

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Trabajo de unidad de integración curricular, previo a la obtención del

Título de Ingeniero Mecatrónico

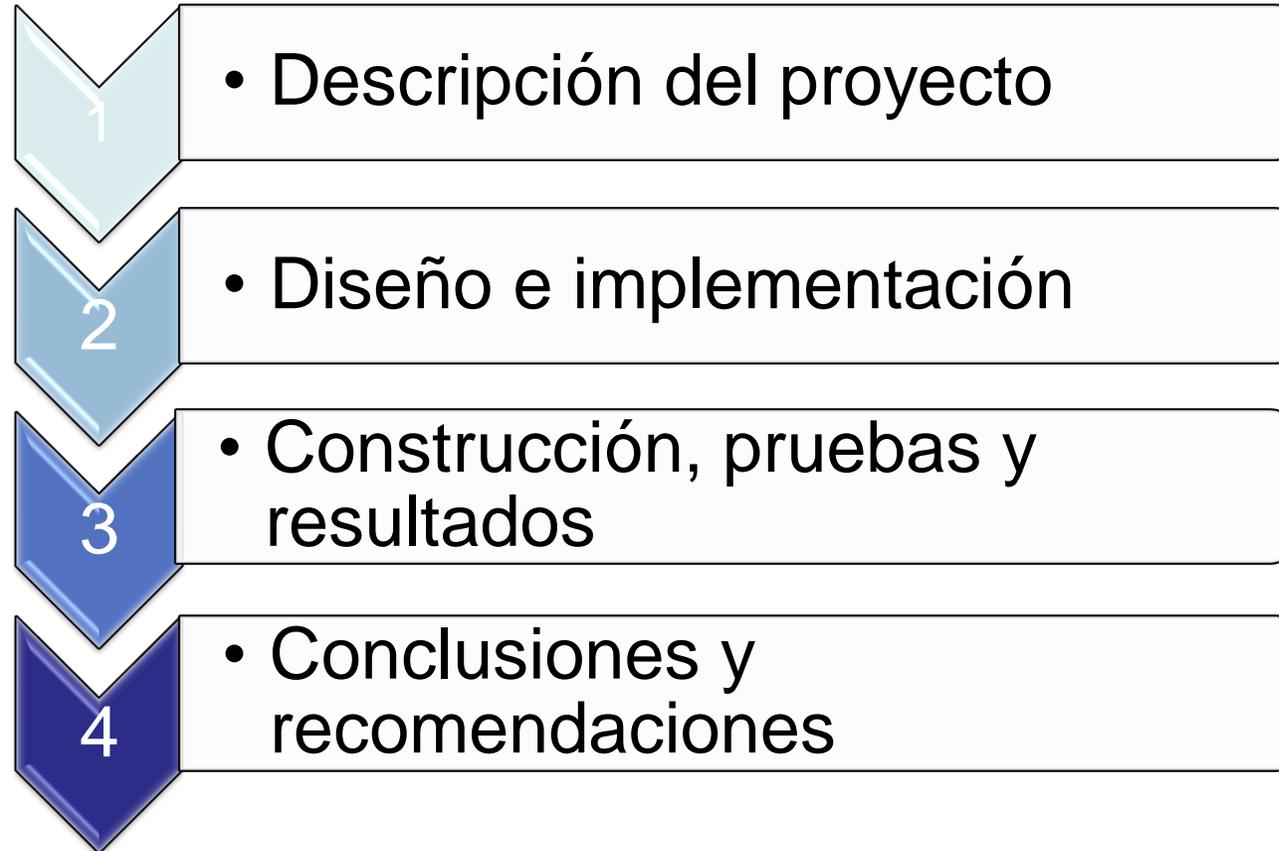
“Diseño, construcción e implementación de un sistema mecatrónico de marcado para la verificación del estado del cuero a través de visión artificial utilizando software libre en la empresa FAME S.A. ubicada en el cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.”

Autores: Amores Herrera Karen Mishell e Ilbay Rodríguez, Danilo

Director: Ing. Caizalitín Quinaluisa, Edwin Alejandro.

Latacunga, 2024





PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- 1.1 • Antecedentes
- 1.2 • Formulación del problema
- 1.3 • Objetivos
- 1.4 • Justificación e importancia



<p> FAME INDUSTRIA DE LA SEGURIDAD Y DEFENSA NACIONAL</p> <p>Sangolquí, 12 de julio de 2023</p> <p>FAME-2023-OF-GG-0089 ASUNTO: Atención a los proyectos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE -sede Latacunga</p> <p>Señor Tcrn. de E.M.S. Milbert Beltrán S. DIRECTOR DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE, SEDE LATACUNGA.</p> <p>Señor Ingeniero Dario Mendoza DIRECTOR DE CARRERA MECATRONICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE, SEDE LATACUNGA Presente. --</p> <p>De mi consideración:</p> <p>Por medio de la presente extiendo un cordial saludo de estima y consideración; en referencia al Correo de fecha 10 de julio del 2023, emitido por el Señor Ing. Edwin Alejandro Caizalitin Quinaluisa M. Sc., al respecto me permito indicar lo siguiente:</p> <p>FAME es una empresa legalmente constituida como Sociedad Anónima; su paquete accionario de 100% pertenece al Instituto de Seguridad Social de las Fuerzas Armadas, por ende, la empresa mantiene una estructura Jerárquica Administrativa, establecida en el artículo séptimo de los estatutos de la empresa.</p> <p>Para poder suscribir convenios entre instituciones Públicas o Privadas es necesario la aprobación del Directorio de FAME S.A. conforme lo determina el artículo vigésimo tercero literal i) "(...) ATRIBUCIONES DE DIRECTORIO i) autorizar la realización de alianzas estratégicas con otras empresas u organismos (...)"</p> <p>Con fecha 31 de enero del 2023 se suscribió una carta compromiso con la finalidad de establecer una colaboración entre FAME S.A. y la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, para que los estudiantes realicen proyectos de titulación, mediante la suscripción de convenios.</p> <p>Por esta razón este tipo de actos hay que elevar a conocimiento del Directorio para su aprobación más aún que dentro de estos proyectos la empresa debe asumir y asignar presupuesto a los estudiantes, para el desarrollo de los proyectos de titulación.</p> <p>Durante el presente año 2023, el Presidente de Directorio fue remplazado por más de dos ocasiones, y en la actualidad el nuevo presidente de Directorio el señor GRAB. Edwin Fernando Adatty Albuja, por motivos de trabajo no ha podido ser posesionado como tal, sin que se pueda concretar un documento formal con la autorización al señor Gerente para suscribir convenios o alianzas con otras entidades.</p> <p>Av. General Rumiñahui, Sangolquí 171103, junto a la ESPE +5932332052 sgerencia@fame.ec www.fame.ec</p> <p>1 de 2</p>	<p> FAME INDUSTRIA DE LA SEGURIDAD Y DEFENSA NACIONAL</p> <p>Por lo expuesto señor Director Tcrn. Milbert Damian Beltrán, al no tener autorización expresa por parte del Directorio de FAME S.A., para la asignación de recursos, se ha imposibilitado ejecutar la entrega de estos, para los proyectos de titulación.</p> <p>Particular que pongo en su conocimiento para los fines consiguientes.</p> <p>Anticipo mi agradecimiento por la atención que se sirva dar a la presente.</p> <p>Atentamente,</p> <p> TCRN. (sp) ING. RENÁN BOADA A. GERENTE FAME S.A.</p> <p>Elaborado por: Dr. Victor Villacres, Asesor Jurídico Aprobado por: Ing. Renán Boada, Gerente Distribuido: Original: Destruyente</p> <p>Copia:</p> <ul style="list-style-type: none">• Ing. Edwin Alejandro Caizalitin Quinaluisa Tutor de tesis /Proyecto/ UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE, SEDE LATACUNGA.• Ing. Arán López Asesor de Gerencia FAME S.A.• Ing. Elizabeth Cataglia Ejecutiva en Sistemas Integrados de Gestión FAME S.A. <p>Anexo:</p> <ul style="list-style-type: none">• Correo electrónico emitido por el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica <p>Av. General Rumiñahui, Sangolquí 171103, junto a la ESPE +5932332052 sgerencia@fame.ec www.fame.ec</p> <p>2 de 2</p>
--	---

