje de diferencia calcular, dependiendo del valor de “calculoIndex”. El porcentaje se obtiene a través de la función “calcularPorcentajeDiferencias”, que toma las imágenes de entrada y un umbral (en este caso, 30) para determinar cuántos píxeles tienen una diferencia significativa.

```

% Calcular y mostrar las diferencias iniciales
[imagenDiferenciasAntes, imagenDiferenciasPost, porcentaje] = ...
    calcularDiferencias(imagenCapturada, imagenPostImpacto);

diferenciasIniciales = porcentaje; % Guardar en variable global

% Calcular y mostrar las diferencias UV
[imagenDiferenciasAntes, imagenDiferenciasPost, porcentaje] = ...
    calcularDiferencias(imagenUV, imagenPostUV);

diferenciasUV = porcentaje; % Guardar en variable global

```

Figura 30. Porcentaje de diferencias.

Fuente: Autor

Dependiendo de si `calculoIndex` es igual a 1 o no, se calculan dos valores diferentes de porcentaje de diferencia (uno para cada dirección de comparación: antes vs. después y después vs. antes). Luego, el porcentaje calculado se muestra en una etiqueta de la interfaz gráfica, proporcionando al usuario información sobre el grado de diferencia entre las imágenes.

Finalmente, la función está diseñada para retornar las imágenes con diferencias destacadas junto con un porcentaje (porcentaje), aunque el cálculo de este porcentaje no está especificado en el fragmento, lo que indica que la implementación está incompleta.

5.2.2.3 Extracción de Características

Una vez segmentada la imagen, es crucial extraer características relevantes como el tamaño, la forma y las propiedades de las deformaciones. El bloque de código que se presenta en la figura 31 se encarga de resaltar las diferencias entre dos imágenes, una "antes" y una "después" de un proceso, visualizándolas en dos subgráficos diferentes.

Código para resalta los bordes o cambios en las imágenes

```
% Crear imágenes resaltadas con las diferencias
imagenDiferenciasAntes = imagenAntes;
imagenDiferenciasPost = imagenPost;

% Resaltar las diferencias con blanco
imagenDiferenciasAntes(repmat(diferenciaMask, [1, 1, 3])) = 255;
imagenDiferenciasPost(repmat(diferenciaMask, [1, 1, 3])) = 255;
```

Figura 31. Código para resaltar diferencias entre imágenes.

Fuente: Autor

5.2.2.4 Selección del tipo de deformación

En la figura 32 se describe la función `determinarColores`, encargada de asignar colores correspondientes a los tres estados estructurales (elástico, plástico y fractura) según el valor de una variable denominada `valor`. Cuando `valor` es menor o igual al umbral definido por la variable `ener` (que representa la energía elástica máxima del material), el estado elástico se muestra en verde, mientras que los estados plástico y fractura permanecen en gris. En cambio, si `valor` supera este umbral, los estados elástico y plástico se mantienen en gris, y el estado de fractura se representa en rojo.

```

% Función para determinar qué cuadro se pinta
function [colorElastica, colorPlastica, colorFractura] = determinarColores(valor)
    if valor <= ener
        colorElastica = [0.2, 0.6, 0]; % Verde
        colorPlastica = [0.9, 0.9, 0.9]; % Fondo gris
        colorFractura = [0.9, 0.9, 0.9]; % Fondo gris
    %elseif valor > ener && valor < 75
        % colorElastica = [0.9, 0.9, 0.9]; % Fondo gris
        % colorPlastica = [0.8, 0.5, 0]; % Naranja
        %colorFractura = [0.9, 0.9, 0.9]; % Fondo gris
    elseif valor > ener
        colorElastica = [0.9, 0.9, 0.9]; % Fondo gris
        colorPlastica = [0.9, 0.9, 0.9]; % Fondo gris
        colorFractura = [0.7, 0, 0]; % Rojo
    end
end
end

```

Figura 32. Selección del tipo de deformación.

Fuente: Autor

5.2.2.5 Validación y Pruebas del Software

La validación y las pruebas son esenciales para certificar que el sistema de procesamiento de imágenes esté funcionando correctamente. Se deben realizar pruebas con imágenes de distintas condiciones de prueba (varios niveles de impacto, diferentes materiales, etc.) para evaluar la precisión del sistema.

Código para realizar una validación básica:

Simulación para prueba IK02 en aluminio

1. Ingresar propiedades del material puesto a prueba como se observa en la figura 31.

Grado IK - Energía - Masa y altura de golpeo

IK02 - 0.2 - 0.2kg/100 mm

Ingrese lo siguiente:

Dimensión (D) =	50	x	30	cm
Espesor (t) =	1.5	mm		
Densidad (p) =	2700	kg/m ³		
Módulo de elasticidad (E) =	70	GPa		
Resistencia al impacto =	50	J/m ³		
Resistencia a la tracción (σ _t) =	110	Pa		

Tipo de material: ALUMINIO

Confirmar información

Aceptar

Figura 33. Ingreso de datos del material puesto a prueba.

Fuente: Autor

2. Se muestra la ventana que se ve en la figura 33 donde dicha ventana nos permitirá el acceso a todas las funciones del programa realizado en el software de Matlab.

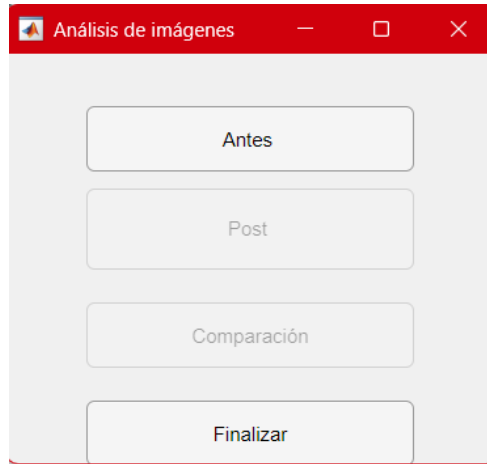


Figura 34. Interfaz principal.

Fuente: Autor

Donde:

- El botón Post se habilita después de capturarse las imágenes del botón Antes que se observa en la figura 32.
- El botón Comparación se habilita después de capturarse las imágenes antes y post impacto.
- Si Seleccionamos la opción "Antes" o "Post" se abrirá la ventana que observamos en la figura 34.

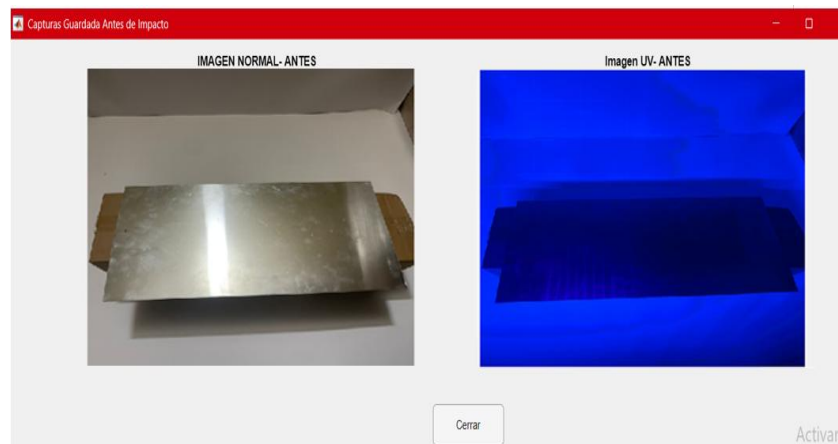


Figura 35. Ventana Antes de impacto.

Fuente: Autor

3. Si se selecciona el botón "Comparación" se abrirá la ventana que se ve en la figura 36.

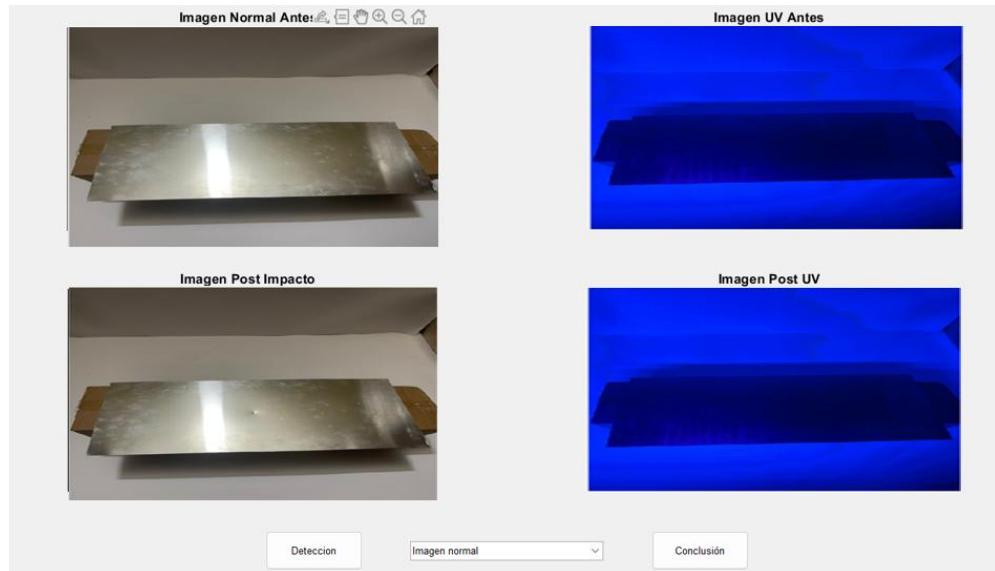


Figura 36. Ventana Comparación.

