

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR

DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR
TECNOLÓGICA

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA

TRABAJO PROFESIONAL

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA EN ELECTRÓNICA

QUE PRESENTA:

DIANA CALDERÓN DE LA CRUZ

CON EL TEMA:

**“PROTOTIPO DE DIMENSIONAMIENTO SIN
CONTACTO PARA ELEMENTOS DE
TURBOMAQUINARIA”**

MEDIANTE:

OPCION X

(MEMORIA DE RESIDENCIA)

TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS

JUNIO 2013

CONTENIDO.

1. CAPITULO: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.2.1. HIPÓTESIS.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	3
1.4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE SE PARTICIPÓ.....	4
1.4.1. ÁREA DONDE SE DESARROLLA EL PROYECTO.....	5
1.5. PROBLEMÁTICA.....	6
1.5.1. CRONOGRAMA.....	7
1.5.2. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS ACTIVIDADES.....	7
1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	9
1.6.1. ALCANCES.....	9
1.6.2. LIMITACIONES:.....	9
2. CAPÍTULO: FUNDAMENTO TEÓRICO.....	10
2.1. ANTECEDENTES.....	10
2.2. SISTEMAS DE VISIÓN.....	11
2.3. DIMENSIONAMIENTO SIN CONTACTO.....	15
2.3.1. EJEMPLOS DE MEDICIÓN ÓPTICA SIN CONTACTO:.....	16
2.3.2. MÉTODOS USADOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO SIN CONTACTO.....	17
2.4. TURBOMAQUINARIA.....	21
2.4.1. ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA TURBINA DE VAPOR.....	22
2.4.2. REPARACIÓN Y LIMPIEZA DE COMPONENTES ROTATIVOS	23
2.4.3. COMPONENTES PARA DIMENSIONAMIENTO.....	25
2.5. SISTEMA DE MOVIMIENTO TRASLACIONAL EN DOS EJES.....	30
2.5.1. INTRODUCCIÓN.....	30

2.5.2.	ROBOTS CARTESIANOS DE DOS EJES.....	32
2.5.3.	COMPONENTES GENERALES DE UN SISTEMA DE POSICIONAMIENTO:.....	34
2.5.4.	MOTORES	37
2.5.5.	INTERRUPTORES DE FINALES DE CARRERA	39
2.5.6.	SISTEMAS DE MÚLTIPLES EJES	40
3.	CAPÍTULO: DISEÑO CONCEPTUAL DEL PROTOTIPO DE DIMENSIONAMIENTO SIN CONTACTO	43
3.1.	DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE VISIÓN	43
3.2.	CÁMARA DIGITAL	44
3.3.	ÓPTICA: LENTE TELECÉNTRICA.....	47
3.4.	PATRON DE CALIBRACIÓN TIPO TABLERO DE AJEDREZ	52
3.5.	SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	54
3.6.	ESTRUCTURA DE SOPORTE	57
3.6.1.	SIMULACIÓN DEL SISTEMA:	58
3.6.2.	SISTEMAS DE MOVIMIENTO TRASLACIONAL EN DOS EJES. 59	
3.7.	MOTORES.....	61
3.7.1.	CÁLCULOS, MOMENTO ESTÁTICO	63
3.8.	PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS	65
3.8.1.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	65
3.8.2.	ACONDICIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA PROTOTIPO DE DIMENSIONAMIENTO SIN CONTACTO.....	66
3.8.3.	CONSTRUCCIÓN DE CONTROLADOR PARA MOTOR PASO A PASO. 66	
3.8.3.2.	Actividad: Diseño de ambiente visual en Matlab, para prueba de motores.	68
3.8.4.	DISEÑO CONCEPTUAL DE LA INTERFAZ.	70
3.8.5.	CURSO SOBRE EL MODELO GEOMÉTRICO DEL SISTEMA.71	
3.8.6.	CALIBRACIÓN.....	71

3.8.7. PRUEBAS DE ADQUISICIÓN DE FOTOS:	72
3.8.8. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.....	76
4. CAPITULO: RESULTADOS, PLANOS, GRÁFICAS, PROTOTIPOS Y PROGRAMAS.....	78
4.1. DISEÑO DE LA INTERFAZ	78
4.2. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA INTERFAZ.....	79
4.3. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DEL PROGRAMA DESARROLLADOR.....	80
4.4. INTERFAZ.....	81
4.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	83
4.5.1. CONCLUSIONES.....	83
4.5.2. RECOMENDACIONES	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
ANEXOS.....	86
5. POSIBLES CLIENTES, PRODUCTOS Y SERVICIOS	95

CONTENIDO DE TABLAS.

TABLA 1-1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	7
TABLA 2-1 SISTEMAS DE MOVIMIENTO TRASLACIONAL (1 EJE).....	31
TABLA 3-1 INFORMACIÓN GENERAL DE LA CÁMARA CCD.....	46
TABLA 3-2 CARACTERÍSTICAS DE LALENTE TC-1364	51
TABLA 3-3 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN POR LEDS.	56
TABLA 3-4 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS MOTORES A PASO DMX-K-DRV-34-1	62
TABLA 3-5 DATOS TÉCNICOS (MOTOR Y SISTEMA DE VISIÓN).....	64
TABLA 3-6 CÁLCULOS PARA EL TORQUE DEL SISTEMA	64
TABLA 4-1 TABLA COMPARATIVA DE PLATAFORMAS DE PROGRAMACIÓN	80

CONTENIDO DE IMÁGENES.