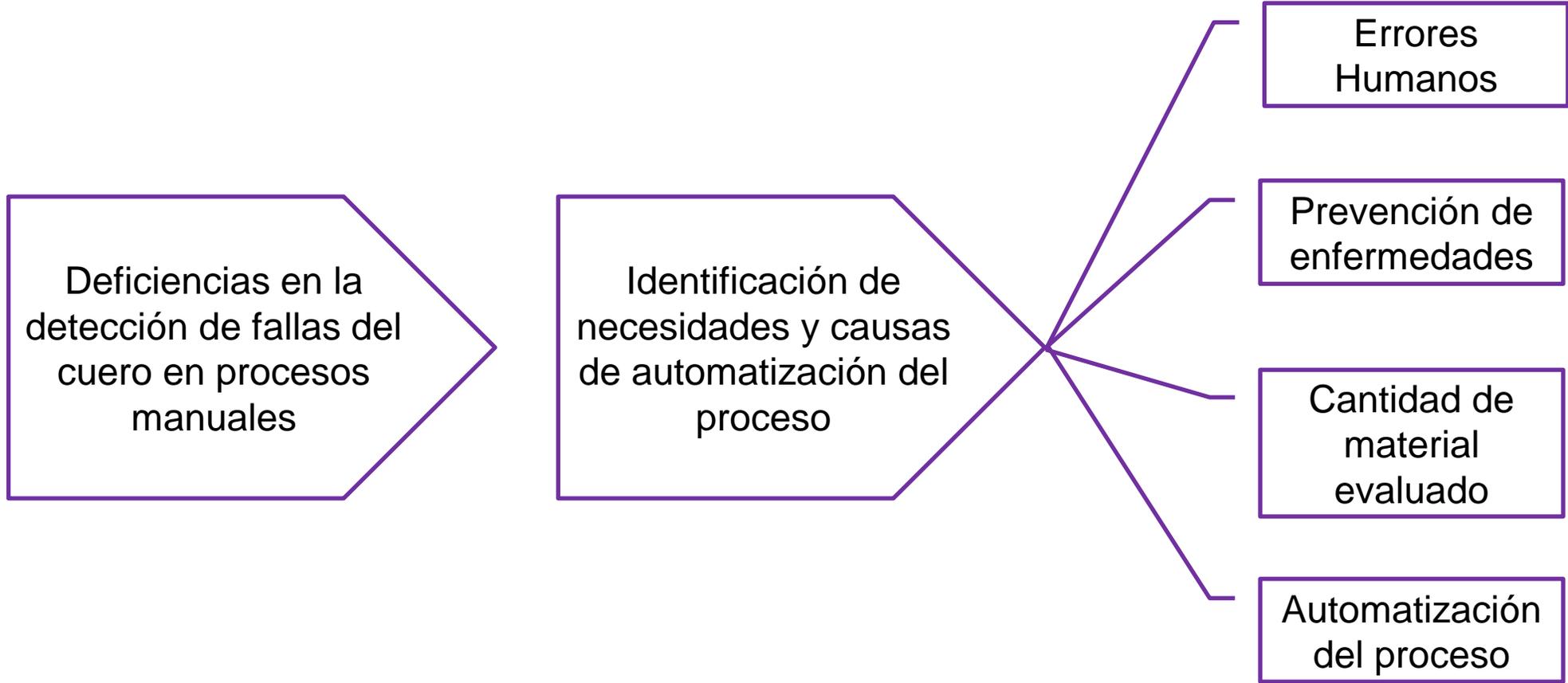


Evolución de la
industria de
fabricación de
calzado

Métodos para
realizar el
marcado de las
fallas

Máquinas para
la detección y
marcado de
fallas





Objetivo General

Diseñar, construir e implementar un sistema mecatrónico de marcado para la verificación del estado del cuero a través de visión artificial utilizando software libre en la empresa FAME S. A. Ubicada en el cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.



Objetivo Específicos

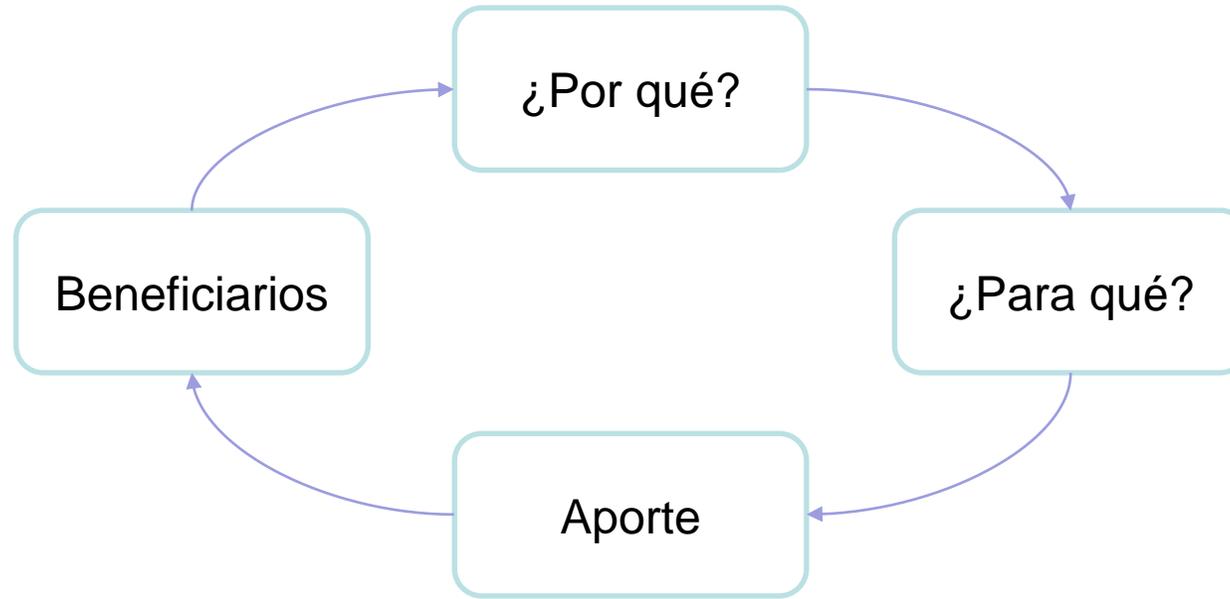
- Analizar los requerimientos de la empresa FAME S.A además de los sistemas de alimentación que existen en la empresa y levantar información del Proceso de calidad del cuero.
- Investigar los sistemas con visión artificial existentes utilizados en la validación de cuero.
- Diseñar la estructura mecánica de un sistema mecatrónico tomando en cuenta el peso, la cámara, el láser y las dimensiones de la mesa.
- Diseñar el control eléctrico para el manejo automático de los componentes eléctricos y mecánicos del sistema mecatrónico y del sistema de visión artificial.