Fuente: Autor

Donde sí presionamos la opción:

- Detección: Se mostrará una ventana, como se ilustra en la figura 37, en la que será posible visualizar las imágenes con las segmentaciones correspondientes a cada una de ellas. Además, se incluirá una etiqueta que indicará el porcentaje de diferencia entre las imágenes originales y las procesadas con el filtro UV (figura 38).

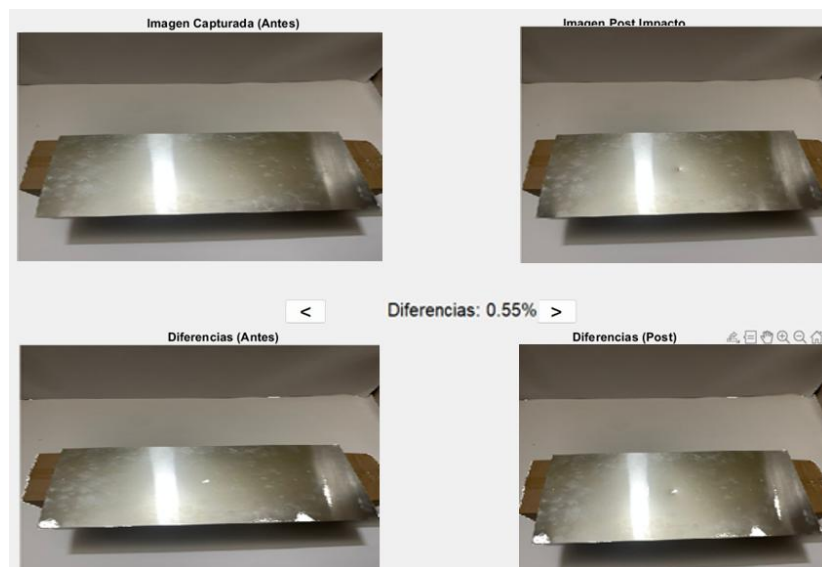


Figura 37. Ventana Detección Normal.

Fuente: Autor

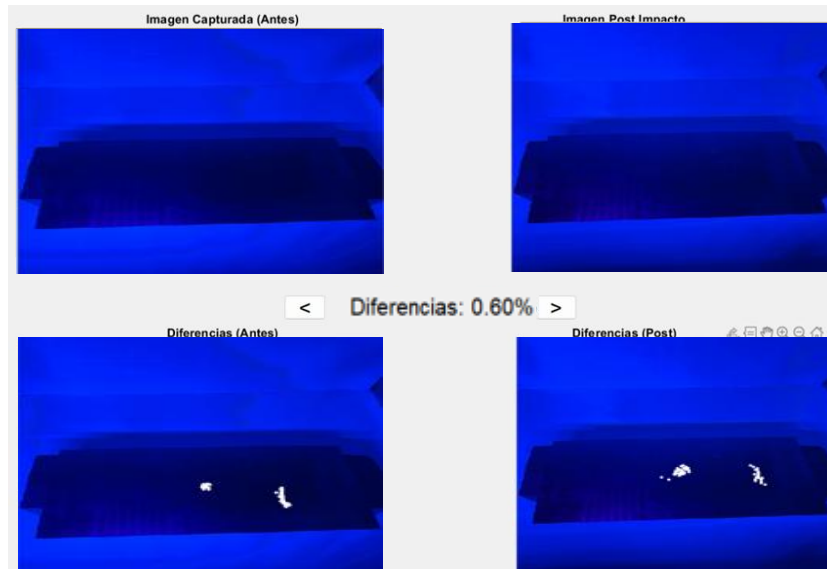


Figura 38. Ventana Detección UV.

Fuente: Autor

- Conclusión: Se mostrará una ventana, como se ilustra en la figura 39, donde se visualizará los cálculos y resoluciones del programa realizados de análisis de imágenes

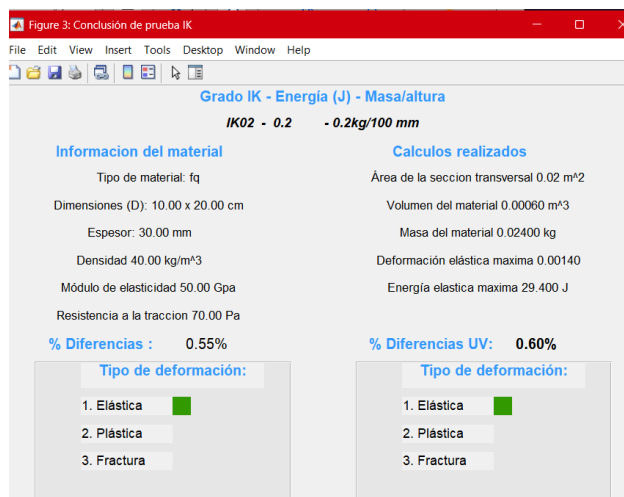


Figura 39. Ventana Conclusión de prueba IK.

Fuente: Autor

Nota: Los valores simulados en el apartado 5.2.2.4 no corresponden a datos reales; únicamente se presentan como un ejemplo para ilustrar el funcionamiento del programa.

5.3 Pruebas y evaluación del sistema de análisis

Este apartado detalla el enfoque metodológico para probar el sistema, los parámetros evaluados y el análisis de los resultados obtenidos. Se incluyen pruebas

con diversos materiales con propiedades heterogéneas, como aluminio, vidrio y acrílico, para garantizar la versatilidad y eficacia del sistema en aplicaciones industriales.

5.3.1 Escenarios de Prueba

Para valorar el desempeño del sistema, se diseñaron diversos escenarios que simulan condiciones reales y controladas:

- **Pruebas en condiciones reales:** Evaluación bajo condiciones de luz variable, superficies con diferentes texturas y materiales con comportamientos heterogéneos ante impactos.
- **Selección de materiales:** En las pruebas, se incluyeron materiales como aluminio, vidrio y acrílico, los cuales fueron seleccionados por sus características distintas y su aplicabilidad en escenarios industriales. Estos materiales permitieron evaluar cómo el sistema responde a diferentes tipos de deformación y fractura bajo condiciones de impacto.

5.3.2 Parámetros de Rendimiento

Durante las pruebas, se midieron y analizaron los siguientes indicadores:

- **Precisión de la detección:** Capacidad para identificar correctamente las áreas de impacto y los parámetros relevantes (profundidad, deformación, etc.).
- **Velocidad de procesamiento:** Tiempo requerido desde la captura de la imagen hasta la entrega de los resultados procesados.
- **Robustez frente a condiciones variables:** Desempeño en situaciones con iluminación deficiente, ruido en las imágenes o materiales complejos.
- **Consistencia de resultados:** Repetibilidad de los análisis frente a impactos similares.
- **Facilidad de integración:** Compatibilidad con el sistema automatizado y su capacidad para operar en tiempo real.

5.3.3 Informe detallado de pruebas IK en materiales

Este apartado proporciona un informe exhaustivo de las pruebas de impacto (IK) realizadas en tres materiales: aluminio, vidrio y acrílico. Cada material se analizó en términos de su resistencia a los impactos bajo diferentes configuraciones experimentales. A continuación, se detalla el procedimiento, los resultados conseguidos y el análisis para cada

uno de los materiales evaluados. Cabe recalcar que se usaron los pesos que se observan en la figura 40.



Figura 40. Peso de 200g y 500g.

Fuente: Autor

5.3.3.1 Procedimiento experimental

Las pruebas IK se realizaron siguiendo el siguiente procedimiento:

1. Selección de muestras: Se utilizó láminas de aluminio, vidrio templado y acrílico.
2. Configuración del sistema:
 - Iluminación constante
 - Cámara de alta resolución para capturar los detalles de los impactos.
 - Software diseñado para la captación de las áreas afectadas.
3. Realización de impactos:
 - Impactos de baja, media y alta intensidad fueron generados mediante un péndulo de impacto.
 - Cada prueba se aplicó tres veces en cada material para garantizar la consistencia de los resultados
4. Evaluación: los datos obtenidos fueron procesados para evaluar la precisión y capacidad del sistema en detectar daños específicos en cada material.

5.3.3.2 Informe Detallado para Pruebas de Impacto IK según IEC 62262

En este apartado se detallará los resultados de las pruebas realizadas en cada uno de los materiales mencionados.