FIGURA 2.1 FASES DEL PROCESO DE VISIÓN EN LOS SISTEMAS DE VISIÓN POR COMPUTADORA.....	12
FIGURA 2.2 DIAGRAMA A BLOQUES DE UN SISTEMA DE VISIÓN GENÉRICO.....	13
FIGURA 2.3 ESQUEMA DE LAS PRINCIPALES PARTES DE UNA TURBINA.	22
FIGURA 2.4 ÁLABES	26
FIGURA 2.5 CHUMACERAS DE GEOMETRÍA FIJA	28
FIGURA 2.6 CHUMACERA PLANA CON DOS RANURAS PARA ENTRADA DE ACEITE	28
FIGURA 2.7 ESQUEMA DE ZAPATAS BASCULANTES.	29
FIGURA 2.8 DESGASTE EN ZAPATAS.....	29
FIGURA 2.9 ENSAMBLES INFERIORES DE CHUMACERAS.	29
FIGURA 2.10 ESQUEMA DE UN SISTEMA DE POSICIONAMIENTO X-Y .	32
FIGURA 2.11 ÁREAS DE TRABAJO DEL ROBOT CARTESIANO	33
FIGURA 2.12 TIPOS DE MÓDULOS LINEALES.....	34
FIGURA 2.13 PARTES GENERALES DE UN MÓDULO LINEAL Y SECCIÓN	35
FIGURA 2.14 SECCIÓN DE UN MÓDULO LINEAL DE GUÍA DE RODILLOS	35
FIGURA 2.15 SECCIÓN DE UN MÓDULO LINEAL DE GUÍA DE BOLAS ..	35
FIGURA 2.16 DESPIECE DE MÓDULO LINEAL DE HUSILLO	36

FIGURA 2.17 DESPIECE DE MÓDULO LINEAL DE CORREA DENTADA .	36
FIGURA 2.18 DESPIECE DE LAS PARTES DE UN SERVOMOTOR AC ...	37
FIGURA 2.19 ESQUEMA DE POSICIONAMIENTO DE LOS FINALES DE CARRERA	39
FIGURA 2.20 DESCRIPCIÓN DE LAS ÁREAS DE TRABAJO DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE MULTIEJE	40
FIGURA 2.21 ROBOT DE TRES EJES CON MOTORES PASO A PASO ...	41
FIGURA 2.22 ROBOT CARTESIANO	42
FIGURA 3.1 CONVENCION DE EJES UTILIZADA PARA LA REPRESENTACION DE IMAGENES, EN ESTE CASO EN NIVELES DE GRIS.....	44
FIGURA 3.2 ARREGLO DE UN CCD EN UNA CÁMARA COMERCIAL	45
FIGURA 3.3 CÁMARA TIPO CCD, PARA ADQUISICIÓN DE IMÁGENES CON RESOLUCIÓN DE 2180X960	45
FIGURA 3.4 FORMACIÓN DE IMAGEN MEDIANTE LENTE TELECÉNTRICA.....	48
FIGURA 3.5 FACTOR DE MAGNIFICACIÓN DE UN OBJETO EN LENTE TELECÉNTRICA.....	48
FIGURA 3.6 FACTORES DE DISTORSIÓN EN UNA IMAGEN: IMAGEN ORIGINAL, DISTORSIÓN TIPO BARRIL Y DISTORSIÓN TIPO COJÍN, RESPECTIVAMENTE.....	49
FIGURA 3.7 FACTORES DE DISTORSIÓN POR PERSPECTIVA: IZQ. SE OBSERVA IMAGEN AFECTADA POR PERSPECTIVA; DER. SE RESUELVE APLICANDO TELECENTRICIDAD.....	50
FIGURA 3.8 LENTE TELECÉNTRICA MODELO: TC-1364, DE LA MARCA: OPTO-ENGINEERING.	50
FIGURA 3.9 PATRÓN DE CALIBRACIÓN TIPO AJEDREZ.....	52
FIGURA 3.10 PATRÓN ESTÁNDAR DE CALIBRACIÓN	53
FIGURA 3.11 SISTEMA DE ILUMINACIÓN, PANEL DE LEDS	56
FIGURA 3.12 VISTA 1 Y 2 DEL SISTEMA DE DIMENSIONAMIENTO SIN CONTACTO.....	58
FIGURA 3.13 VISTA 3 Y 4 DEL SISTEMA DE DIMENSIONAMIENTO SIN CONTACTO.....	58
FIGURA 3.14 EJES PARA EL MOVIMIENTO TRASLACIONAL X-Y	59
FIGURA 3.15 COMUNICACIÓN SERIAL MOTOR-CPU	60
FIGURA 3.16 MOTORES A PASO INTEGRADO NEMA 34 CON DRIVER DE MICRO-PASOS DMX-K-DRV-34-1	61