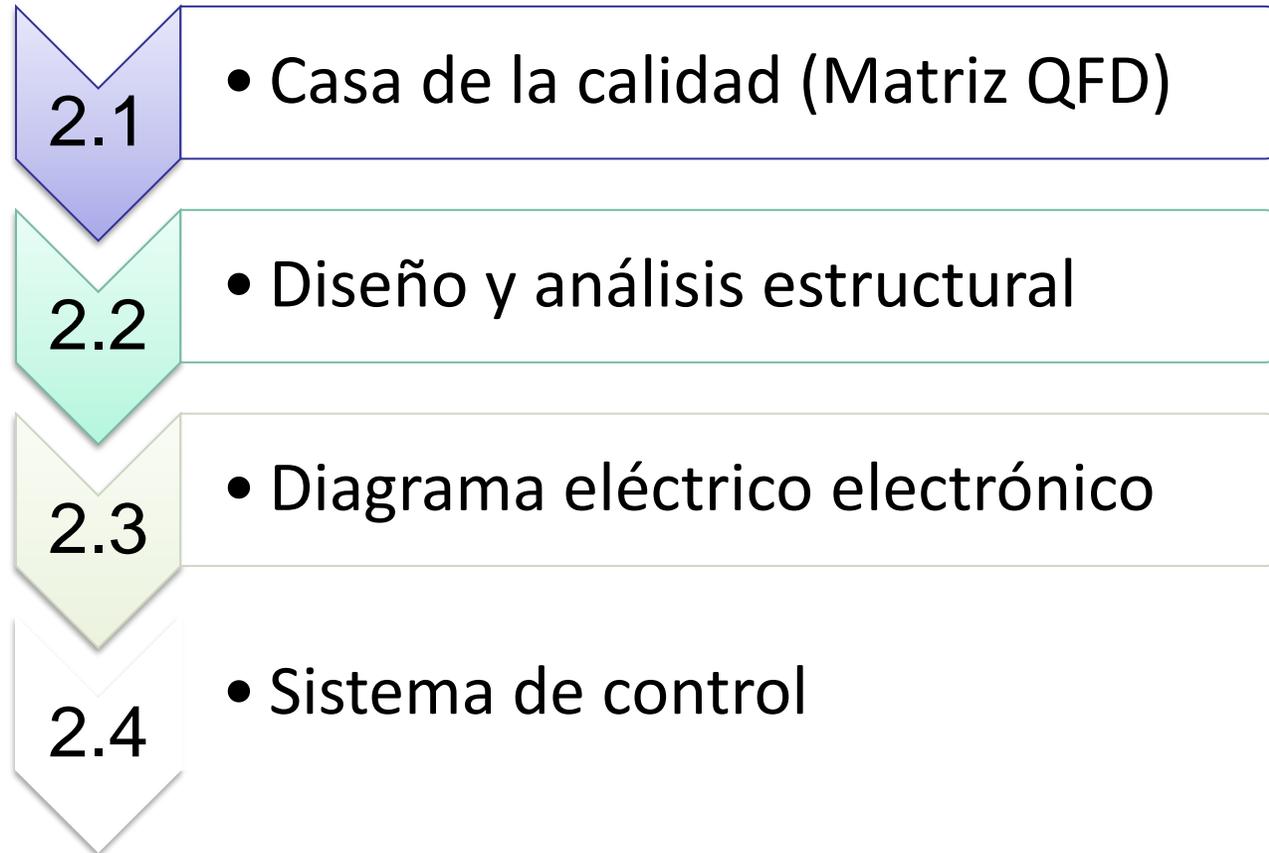
Objetivo Específicos

- Seleccionar los materiales mecánicos y eléctricos para el correcto funcionamiento de la máquina.
- Construir la estructura del sistema mecatrónico.
- Desarrollar el algoritmo de control para la validación del cuero.
- Implementar un sistema de visión artificial para la automatización de la máquina y la correcta validación del cuero.
- Validar la hipótesis a través de pruebas experimentales y herramientas estadísticas.





El diseño, construcción e implementación de un sistema mecatrónico de marcado para la verificación del estado del cuero a través de visión artificial, permitirá a las empresas del Ecuador reducir costos de fabricación, ahorrar tiempos al momento de validar el cuero, sin necesidad de que una persona intervenga en el procedimiento



Necesidades del cliente

Núm.	Necesidad	Imp.
1	Presupuesto	5
2	Precisión y eficiencia	4
3	Buena iluminación	5
4	Selección del diseño de la estructura dependiendo de la cámara y del sistema de marcado	5
5	Estructura fija con poca vibración	4
6	Localización del espacio requerido	3
7	Protecciones necesarias (Eléctricas, mecánicas y de control)	4
8	Bajo consumo de energía	3
9	Correcto procesamiento y obtención de imágenes	5
10	Programación y reprogramación en software libre	4
11	Comunicación estable y rápida	4
12	Creación de un correcto algoritmo	5



Necesidades del cliente

Núm.	Necesidad	Imp.
13	Identificación y validación de fallas (control de calidad)	5
14	Facilidad de operación y mantenimiento	3
15	Selección del sistema de marcado adecuado	4
16	Selección de la cámara adecuada	4
17	Disponibilidad de componentes y repuestos	2



Especificaciones técnicas del modelo a escala

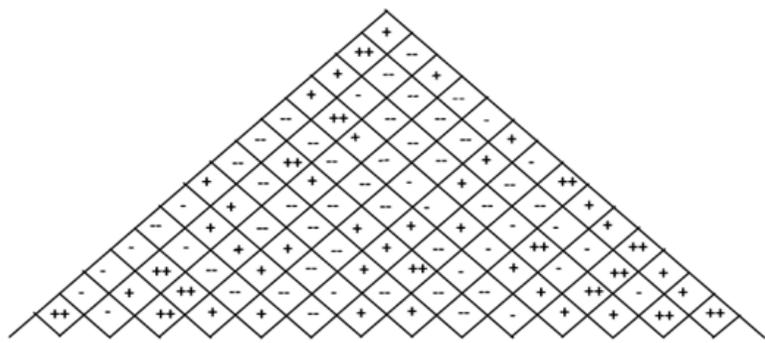
Métrica núm.	Métrica
1	Manual de operación
2	Manual de mantenimiento
3	Bajo coste de manufactura
4	Materiales rígidos y aislantes
5	Componente de fácil adquisición
6	Correcto sistema de iluminación
7	Suministro de energía de 24V
8	Cumplimiento de normas con las que trabaja la empresa

Métrica núm.	Métrica
9	Realización del diseño CAD
10	Realización del circuito eléctrico
11	Realización del algoritmo de control
12	Calibración del sistema de marcado
13	Localización del espacio de trabajo
14	Registro y evaluación de fallas
15	Control de calidad del producto



Simbología y valores a utilizar

Relación	Valor	Símbolo
Fuerte	9	●
Mediano	3	○
Débil	1	△



Núm.	Necesidades	Núm. Imp.	Métricas															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Presupuesto	5	△	△	○	●	○	△	△			○	○				△	
2	Precisión y eficiencia	4	●	●				○			●	○	●		○	●	●	
3	Buena iluminación	5						●		△			●	●			●	
4	Selección del diseño de la estructura dependiendo de la cámara y del sistema de marcaje.	5	○	○	△	○	△	○	○	○	○	○	○	○	●			
5	Estructura fija con poca vibración	4	○	○	●	●	○	○		●	●				○			
6	Localización del espacio requerido	3	△	△			●	○	○	●	○				●			
7	Protecciones necesarias (eléctricas, mecánicas y de control)	4	●	●	△	○	○		○		●							
8	Bajo consumo de energía	3	△	△						●								
9	Correcto procesamiento y obtención de imágenes	5	●					○					●		●	●	○	
10	Programación y reprogramación en software libre	4	●	●									●	●	●	●	●	
11	Comunicación estable y rápida	4	○	○									○	○	●	●	●	
12	Creación de un correcto algoritmo	5	○										●	○	●	●	●	
13	Identificación y validación de fallas (control de calidad)	5	●		○				●	●			○	○	●	●	●	
14	Facilidad de operación y mantenimiento	3	●	●	●				●	●	○		○		●	△	△	
15	Selección del sistema de marcado adecuado	4	●	●	●			○	●	●			△	△	●	●	△	
16	Selección de la cámara adecuada	4	●	●	●			○	●	●			△	●	●	●	●	
17	Disponibilidad de componentes y repuestos	2		●	●	●	●		○				○	○	△			
Ponderación Absoluta			362	275	192	126	86	275	173	137	87	101	250	254	423	243	267	3251
Ponderación Relativa			11,135	8,459	5,906	3,876	2,645	8,460	5,321	4,214	2,676	3,107	7,690	7,813	13,011	7,475	8,213	100
Importancia Relativa			14	15	6	12	13	7	8	11	1	2	3	5	10	9	4	

Grado de correlación

Correlación	Símbolo
Positivo	+
Negativo	-
Sin correlación	Se deja en blanco



Diseño y análisis estructural



Tabla 22

Datos del eje crítico de la cámara "Y"