Para los cálculos se emplearon las siguientes formulas:

- Área de la sección transversal del material:

$$A: (\text{largo} \times \text{ancho})m: \text{valor "m}^2\text{"}$$

(Ec.3)

- Volumen del material:

$$V = A \times \text{espesor } (t) = \text{valor "m}^3\text{"} \quad (\text{Ec.4})$$

- Masa del material:

$$m_{\text{material}} = V \times \rho = \text{valor "kg"} \quad (\text{Ec.5})$$

- Deformación elástica máxima

$$(\epsilon_{\text{max}}) = \sigma = E * \epsilon \quad (\text{Ec.6})$$

- Energía elástica máxima

$$E_{\text{elástica}} = \frac{1}{2} \times E \times \epsilon^2 \times V \quad (\text{Ec.7})$$

5.3.3.2.1 Pruebas IK en aluminio

1. Propiedades del material

Tabla 2. Propiedades del aluminio.

Propiedades del aluminio	
Dimensiones	50 x 30 cm
Espesor (t)	1.5 mm
Densidad (ρ)	2700 kg/m ³
Módulo de elasticidad (E)	70 GPa
Resistencia a la tracción (σ _{max})	110 x 10 ⁶ Pa

Fuente: Autor

Nota: Los valores presentados en la Tabla 2 corresponden al aluminio promedio.

Cálculos previos

- Área de la sección transversal del aluminio:

$$A: (0.5 \times 0.3) \text{ m}: 0.15 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec.8})$$

- Volumen del material:

$$V = A \times t = 0.15 \text{ m}^2 \times 1.5 \times 10^{-3} \text{ m} = 2.25 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \quad (\text{Ec.9})$$

- Masa del aluminio:

$$m_{\text{aluminio}} = V \times \rho = 0.000225 \text{ m}^3 \times 2700 \text{ kg/m}^3 = 0.6075 \text{ kg} \quad (\text{Ec.10})$$

- Deformación elástica máxima

$$\epsilon_{\text{max}} = \frac{\sigma}{E} = \frac{110 \times 10^6}{70 \times 10^9} = 1.57 \times 10^{-3} \quad (\text{Ec.11})$$

- Energía elástica máxima del aluminio =

$$E_{\text{elástica}} = \frac{1}{2} * 70 \times 10^9 \times (1.57 \times 10^{-3})^2 \times 2.25 \times 10^{-4} \approx 19.44 \text{ J} \quad (\text{Ec.12})$$

2. Grados IK puesto a prueba el aluminio:

Impacto leve: IK03

Impacto moderado: IK05

Impacto crítico: IK08

Tabla 3. Resultados de las comparaciones del aluminio.

Nivel de impacto	Energía (J)	Límite elástico ($\epsilon_{\text{límite}}$)	Resultado del impacto
IK03(leve)	0.35	19.44 J	Resiste sin deformación permanente
IK05(mediano)	0.7	19.44 J	Deformación elástica visible
IK07(mediano)	2	19.44 J	Deformación elástica visible

Fuente: Autor

El aluminio de 1.5 mm de espesor presenta un excelente comportamiento frente a impactos controlados, siendo capaz de soportar impactos leves equivalentes al grado IK03 sin dificultad. Además, resiste impactos moderados como los de los grados IK05 e IK08, donde únicamente se observan deformaciones elásticas mínimas. Sin embargo, una prueba correspondiente al grado IK10, con una energía de impacto de 20 J, excedería el límite de energía elástica del material, calculado anteriormente en 19.44 J, lo que provocaría deformaciones plásticas permanentes.

A continuación, se detallará el desarrollo y las implementaciones realizadas en el sistema de análisis de imágenes. Se explicará su funcionamiento, los métodos empleados y los resultados obtenidos. Este análisis proporcionará una visión clara de

la distribución del sistema y del comportamiento del aluminio frente a los grados IK evaluados.

- IK03

En la figura 41 presenta una comparación visual del material antes y después del impacto. En esta imagen se resaltan claramente las marcas de las diferencias detectadas en el material tras la prueba de impacto IK03, junto con una etiqueta que indica el porcentaje correspondiente de dichas diferencias.

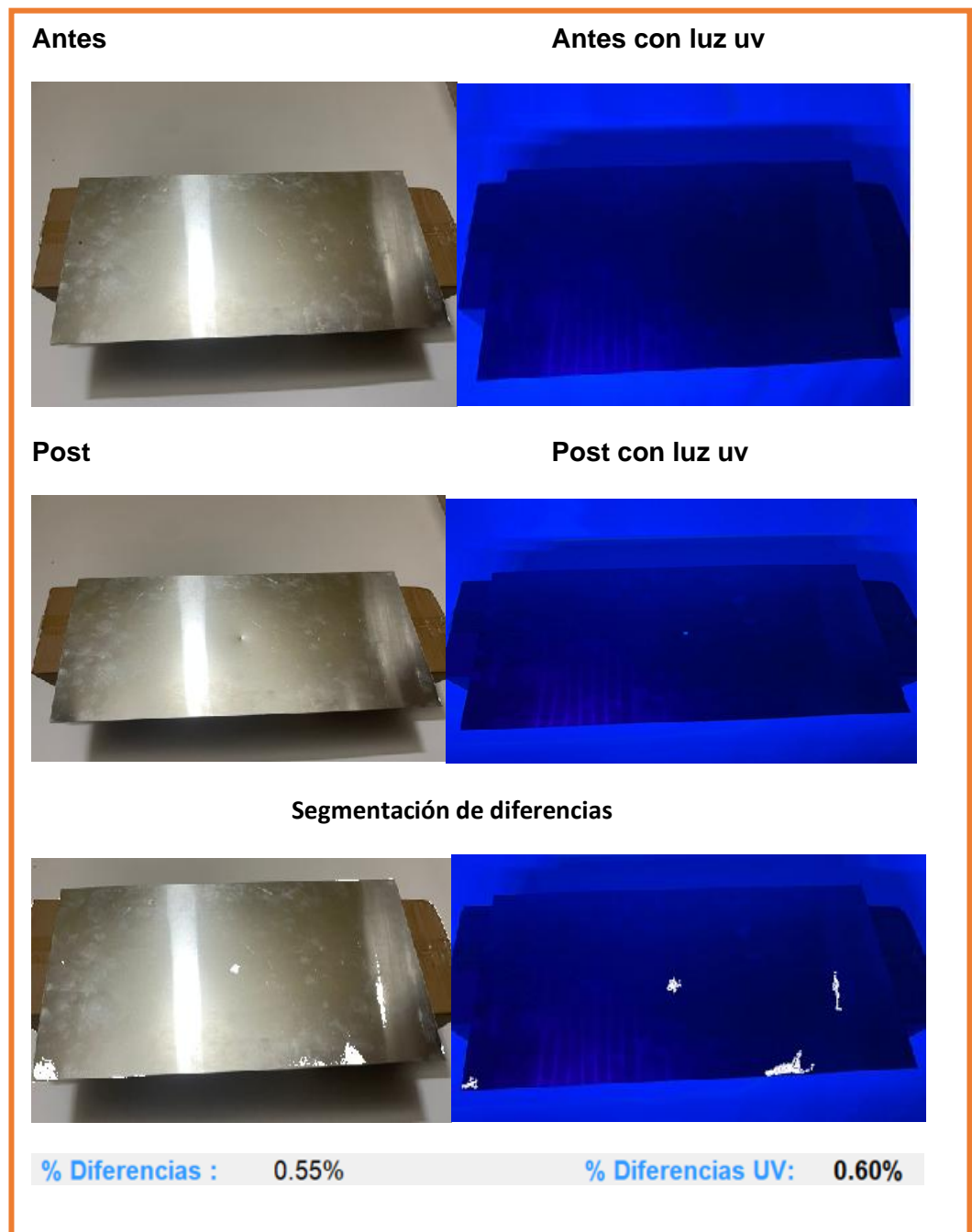


Figura 41. Comparación del aluminio antes y después del impacto IK03 con diferencias resaltadas.

Fuente: Autor

La figura 42 presenta la resolución del material expuesto al grado IK03, obtenida mediante el sistema de análisis de imágenes desarrollado, proporcionando una visión más detallada de los cálculos y funciones implementadas en su diseño.

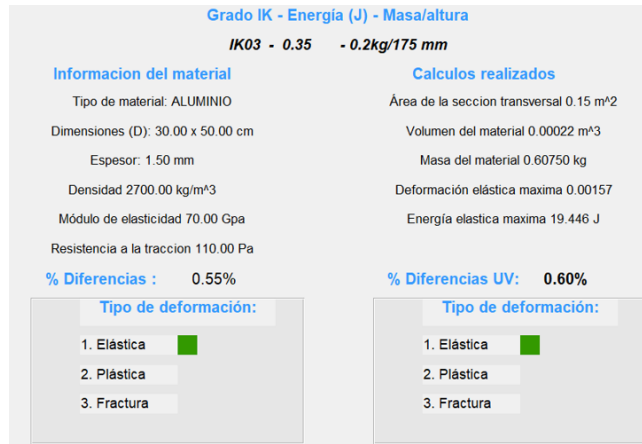


Figura 42. Resultados de prueba IK03 en el aluminio.