VARIABLES	Valor	Unidades
Longitud del tubo rectangular de acero estructural	400	Mm
Masa de la cámara Logitech C922 Pro-HD	162	G
Masa de la riel	632	G
Masa de Hiwin	150	G
Masa Total	0.944	Kg
Gravedad	9.81	m/s ²
Fuerza(W)	9.2606	N

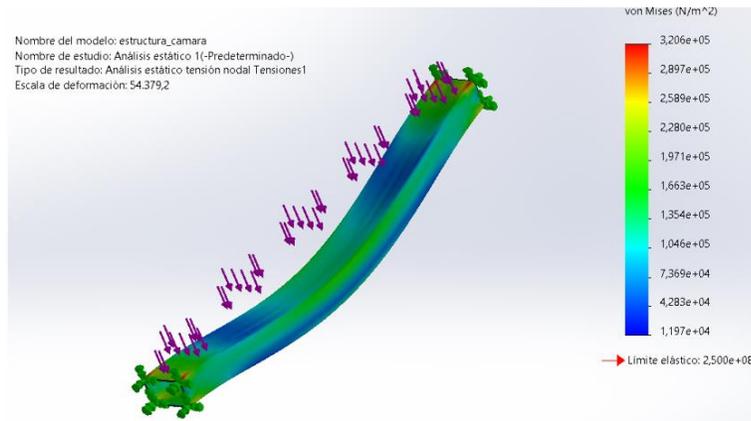


Tabla 24

Datos del eje crítico del sistema de marcado "Y"

VARIABLES	Valor	Unidades
Longitud del tubo rectangular de acero estructural	400	Mm
Masa del diodo de láser 5V	85	G
Masa de la riel	632	G
Masa de Hiwin	150	G
Masa Total	0.867	Kg
Gravedad	9.81	m/s ²
Fuerza(W)	8.5052	N

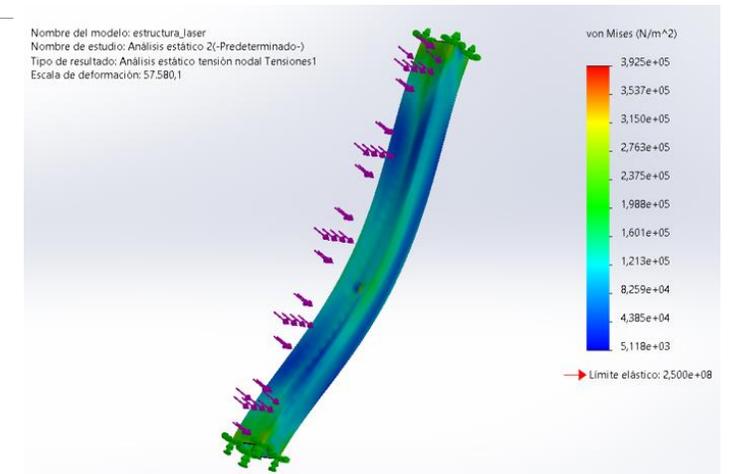


Tabla 26

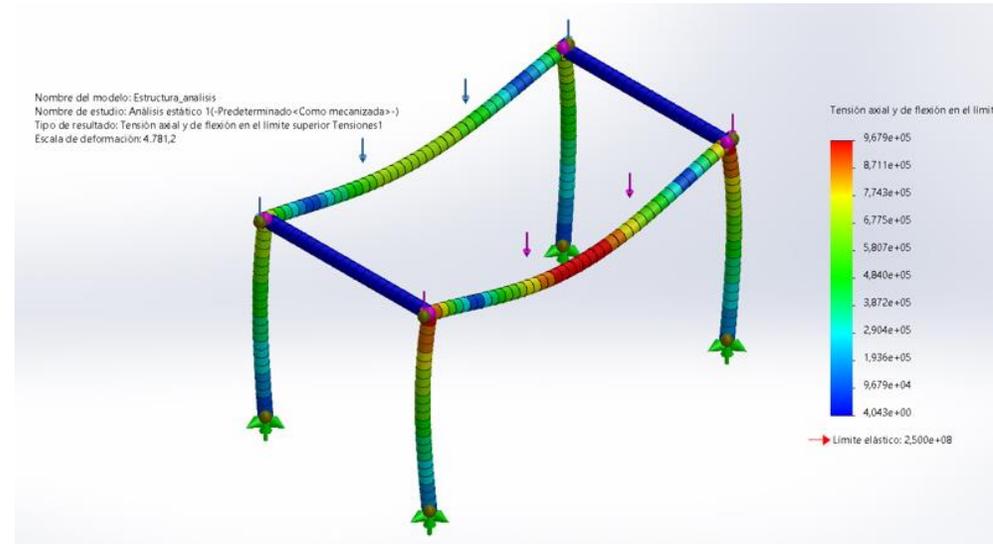
Datos del eje "X" con los motores de los ejes "Y"

Variabes	Valor	Unidades
Longitud del tubo estructural	700	Mm
Masa total de los carros impresos en 3D	800	G
Masa del riel	1106	G
Masa de Hiwin 1	150	G
Masa de Hiwin 2	150	G
Masa del motor 1 nema 17	290	G
Masa del motor 2 nema 17	290	G
Masa Total	2.786	Kg
Gravedad	9.81	m/s ²
Fuerza(W)	27.33	N

Tabla 28

Datos del eje "X" con los motores de los ejes "Y"

Variabes	Valor	Unidades
Longitud del tubo estructural	700	Mm
Masa total de los carros impresos en 3D	600	G
Masa del riel	1106	G
Masa de Hiwin 1	150	G
Masa de Hiwin 2	150	G
Masa Total	2006	Kg
Gravedad	9.81	m/s ²
Fuerza(W)	19.68	N



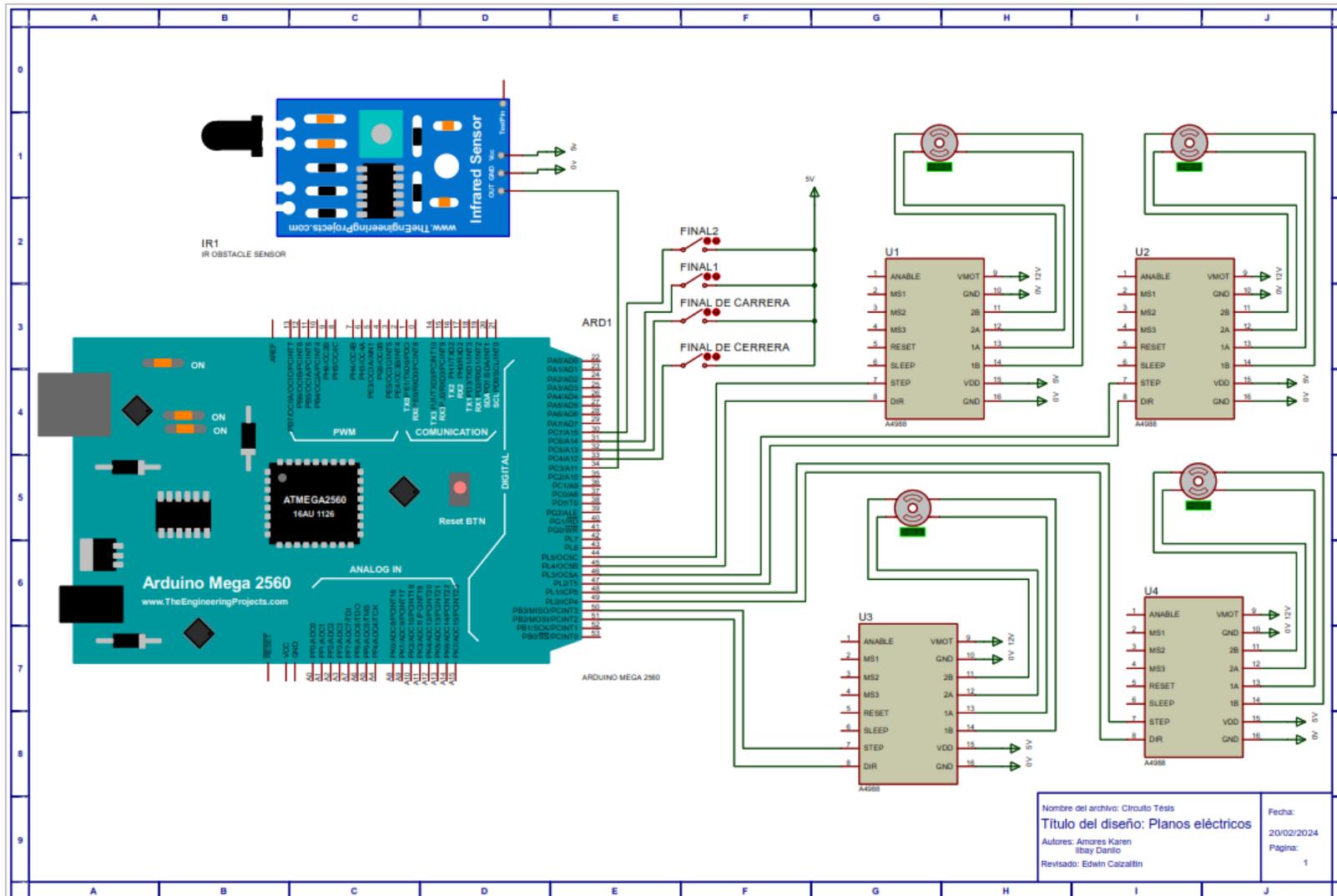
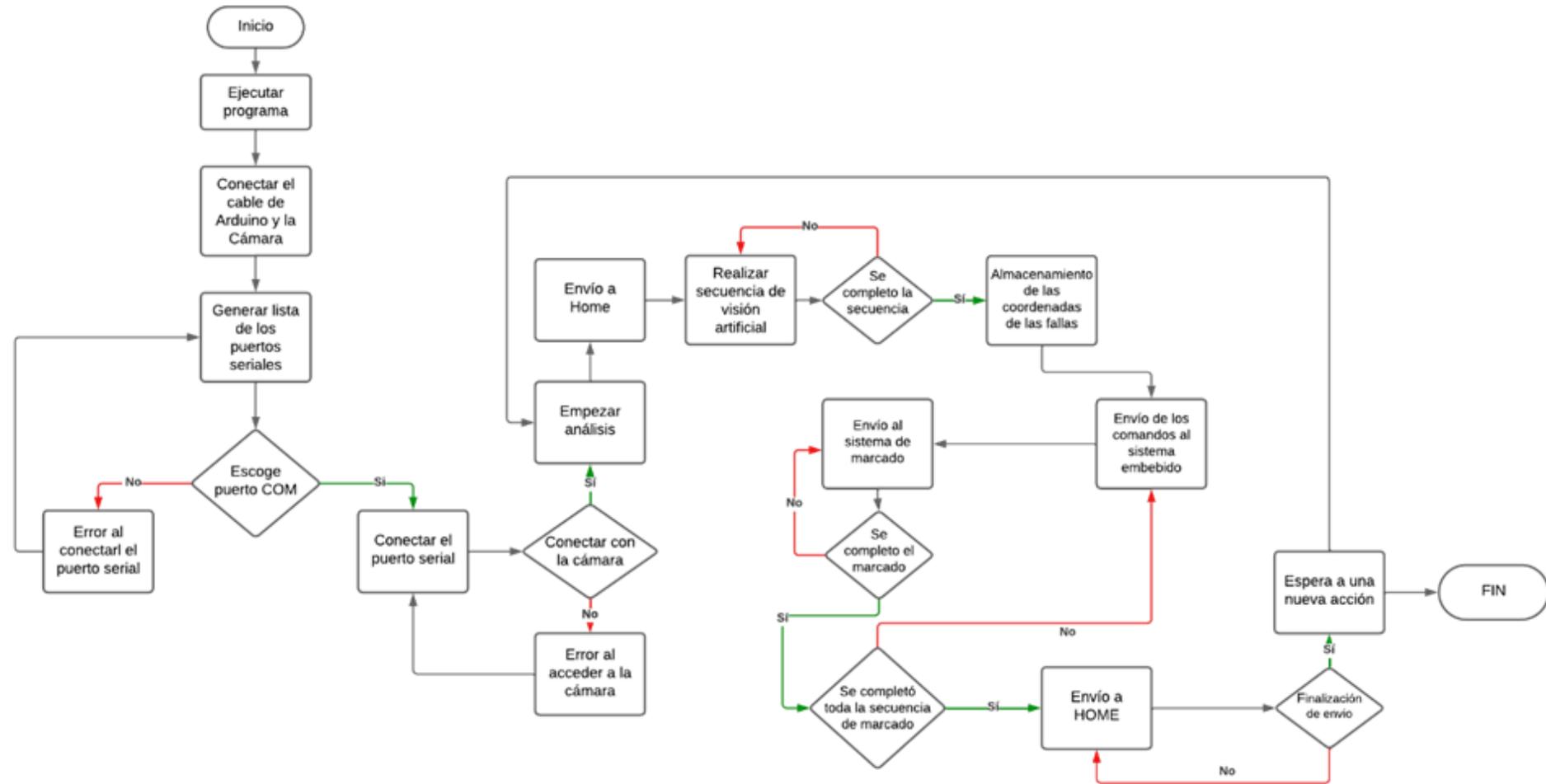
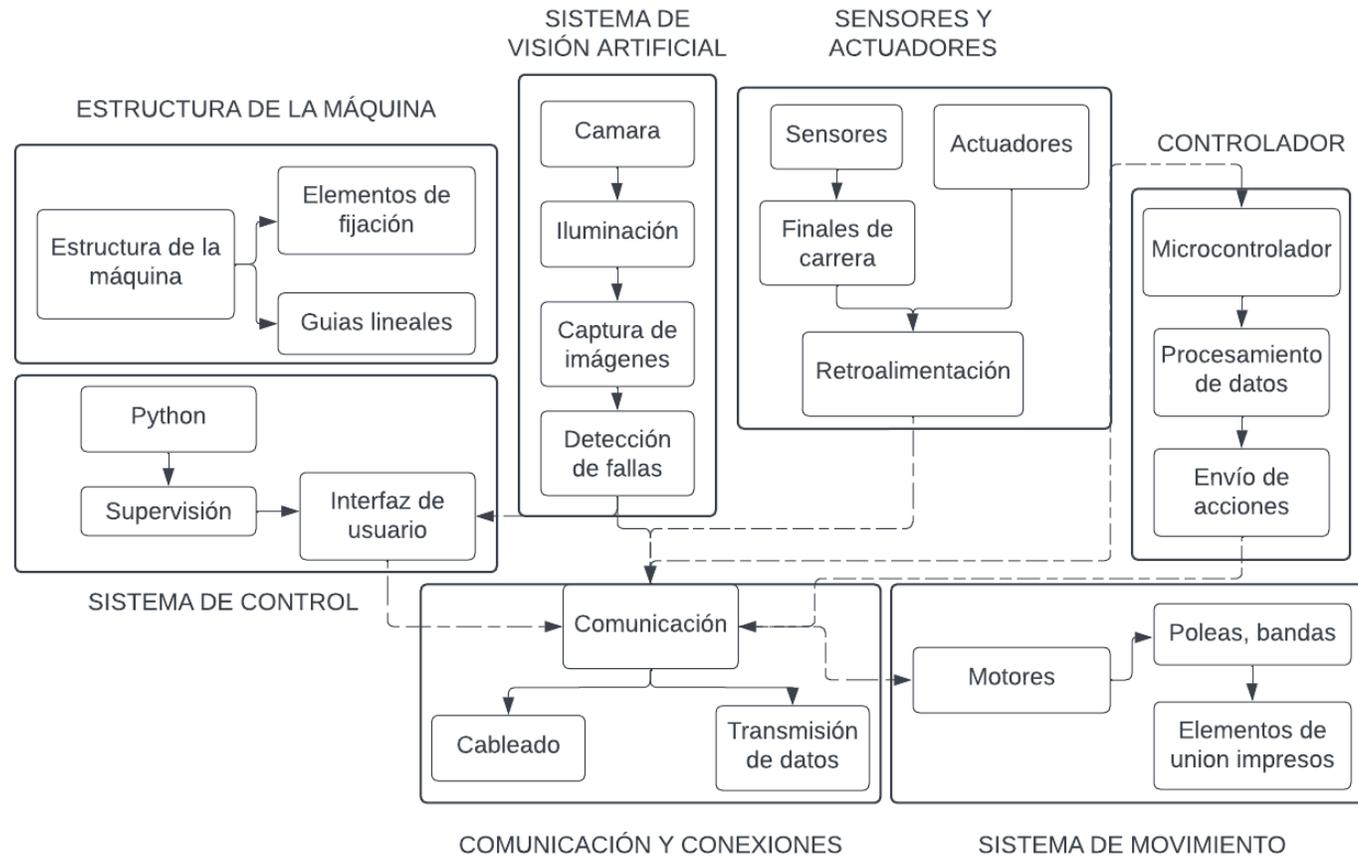
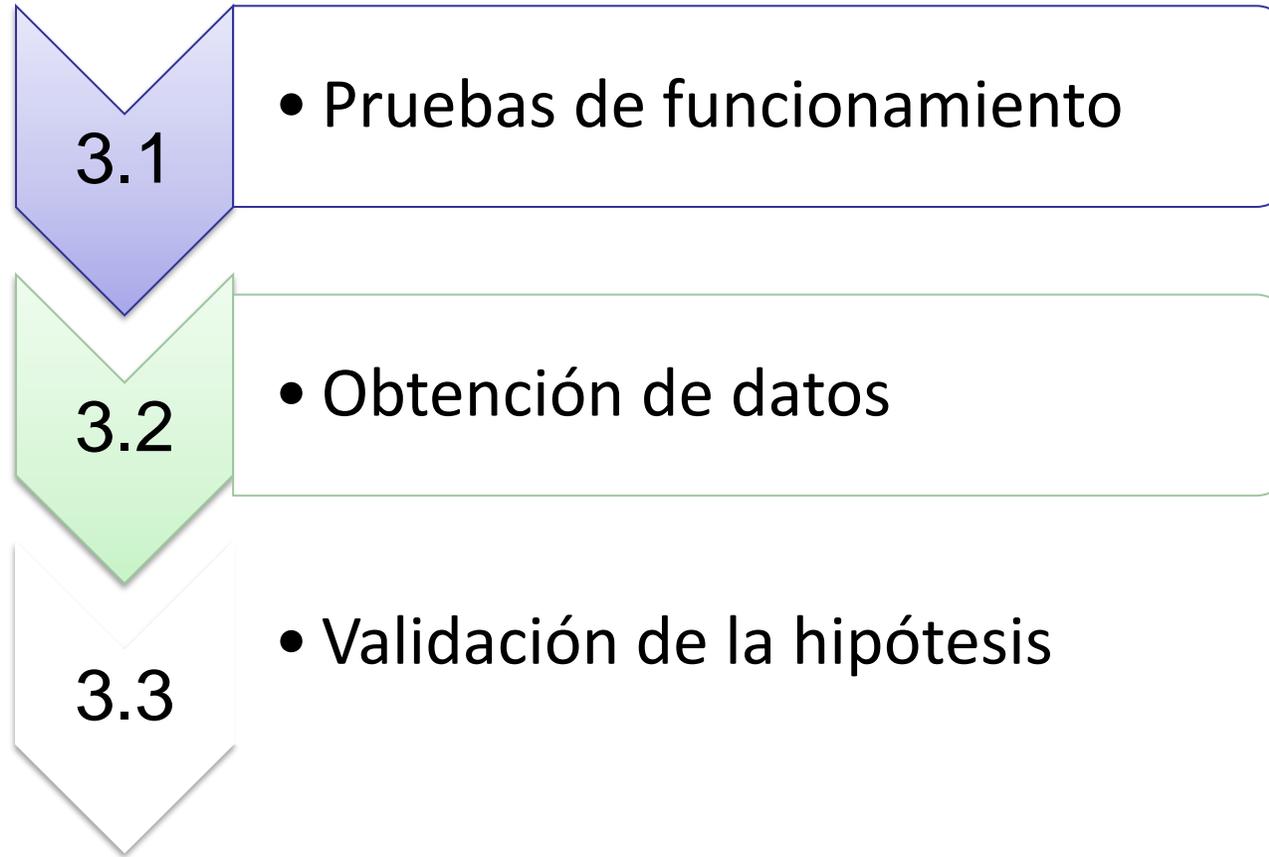