Fuente: Autor

- IK05

La figura 43 muestra una comparación visual del material antes y después del impacto. En esta imagen se resaltan claramente las marcas de las diferencias detectadas en el material tras la prueba de impacto IK05, junto con una etiqueta que indica el porcentaje correspondiente de dichas diferencias.

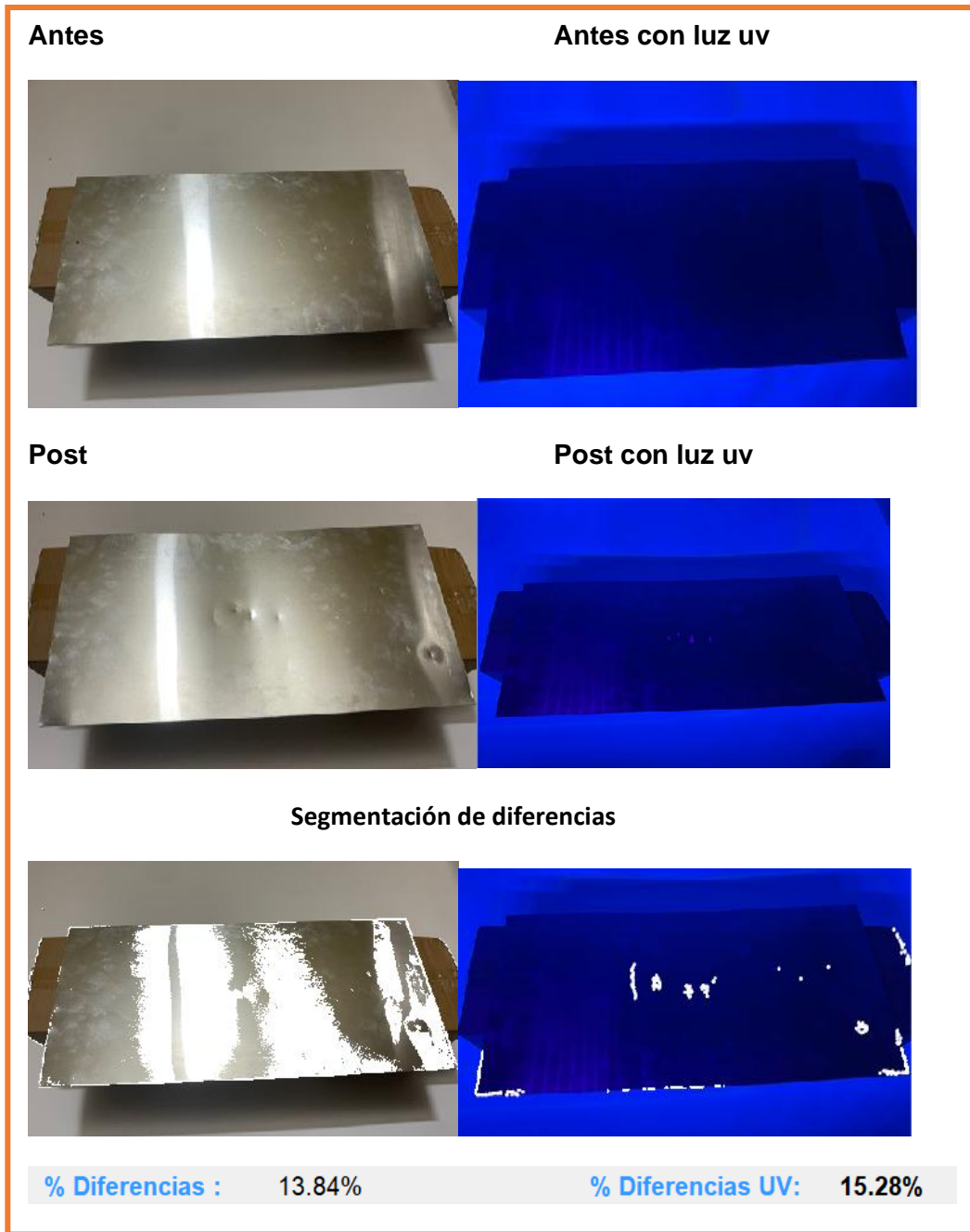


Figura 43. Comparación del aluminio antes y después del impacto IK05 con diferencias resaltadas.

Fuente: Autor

La figura 44 presenta la resolución del material expuesto al grado IK05, obtenida mediante el sistema de análisis de imágenes desarrollado, proporcionando una visión más detallada de los cálculos y funciones implementadas en su diseño.

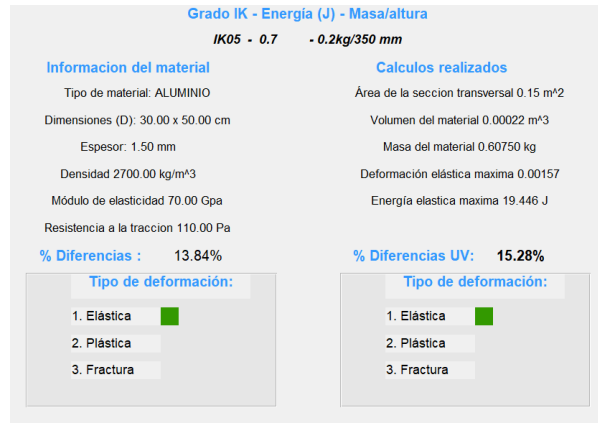


Figura 44. Resultados de prueba IK05 en el aluminio.

Fuente: Autor

- IK07

En la figura 45 se presenta una comparación visual del material antes y después del impacto. En esta imagen se resaltan claramente las marcas de las diferencias detectadas en el material tras la prueba de impacto IK07, junto con una etiqueta que indica el porcentaje correspondiente de dichas diferencias.

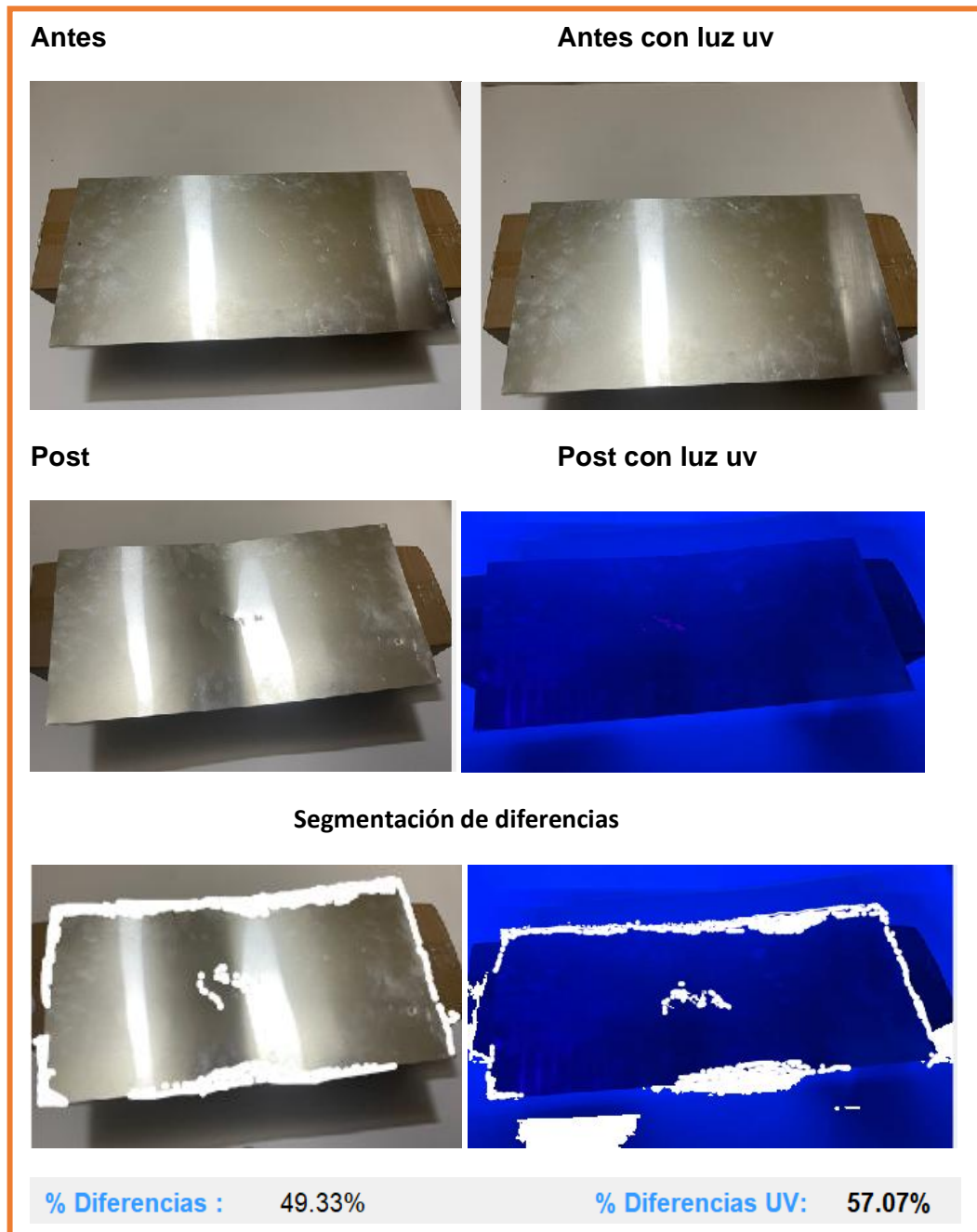


Figura 45. Comparación del aluminio antes y después del impacto IK07 con diferencias resaltadas.

Fuente: Autor

La figura 46 presenta la resolución del material expuesto al grado IK05, obtenida mediante el sistema de análisis de imágenes desarrollado, proporcionando una visión más detallada de los cálculos y funciones implementadas en su diseño.

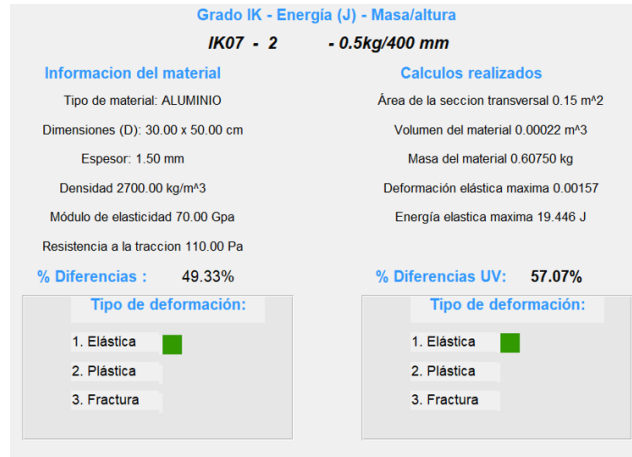


Figura 46. Resultados de prueba IK07 en el aluminio.

Fuente: Autor

5.3.3.2.2 Pruebas IK en vidrio

1. Propiedades del material

Para los cálculos, asumiremos las propiedades promedio del vidrio común:

Tabla 4. Propiedades del vidrio.

Propiedades del vidrio	
Dimensiones	50 x 35 cm
Espesor (t)	2 mm
Densidad (p)	2500 kg/m ³
Módulo de elasticidad (E)	70 Gpa
Resistencia a la tracción (σ_{max})	40x 10 ⁶ Pa

Fuente: Autor

Nota: Los valores presentados en la Tabla 4 corresponden al vidrio promedio.

Cálculos previos

- Áreas y volumen del vidrio

$$A = 50 \text{ cm} \times 35 \text{ cm} = 0.175 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec.13})$$

$$V = 0.175 \text{ m}^2 \times 0.002 \text{ m} = 0.00035 \text{ m}^3 \quad (\text{Ec.14})$$

- Masa del vidrio:

$$m_{\text{vidrio}} = 0.00035 \text{ m}^3 \times 2.500 \text{ kg/m}^3 = 0.875 \text{ kg} \quad (\text{Ec.15})$$

- Deformación elástica máxima:

$$\epsilon_{\text{max}} = \frac{\sigma}{E} = \frac{40 \times 10^6}{70 \times 10^9} = 5.71 \times 10^{-4} \quad (\text{Ec.16})$$

- Energía máxima que el vidrio puede soportar sin fracturarse se calcula:

$$E_{\text{elástica}} = \frac{1}{2} * 70 \times 10^9 * (5.71 \times 10^{-4})^2 * 0.00035 = 3.99 \text{ J} \quad (\text{Ec.17})$$

2. Grados IK puesto a prueba el vidrio:

Impacto leve: IK03

Impacto moderado: IK05

Impacto critico: IK08

Tabla 5. Resultados de las comparaciones del vidrio.

Nivel de impacto	Energía de impacto (J)	Energía elástica ($E_{\text{elástica}}$)	Resultados del impacto
IK03(leve)	0.35	4 J	Fractura total
IK05(critico)	0.7	4 J	Fractura total
IK07(critico)	2	4 J	Fractura total

Fuente: Autor

La ruptura del vidrio al someterse al grado IK03 se debe a que la energía aplicada por el impacto excedió la energía elástica máxima que el vidrio podía soportar. Aunque la energía de impacto es menor a la energía elástica máxima del vidrio calculada anteriormente (4 J), hay otros factores que explican la ruptura.

1. Distribución de la energía: la energía no se distribuye uniformemente en toda el área del vidrio (50 cm x 35 cm), se concentra en el punto de impacto generando tensiones localizadas mucho mayores.
2. Fragilidad del vidrio: el vidrio es frágil y tiene una resistencia baja a impacto concentrados, aunque soporta esfuerzos distribuidos, no puede manejar tensiones puntuales.
3. Deformación límite alcanzada: la deformación máxima que se calculó (0.000571) pudo haber sido superada localmente, iniciando grietas que llevaron posteriormente a la fractura.

En conclusión, el vidrio estándar de 2 mm de grosor demuestra ser extremadamente vulnerable cuando se somete a pruebas de impacto a partir del nivel IK03 y superiores. Este tipo de vidrio, al ser un material frágil con baja tolerancia a impactos localizados, no está diseñado para resistir fuerzas generadas por caídas o golpes concentrados. Las tensiones que se generan en estas condiciones superan rápidamente su capacidad de deformación elástica, provocando la aparición de grietas que llevan a su fractura. Esto subraya la necesidad de utilizar vidrios más resistentes, como vidrio templado o laminado, en aplicaciones donde los impactos o las cargas dinámicas sean frecuentes o inevitables.

A continuación, se detallará el desarrollo y las implementaciones realizadas en el sistema de análisis de imágenes. Se explicará su funcionamiento, los métodos empleados y los resultados obtenidos. Este análisis proporcionará una perspectiva clara de la estructura del sistema y del comportamiento del aluminio frente a los grados IK evaluados

- IK03

En la figura 47 se presenta una comparación visual del vidrio antes y después del impacto. En esta imagen se resaltan claramente las marcas de las diferencias detectadas en el material tras la prueba de impacto IK03, junto con una etiqueta que indica el porcentaje correspondiente de dichas diferencias.