Diagrama de funcionamiento de la máquina



Esquema del producto





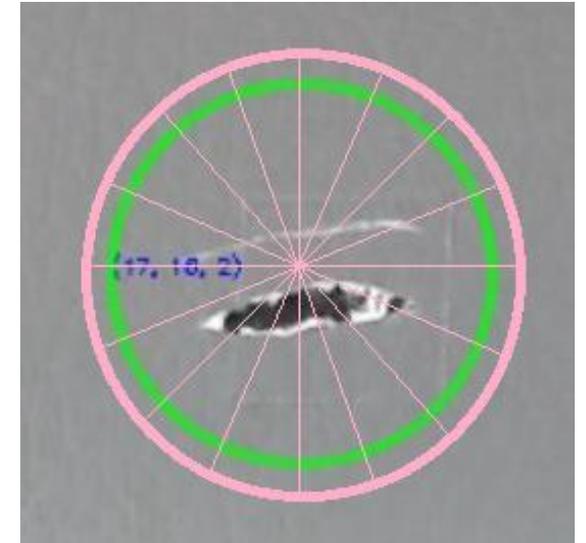
Pruebas de funcionamiento sistema de visión

Falla 1 (Cortes)		
Prueba	Detecta	% Detección
1	Si	100
2	Si	100
3	Si	100
4	Si	100
5	Si	100

Falla 3 (Quemaduras)		
Prueba	Detecta	% Detección
1	Si	100
2	Si	100
3	Si	100
4	Si	100
5	Si	100

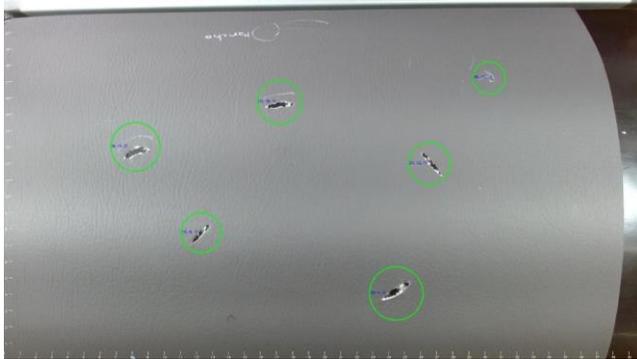
Falla 2 (Manchas)		
Prueba	Detecta	% Detección
1	Si	100
2	Si	100
3	Si	99
4	Si	100
5	Si	100

Falla 4 (Raspaduras)		
Prueba	Detecta	% Detección
1	Si	93.74
2	Si	90.61
3	Si	93.74
4	Si	93.74
5	Si	93.74

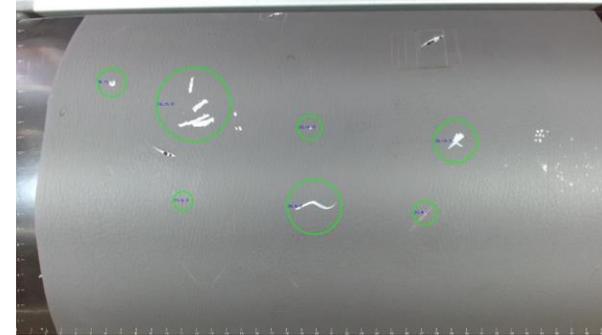


Pruebas de funcionamiento sistema de visión

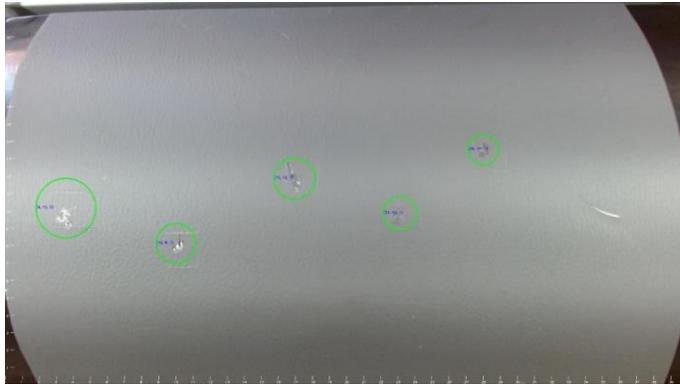
Falla 1(Cortes)



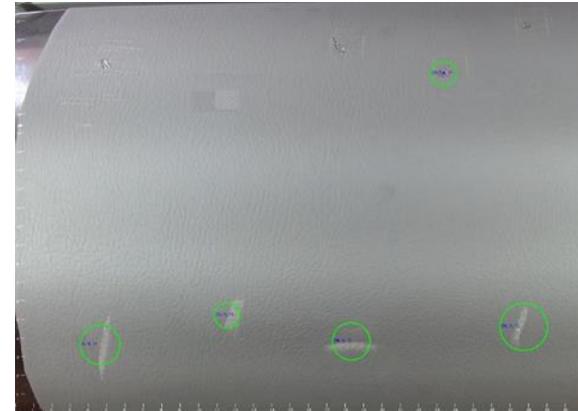
Falla 2(Manchas)



Falla 3(Quemaduras)



Falla 4(Raspones)



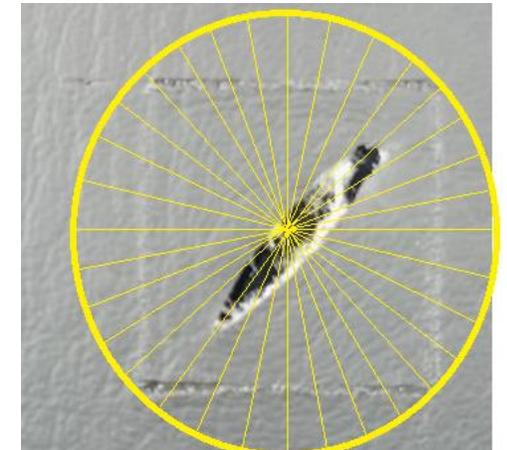
Pruebas de funcionamiento sistema de marcado

Falla 1 (Cortes)			
Prueba	Marca	Área	Comparación
1	Si	100	100
2	Si	100	100
3	Si	100	100
4	Si	100	100
5	Si	100	100

Falla 3 (Quemaduras)			
Prueba	Marca	Área	Comparación
1	Si	90.61	95.305
2	Si	100	100
3	Si	100	100
4	Si	100	100
5	Si	100	100

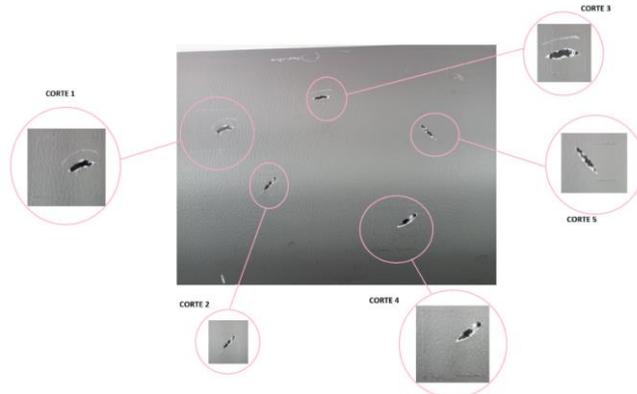
Falla 2 (Manchas)			
Prueba	Marca	Área	Comparación
1	Si	96.87	98.435
2	Si	100	100
3	Si	90.61	93.74
4	Si	100	100
5	Si	90.61	90.305

Falla 4 (Raspaduras)			
Prueba	Marca	Área	Comparación
1	Si	81.38	95
2	Si	90.61	95
3	Si	90.61	95
4	Si	96.87	95
5	Si	100	100

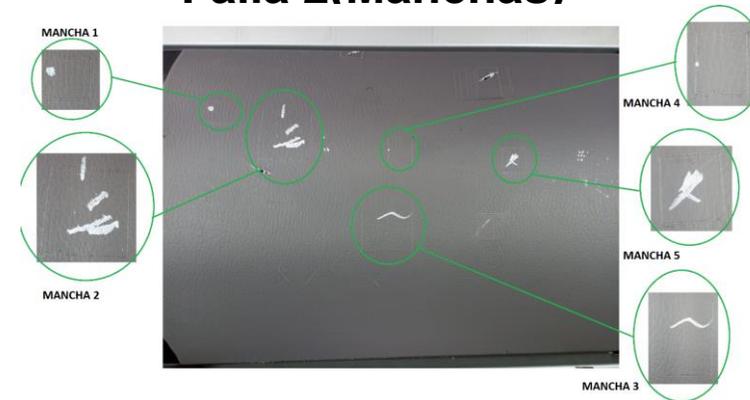


Pruebas de funcionamiento sistema de marcado

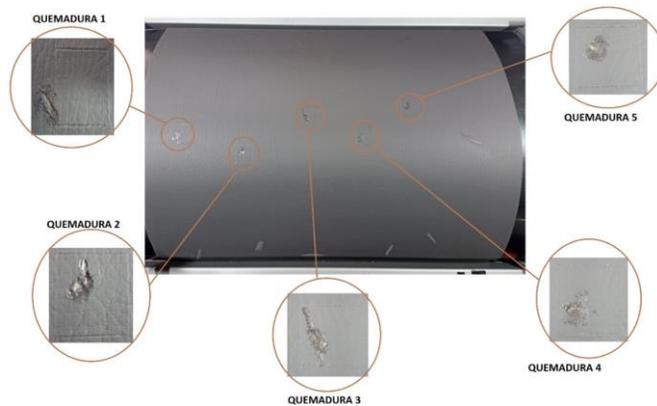
Falla 1 (Cortes)



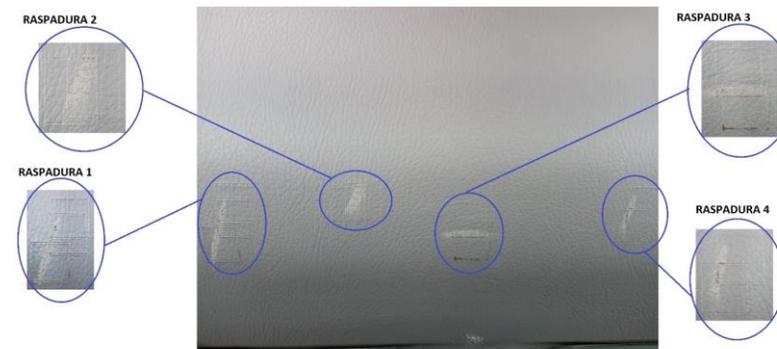
Falla 2 (Manchas)



Falla 3 (Quemaduras)



Falla 4 (Raspones)



Pruebas de precisión

Precisión			
Falla	Pruebas comparadas	Diferencia X(mm)	Diferencia Y(mm)
CORTES	1-2	2	2
	1-3	3	0
	1-4	1	3
	1-5	0	0
MANCHAS	1-2	1	1
	1-3	5	2
	1-4	2	4
	1-5	3	1
QUEMADU RAS	1-2	0	0
	1-3	1	2
	1-4	2	0
	1-5	1	1
RASPADU RAS	1-2	2	0
	1-3	0	1
	1-4	5	1
	1-5	2	2



La hipótesis que se planteó al inicio del proyecto fue la siguiente

¿El diseño, construcción e implementación de un sistema mecatrónico de marcado para la verificación del estado del cuero a través de visión artificial utilizando software libre permitirá reducir los errores al momento de detectar fallas evitando el desperdicio de materia prima en la estación de verificación de cuero en la empresa FAME s.a. ubicada en el cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha?