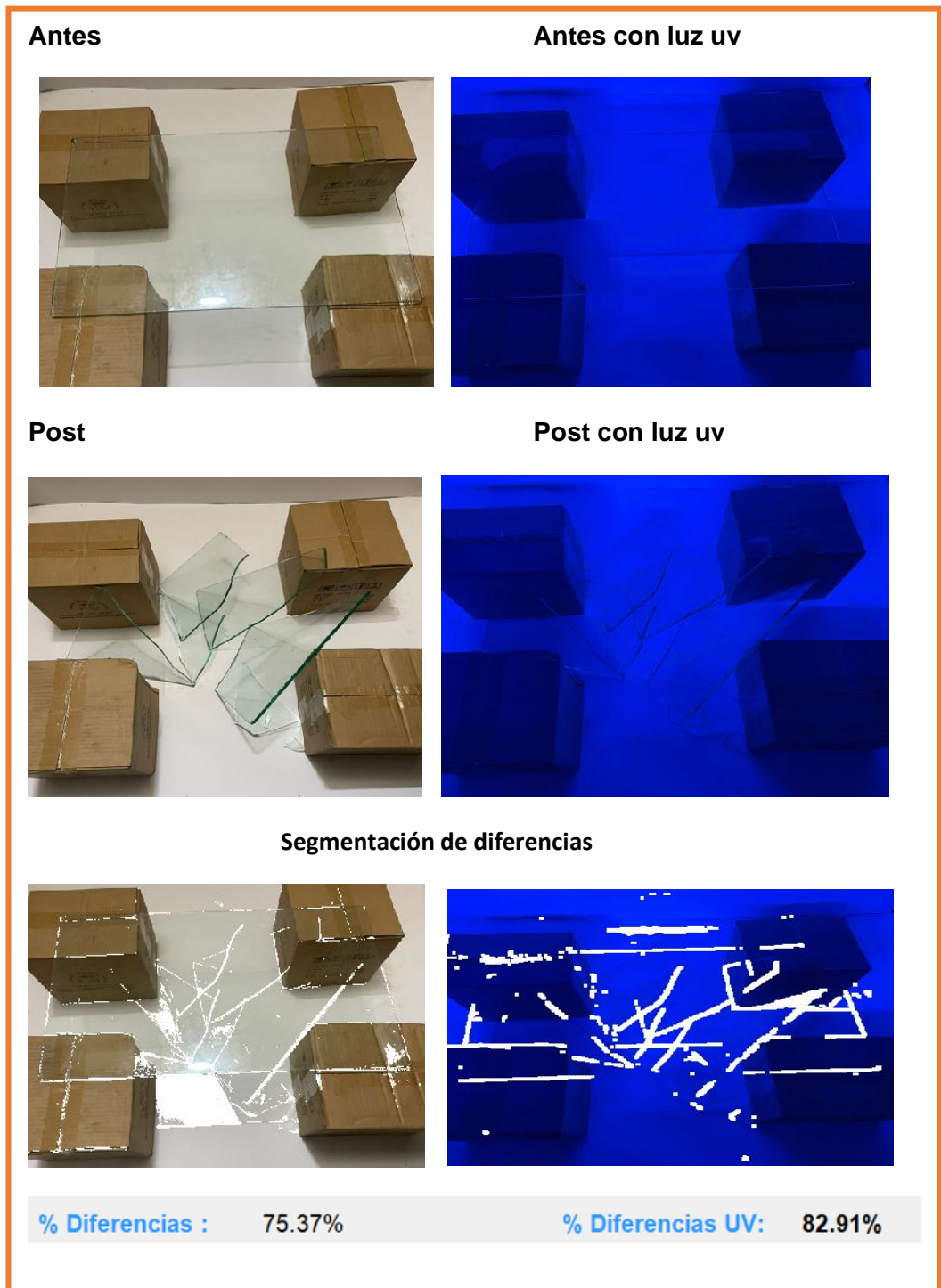


Figura 47. Comparación del vidrio antes y después del impacto IK03 con diferencias resaltadas.

Fuente: Autor

La figura 48 presenta la resolución del material expuesto al grado IK03, obtenida mediante el sistema de análisis de imágenes desarrollado, proporcionando una visión más detallada de los cálculos y funciones implementadas en su diseño.

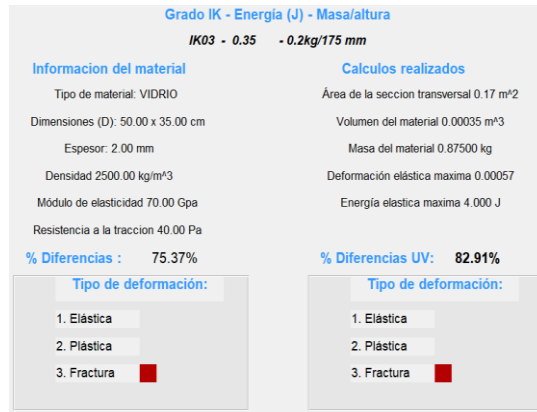


Figura 48. Resultados de prueba IK07 en el vidrio.

Fuente: Autor

5.3.3.2.3 Pruebas IK en acrílico de 1.5mm

1. Propiedades del material

Para los cálculos, asumiremos las propiedades promedio del acrílico común:

Tabla 6. Propiedades del acrílico.

Propiedades del acrílico	
Dimensiones	60x 50 cm
Espesor (t)	1.5 mm
Densidad (ρ)	1180 kg/m ³
Módulo de elasticidad (E)	3.2 Gpa
Resistencia a la tracción (σ _{max})	70x 10 ⁶ Pa

Fuente: Autor

2. Cálculos previos

- Áreas y volumen del acrílico

$$A = 50 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} = 0.30 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec.18})$$

$$V = 0.30 \text{ m}^2 \times 0.0015 \text{ m} = 0.00045 \text{ m}^3 \quad (\text{Ec.19})$$

- Masa del acrílico:

$$m_{\text{acrílico}} = 0.00045 \text{ m}^3 \times 1180 \text{ kg/m}^3 = 0.531 \text{ kg} \quad (\text{Ec.20})$$

- Deformación elástica máxima:

$$\epsilon_{max} = \frac{\sigma}{E} = \frac{70 \times 10^6}{3.2 \times 10^9} = 0.0218 \quad (\text{Ec.21})$$

- Energía máxima que el acrílico puede soportar sin fracturarse se calcula:

$$E_{elástica} = \frac{1}{2} * (3.2 * 10^9) * (0.0218)^2 * 0.00045 = 0.345 \text{ J} \quad (\text{Ec.22})$$

3. Grados IK puesto a prueba el acrílico:

Impacto leve: IK03

Impacto moderado: IK05

Impacto crítico: IK08

Tabla 7. Resultados de las comparaciones del acrílico

Nivel de impacto	Energía de impacto (J)	Energía elástica ($\epsilon_{elástica}$)	Resultados del impacto
IK03(leve)	0.35	0.3445J	Resiste sin deformación permanente
IK05(mediano)	0.7	0.3445 J	Fractura controlada o deformación plástica
IK07(crítico)	2	0.3455 J	Fractura completa

Fuente: Autor

El acrílico de 1.5 mm de espesor puede resistir impactos leves, como los de la clasificación IK03, pero ya muestra fisuras o daños al someterse a estos impactos. No es capaz de soportar impactos de mayor intensidad, como los clasificados como IK05 o IK08, sin que se produzca una fractura. Por lo tanto, para aplicaciones que requieran una mayor resistencia al impacto, es necesario incrementar el espesor del acrílico o incorporar refuerzos adicionales que mejoren su capacidad para resistir golpes más fuertes sin comprometer su integridad.

Cuando se somete el acrílico a pruebas de mayor magnitud, como los impactos más intensos de la clasificación IK, los resultados serían inevitablemente fracturas. Esto demuestra que el acrílico de 1.5mm no es adecuado para soportar impactos de niveles superiores al IK03. En consecuencia, no pasa la prueba IK03 de manera satisfactoria para aplicaciones que requieren resistencia a impactos de mayor severidad.

A continuación, se detallará el desarrollo y las implementaciones realizadas en el sistema de análisis de imágenes. Se explicará su funcionamiento, los métodos empleados y los resultados obtenidos. Este análisis proporcionará una visión clara de

la composición del sistema y del comportamiento del aluminio frente a los grados IK evaluados

- IK03

En la figura 49 se presenta una comparación visual del acrílico antes y después del impacto. En esta imagen se resaltan claramente las marcas de las diferencias detectadas en el material tras la prueba de impacto IK03, junto con una etiqueta que indica el porcentaje correspondiente de dichas diferencias.

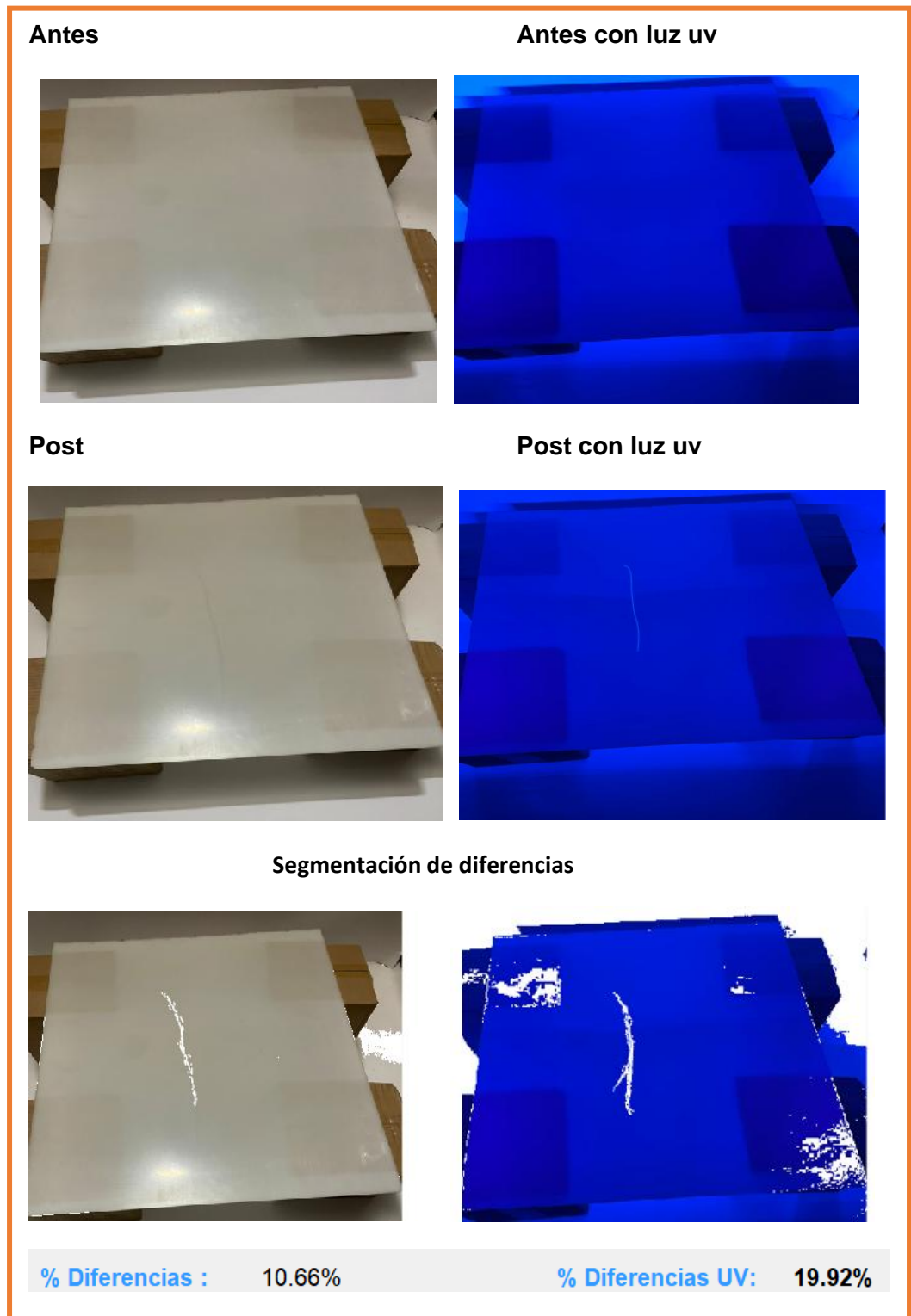


Figura 49. Comparación del acrílico antes y después del impacto IK03 con diferencias resaltadas.