Variables de investigación

Variable Independiente

Ejecución del sistema mecatrónico de marcado para verificación del cuero, a través del uso de visión artificial.

Variable Dependiente

Reducción de errores al momento de detectar falla.



Hipótesis Nula

El diseño, construcción e implementación del sistema mecatrónico de marcado para la verificación del estado del cuero a través de visión artificial utilizando software libre no permitirá reducir los errores al detectar fallas, ni evitar el desperdicio de materia prima en la estación de verificación de cuero en la empresa FAME s.a. ubicada en el cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.

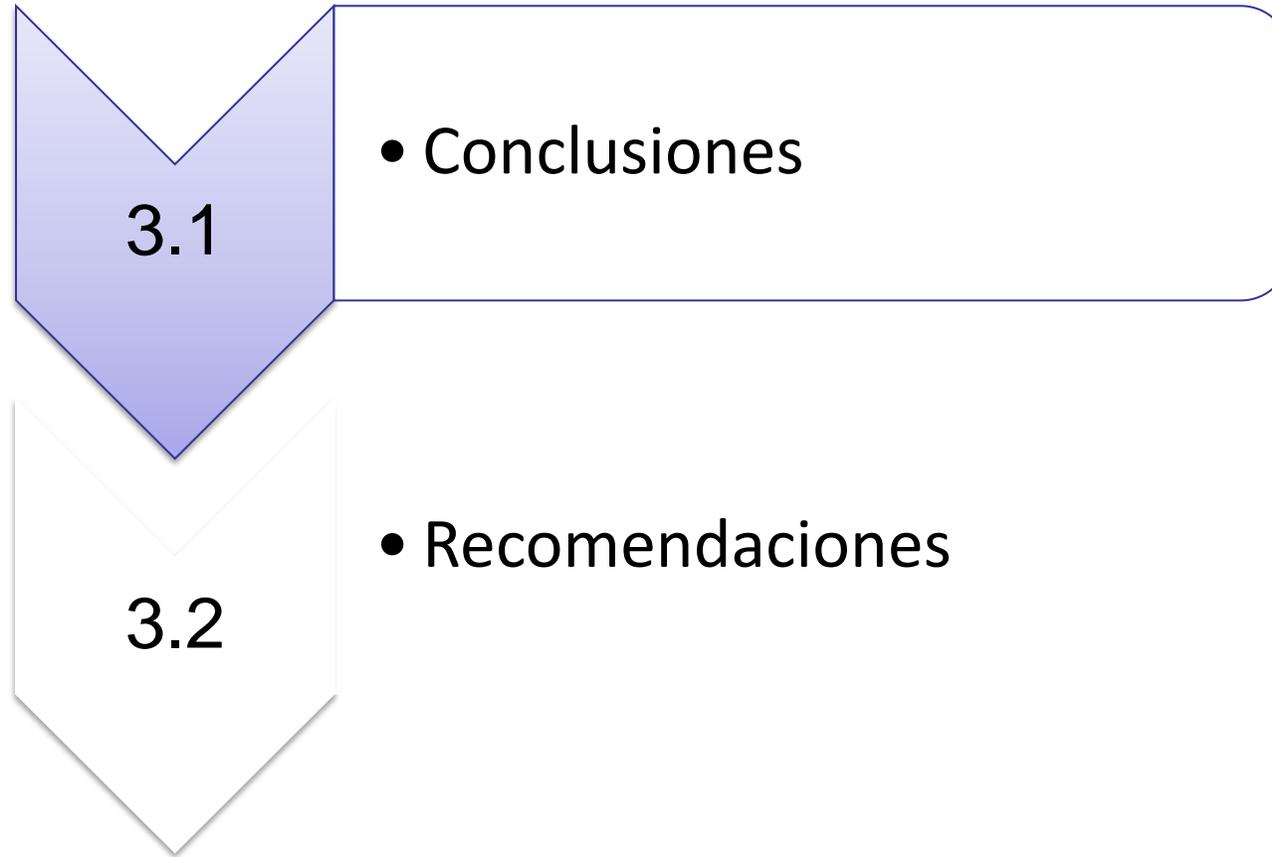
Hipótesis Alternativa

El diseño, construcción e implementación del sistema mecatrónico de marcado para la verificación del estado del cuero a través de visión artificial utilizando software libre permitirá reducir los errores al detectar fallas y evitar el desperdicio de materia prima en la estación de verificación de cuero en la empresa FAME s.a. ubicada en el cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.

Falla N°	1	2	3	4
Valor obtenido	1.985 %	1.784%	2.025%	2.845%
Margen de error	5%	5%	5%	5%
¿ Valido?	Si	Si	Si	Si



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



- Se diseñó un sistema de marcado mediante visión artificial con la utilización de software libre, que mejoro los procesos de control de calidad en la cuerina. A través de la integración de posicionamiento para el marcado mediante láser y la implementación de un algoritmo de visión basado en detección de contornos, se logró un sistema confiable para la verificación de fallas.
- El sistema construido permite revisar un espacio de 40x23 cm dadas las condiciones físicas de la máquina.
- Durante el proceso de implementación del algoritmo de visión artificial para la detección de fallas en la cuerina, se encontró una limitación en la precisión de los datos al envío de los motores. Debido a la naturaleza del algoritmo, los datos generados contienen valores flotantes los cuales necesitan ser redondeados para realizar el movimiento de los motores ya que estos a través del Driver A4988 se mueven por pasos o velocidad.



- El algoritmo de detección de fallas de cuerina ha demostrado una eficacia del 100% en la identificación de fallas. Sin embargo, al evaluar la detección de la falla completa, se observa un porcentaje ligeramente menor, un promedio del 98.125%.
- Aunque el sistema de marcado basado en visión artificial pueda obtener las coordenadas de las fallas de una forma muy precisa, al momento de enviar al sistema de marcado se obtiene un cierto desplazamiento por el envío de datos en enteros. A pesar de esta pérdida de precisión, el sistema logra marcar en promedio el 96.41% del área total de las fallas.
- La máquina se demora alrededor de 13 minutos en realizar la verificación y marcación de las fallas, mientras una persona lo hace en 12, pero se considera que la persona no va a ser eficiente durante toda la jornada de trabajo es decir va a realizar la validación en más minutos mientras la máquina la realizará en el mismo tiempo.
- Tras realizar veinte pruebas de marcado, se ha observado que existe un desfase promedio de aproximadamente ± 2 mm en la precisión del marcado. Para este caso el desfase es aceptable ya que al marcar se trabaja con cuadrados por el tipo de geometrías que se necesitan cortar en la cuerina.



- Asegurarse de que los parámetros utilizados para la detección de fallas son óptimos, ya que estos varían dependiendo del material o los contornos que se requiere detectar.
- Continuar con el desarrollo y mejorar el algoritmo de detección de fallas para elevar la precisión en la detección de fallas completas, utilizando redes neuronales convolucionales para el reconocimiento de patrones.
- Para mejorar el rendimiento del sistema, se sugiere explorar métodos para incrementar la precisión en la transmisión de datos o ajustar los algoritmos de marcado para compensar cualquier desviación causada por la pérdida de precisión en las coordenadas.
- Para futuras aplicaciones se necesita investigar el desfase de precisión aceptado para poder modificar tanto el software como el hardware y así poder obtener una mejor exactitud.



- Para mejorar la precisión del sistema de posicionamiento se sugiere considerar el cambio de los motores por modelos que ofrezcan una mayor resolución y control, junto con retroalimentación de posición, como encoders.
- Considerar el reemplazo del sistema de láser por un sistema mecánico de marcado que utilice una punta de marcador. Este tipo de sistema proporciona la capacidad de realizar marcas en el material sin dañarlo.
- Explorar la implementación de un sistema embebido más robusto que garantice una comunicación precisa con los actuadores.
- Implementar el tipo de falla que detecta el algoritmo de control para poder observar en el GUI el tipo de fallas aparte de la detección.