Fuente: Autor

La figura 50 presenta la resolución del material expuesto al grado IK03, obtenida mediante el sistema de análisis de imágenes desarrollado, proporcionando una visión más detallada de los cálculos y funciones implementadas en su diseño.

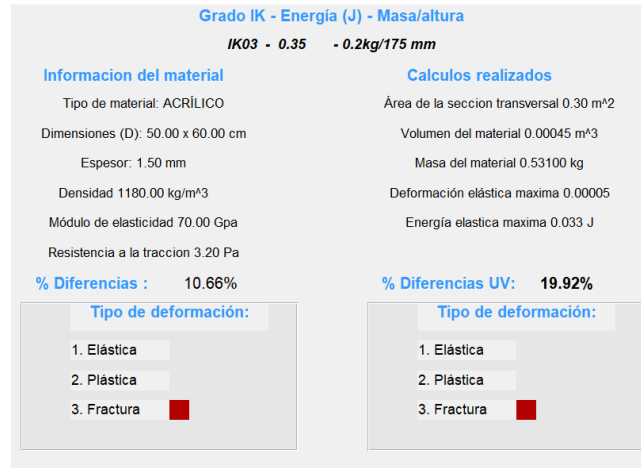


Figura 50. Resultados de prueba IK07 en el acrílico.

Fuente: Autor

5.3.3.3 Resultados y análisis

Los resultados conseguidos de los ensayos fueron analizados en función de los objetivos del sistema:

Para obtener una visión más completa, se realizaron pruebas de impacto (IK) con materiales como aluminio, vidrio y acrílico. Se evaluaron las respuestas del sistema en términos de precisión en la detección de daños y deformaciones, así como en la capacidad para manejar materiales con características físicas tan disímiles.

- **Aluminio:** es un material versátil y considerablemente utilizado en diversas industrias debido a su combinación de propiedades únicas. Su baja densidad lo convierte en una opción ligera pero estructuralmente eficiente, ideal para aplicaciones que requieren reducir el peso sin comprometer la resistencia. Además, su alta resistencia a la corrosión gracias a la formación natural de una capa de óxido lo hace adecuado para ambientes adversos y exteriores.
- **Vidrio:** presenta una baja resistencia a los impactos, especialmente en espesores delgados como 2 mm. Esto se debe a su estructura interna amorfa, que lo hace frágil y propenso a fracturas ante cargas concentradas o golpes. Por ejemplo, pruebas de impacto como la clasificación IK03, que representan impactos leves, pueden generar fisuras o romper completamente una lámina de vidrio en estas condiciones. Su módulo de elasticidad alto (70GPa) le permite soportar cierta deformación elástica,

pero su límite de resistencia es bajo, lo que resulta en una falla catastrófica cuando se excede la energía máxima que puede absorber.

- **Acrílico:** es un material versátil, estéticamente atractivo y económico, ideal para aplicaciones que no exigen resistencia extrema al impacto. Sin embargo, su fragilidad relativa y limitaciones mecánicas deben tenerse en cuenta al seleccionarlo para proyectos que impliquen cargas, choques o condiciones severas. La evaluación cuidadosa de las condiciones de uso es esencial para garantizar su rendimiento adecuado y evitar fallos estructurales.

6 CONCLUSIONES

Se desarrollo y optimizó un modelo funcional en SolidWorks, inspirado en el probador de impacto Ik de Lisun Group, descrito en el artículo relacionado con la normativa IEC 62262 (LISUN, 2022). El diseño propuesto introduce mejores claves en comparación al sistema original, incorporando componentes avanzados de control, mecánicos y electrónicos. Además, integra un sistema de análisis de imágenes que aumenta la precisión y eficacia en la apreciación de las luminarias sometidas a las pruebas de impacto, garantizando el cumplimiento total de los estándares internacionales.

Durante el desarrollo del proyecto, se profundizó en el estudio y comprensión de las normativas internacionales relacionadas con las pruebas de impacto en luminarias, especialmente la norma IEC 62262, que establece los requisitos para la protección contra impactos mecánicos (índice de protección IK). Esta norma proporciona las directrices para clasificar la resistencia de diferentes luminarias a impacto de diferentes niveles, utilizando el sistema de código IK que va desde el IK00 hasta el IK10. El conocimiento de esta normativa fue fundamental para garantizar que el diseño del prototipo y los procedimientos analíticos cumplieran con los estándares establecidos asegurando que las pruebas realizadas en el sistema sean coherentes y precisos. Este enfoque respaldó la relevancia y aplicabilidad del sistema automatizado para pruebas de impacto, ya que se alineó con los principios y valores de calidad definidos en la IEC 62262, promoviendo la fiabilidad y seguridad de las luminarias evaluadas.

El sistema de análisis de imágenes fue programado en el software MATLAB, con el objetivo de cumplir con la normativa IEC62262. El programa se diseñó para realizar captura y procesamiento de imágenes en tiempo real, lo que permitió identificar fisuras, daños o deformaciones en los materiales sometidos a las pruebas de índice de protección mecánica (IK). Los resultados obtenidos demostraron la exactitud y efectividad del sistema propuesto para evaluar la resistencia y durabilidad de las luminarias después de los impactos, garantizando el cumplimiento de los estándares internacionales.

Este proyecto representa un avance significativo en la automatización de procesos dentro de la industria de luminarias. El diseño y simulación realizados demuestran que es posible optimizar el proceso de evaluación, reduciendo tiempos y aumentando la precisión, lo que podría beneficiar a la industria al garantizar productos más resistentes y duraderos.

7 RECOMENDACIONES

Además del sistema de análisis de imágenes, podría ser útil integrar otros sensores como acelerómetros, sensores de presión o deformación para medir de manera más precisa el impacto y las fuerzas aplicadas a las luminarias. Esto podría proporcionar datos adicionales para mejorar la evaluación de la resistencia y durabilidad de los materiales.

Se podría considerar la posibilidad de integrar aprendizaje automático para mejorar la detección de fisuras, deformaciones o daños en las luminarias.

Además de realizar las pruebas de impacto, sería valioso incluir un análisis de la durabilidad a largo plazo de las luminarias, simulando su exposición a condiciones ambientales extremas (como cambios de temperatura, humedad o exposición a la intemperie) para evaluar su comportamiento a lo largo del tiempo.

Realizar pruebas con diferentes tipos de luminarias en términos de materiales, tamaños y configuraciones. Esto permitiría asegurarse de que el sistema de prueba automatizado sea aplicable a una amplia gama de productos, lo cual ampliaría su utilidad en la industria.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Allen, C., & Blists Hill, V. T. (20 de 08 de 2017). Obtenido de [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blists_Hill_Victorian_Town_-_Izod_impact_tester_\(geograph_5508952\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blists_Hill_Victorian_Town_-_Izod_impact_tester_(geograph_5508952).jpg)
- Años luz. (2020). Obtenido de <https://xn--aosluz-wwa.com.ar/grados-de-proteccion-ip/>
- Argüello, F. (21 de 02 de 2023). *infoteknico*. Obtenido de Grados IK o Clasificación IK: <https://www.infoteknico.com/grados-ik/>
- Changzhou Hejie Motors. (2024). Obtenido de https://www.alibaba.com/product-detail/Nema-34-Stepper-Motor-8-7Nm_1600511202625.html?spm=a2700.galleryofferlist.topad_classic.d_title.314813a0uRHR_e4
- Chapman, S. J. (s.f.). *Máquina Eléctricas*. Colombia: Mc Graw Hill.
- Chiminelli, A., & Gemma, I. (1 de 07 de 2020). *ITA*. Obtenido de <https://www.ita.es/blog/deteccion-de-fisuras-y-microgrietas-en-materiales-polimericos/#:~:text=Con%20la%20aplicaci%C3%B3n%20de%20una,ser%C3%ADan%20invisibles%20a%20la%20vista>.
- Commission, I. E. (2002). *Degrees of protection provided by enclosures for electrical*.
- Cuauhtli, D., & Sánchez, F. (2009). *Estudio del ajuste y operación de la aplicación del relevador SEL-300G Aplicado a un generador síncrono*. Mexico D.F.: s.e.
- Direct Industry*. (n.d). Obtenido de <https://www.directindustry.es/prod/jinan-hensgrand-instrument-co-ltd/product-197061-1976465.html>
- DM Desarrollos*. (n.d). Obtenido de <https://dmdesarrollos.com/producto/carcasa-luminaria-led/>
- Eligenio. (n.d). *Eligenio*. Obtenido de <https://eligenio.com/es/glosario/luminaria/>
- EUROFINS. (2022). *Impact Protection (IK)*. Obtenido de <https://nemko.co.uk/testing/ik-impact-protection-62262/>
- EUROLAB. (2018). *EUROLAB LABORATORY SERVICES*. Obtenido de PRUEBAS DE PROTECCIÓN CONTRA IMPACTOS IK: <https://www.eurolab.com.tr/es/testler/elektriksel-guvenlik-testleri/ik-darbe-koruma-testleri>
- Giraldo, A. M. (2019). *vcp ecolighting*. Obtenido de <https://vcpecolighting.com/sabes-que-es-el-indice-de-proteccion-ik/>
- Grainger, J., & Stevenson, W. (2001). *Analisis de sistemas de potencia*. Mexico: McGRAW-HILL.
- Hidromaronline*. (n.d). Obtenido de <https://hidromaronline.com/producto/proyector-qp-junta-lampara/>

- IEC. (12 de 02 de 2002). *Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code)*. Obtenido de <https://webstore.iec.ch/en/publication/6673>
- IEC. (2015). *IEC 60598-1:2014. Luminaires - Part 1: General requirements and tests (5th ed.)*. International Electrotechnical Commission. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://webstore.iec.ch/preview/info_iec60598-1%7Bed9.0%7Den.pdf
- Ineltec. (10 de 6 de 2022). *Sabes qué es el Código IK? (IEC 62262 y IEC 60068-2-75)*. Obtenido de Ineltec: <https://www.ineltec.es/noticias/normativa/sabes-que-es-el-codigo-ik-iec-62262-y-iec-60068-2-75>
- INNOVATION, O. S. (2022). Obtenido de <https://optimusaudio.com/es/codigos>
- INNOVATION, O. S. (2022). Obtenido de <https://optimusaudio.com/es/codigos>
- INNOVATION, O. S. (n.d). *OPTIMUS SOUND INNOVATION*. Obtenido de <https://optimusaudio.com/es/codigos#:~:text=C%C3%B3digos%20IK,o%20equipos%20en%20osu%20interior.>
- INTERELECTRONIX. (n.d). Obtenido de <https://www.interelectronix.com/es/que-es-la-norma-en-50102.html>
- INTERELECTRONIX. (n.d). Obtenido de <https://www.interelectronix.com/es/que-es-la-norma-en-50102.html>
- INTERELECTRONIX. (n.d). Obtenido de <https://www.interelectronix.com/es/en-60068-2-75-prueba-de-martillo.html#:~:text=Qu%C3%A9%20es%20la%20norma%20EN%2FIEC%2060068%2D2%2D75&text=Se%20utiliza%20para%20demostrar%20la,una%20energ%C3%ADa%20de%20impacto%20definida.>
- Jaramillo, A., Ramos, O., & Jimenez, R. (11 de 2014). Inspección de calidad para un sistema de producción industrial basado en el procesamiento de imágenes. *Tecnura*, 18.
- Kepler, H. (26 de 03 de 2023). *inlinkedin*. Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/la-importancia-del-desarrollo-de-software-para-en-huaynate-gamarra>
- KEYENCE. (n.d). Obtenido de <https://www.keyence.com.mx/ss/products/microscope/measurement-solutions/charpy-impact-test.jsp#:~:text=Las%20pruebas%20de%20impacto%20son,se%20someten%20a%20un%20impacto.>
- Komvopoulos, K. (2021). *MECHANICAL TESTING OF ENGINEERING MATERIALS*. University of California—Berkeley. Cognella Academic Publishing. Obtenido de (cognella-titles-sneakpreviews.s3.amazonaws.com)

- LEDBOX. (n.d). Obtenido de <https://www.ledbox.es/campanas-led-industriales/reflector-aluminio-60-para-lampara-industrial-130mm>
- LIFASA. (n.d). Obtenido de <https://lifasa.com/producto/condensadores-de-iluminacion/>
- LISUN. (09 de 02 de 2012). *IK Testing for LED luminaires according to IEC 62262: 2002*. Obtenido de <https://blog.lisungroup.com/ik-testing-for-led-luminaires-according-to-iec-62262-2002/>
- LISUN. (12 de 11 de 2022). *IK code: Impact protection in line with the IEC62262 standard*. Obtenido de <https://www.lisungroup.com/news/technology-news/ik-code-impact-protection-in-line-with-the-iec62262-standard.html>
- LIU, Y., & FAN, J. (2021). Revisión y perspectiva de la detección de grietas en la superficie de la estructura basada en imágenes digitales. *ResearchGate*, 54(6):79-98.
- M. Polo, P. R. (febrero de 2013). Automatización de pruebas. *IEEE Software*, 84-89. doi: 10.1109/MS.2013.15
- Minero, R. (2010). *PRUEBAS EN MAQUINAS SINCRONAS CONFORME A LA NORMA IEC 34 Y LA IEEE STD. 115*. Costa Rica: s.e.
- MKT DIGITAL. (21 de 01 de 2022). *LUMMI*. Obtenido de <https://www.lummi.com.mx/blogs/noticias/que-es-una-luminaria-y-como-se-clasifica>
- Moya, R. (1990). *Curso de capacitación para operadores Central Paute Fase AB Generador Principal*. Cuenca: DONSI-INECEL.
- Niebla , E., Pazmiño , E., & Leon, L. (2 de 07 de 2010). *slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/slideshow/02-filtro-ptico/4670558#29>
- OPCC. (n.d). Obtenido de <https://opcc.cl/lamparas%20y%20luminarias.html>
- PASTORUTTI NEORED. (n.d). Obtenido de https://shop.pastorutti.com/apliques/4219-porta_lampara_san_justo_fijacion_escuadra_e_27.html
- POLINTER. (n.d). Obtenido de <https://polinter.com/difusores-para-iluminacion/>
- Polo, M., Reales, P., Piattini, M., & Ebert, C. (2013). Automatización de pruebas. *30(1)*, 84-89. doi: 10.1109/MS.2013.15
- Shenzhen Kaliou Industrial. (2024). Obtenido de https://www.alibaba.com/product-detail/KALIYOU-7-inch-11-inch-20_1600548070345.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.5a8913a08HIXb3
- sincables. (2023). *Memoria Micro SD con adaptador SD* . Obtenido de <https://www.sincables.com.ec/product/kingston-sdcs2-128gb-micro-sd-con-adaptador-sd-de-128gb/>
- Smith, J. (2019). *Control Systems Engineering*. McGraw-Hill Education.

Smith, J. D., & Johnson, A. (2019). Automation in Industrial Testing: Advantages and Challenges. *Industrial Engineering*. 25(3), 45-56.

T.E.M. (08 de 09 de 2020). Obtenido de <https://www.tme.eu/es/news/library-articles/page/41861/Motor-paso-a-paso-tipos-y-ejemplos-del-uso-de-motores-paso-a-paso/#:~:text=El%20motor%20paso%20a%20paso,eje%20cada%201%2C8%2%B0>.

Tabernero, V. (24 de 05 de 2010). *wordpress*. Obtenido de <https://victortabernero.wordpress.com/2010/05/24/filtros-guardianes-de-la-luz/>

Vanli, O., & Castillo, E. (2021). Control estadístico de procesos en fabricación. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-44184-5_258

WIKIPEDIA. (n.d). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Balasto_el%C3%A9ctrico

ZGSM. (2023). *Clasificación IK: factor importante de la iluminación LED*. Obtenido de <https://es.zgsm-china.com/blog/ik-rating-important-factor-of-led-light.html>

Zwick Roell. (n.d). Obtenido de <https://www.zwickroell.com/es/sectores/plasticos/termoplasticos-y-materiales-termoendurecibles/resistencia-al-impacto-izod-segun-iso-180/#:~:text=Los%20ensayos%20de%20impacto%20que,x%204%20x%2080%20mm>.

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Elian Marcel Cuenca Romero portador(a) de la cédula de ciudadanía N.º 0706942778. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del proyecto de titulación “PRUEBA AUTOMATIZADA DE IMPACTO (IK) DE LUMINARIAS” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de este proyecto de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 6 marzo del 2025



F:

ELIAN MARCEL CUENCA ROMERO

C.I. 0706942778