FIGURA 3.17 DIAGRAMA DEL MOMENTO ESTÁTICO DEL SISTEMA DE VISIÓN, PARA EL CÁLCULO DEL TORQUE DE LOS MOTORES A PASO.	63
FIGURA 3.18 VELOCIDAD (RPM) CONTRA TORQUE (N-M).....	63
FIGURA 3.19 COMUNICACIÓN SERIAL PIC 16F873A CON MAX 323 Y PC	67
FIGURA 3.20 CIRCUITO BÁSICO PARA EL CONTROLADOR DE LOS MOTORES.....	67
FIGURA 3.21 GABINETE PARA FUENTE Y CONTROLADOR DE MOTORES A PASOS.....	68
FIGURA 3.22 INTERFAZ (PANTALLA COMPLETA) PARA MOTORES EN PLATAFORMA MATLAB.	69
FIGURA 4.1 DISEÑO CONCEPTUAL DE LA INTERFAZ	78
FIGURA 4.2 MENÚ PRINCIPAL DEL PROGRAMA CON LA BARRA DE PRINCIPAL.....	81
FIGURA 4.3 MENÚ DE DIMENSIONAMIENTO	82

1. CAPITULO: INTRODUCCIÓN

1.1.INTRODUCCIÓN.

En el siguiente trabajo profesional se describen las actividades que la estudiante Diana Calderón de la Cruz realizó durante su periodo de residencia profesional. El estudiante colaboró en conjunto con la gerencia de Turbomaquinaria, en el grupo de mantenimiento integral a turbocompresores.

En este trabajo, se presenta un caso de estudio de la utilización de técnicas de visión por computadora en el análisis, diseño e implementación de un sistema para el dimensionamiento sin contacto de la silueta de objetos con formas cóncavas y convexas bien definidas. El prototipo se centra en la cuantificación automática de las dimensiones de componentes internos de una turbina; chumaceras, sellos y raíces de alabes, por mencionar algunos, siempre y cuando se encuentren dentro del área de trabajo del sistema, que es de 60mm por 60mm.

Se explicaran entonces, las etapas generales para el diseño e implementación del prototipo de dimensionamiento sin contacto, así como las técnicas de visión por computadora que permitirán realizar las tareas de dimensionamiento.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El tratamiento digital de imágenes está en continua evolución y uso; actualmente juega un papel muy importante en el desarrollo de la industria, específicamente en el área de la metrología. Durante los últimos años ha aumentado el interés en la extracción y la cuantificación de características muy particulares en los productos que las empresas fabrican, sobre todo cuando se pueden lograr precisiones del orden de los micrómetros. Sin embargo, las aplicaciones desarrolladas comercialmente para el análisis y procesamiento de imágenes no resultan particularmente económicas, y en ese sentido existen sistemas de visión comerciales que ofrecen algunas particularidades según la marca.

Así entonces, se propone el prototipo de un sistema de visión para facilitar el dimensionamiento sin contacto, el proyecto propuesto facilita el dimensionamiento sin contacto de piezas con características particulares, resulta conveniente realizarlo debido a la portabilidad que propone, el ahorro de costos que generaría y la capacidad de variar su configuración de acuerdo a las características que la aplicación requiera; con esto se pretende lograr un producto económico y adaptable a casi cualquier aplicación de dimensionamiento especializado, logrando una precisión del orden de los micrómetros.

1.2.1. HIPÓTESIS.

Es posible desarrollar un prototipo de un sistema de visión sustentable y confiable, para el dimensionamiento sin contacto de objetos con dimensiones menores a un área de 60mm por 60mm.

1.3. OBJETIVOS

El desarrollo de este trabajo tiene dos vertientes, la primera de ellas es el diseño de un prototipo de un sistema de dimensionamiento sin contacto, basado en los algoritmos que se desarrollen o utilicen en éste trabajo. La segunda dirección de la vertiente, tiene como objetivo que el prototipo sea sustentable y confiable; entendiendo por sustentable que pueda convertirse en un producto y se pueda ofrecer en un mercado en el cuál exista la necesidad del dimensionamiento sin contacto. Y con ésta aplicación incursionar en el sector industrial metal-mecánico, con compañías que compartan la visión de fomentar la tecnología mexicana, permitan la implementación de éste tipo de sistemas, dentro de sus procesos de metrología.

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.

Diseño e implementación de un prototipo de un sistema de dimensionamiento sin contacto para objetos de dimensiones menores a 60mm por 60mm, bajo condiciones de iluminación controladas.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Implementar el procedimiento de calibración de la cámara con lente telecéntrica.
- Diseñar, desarrollar e implementar un prototipo de un sistema de visión que permita cuantificar las características más representativas de componentes de internos de una turbina a vapor.
- Analizar e implementar un algoritmo de procesamiento de imágenes que permita cuantificar las características más representativas de objetos con formas cóncavas y convexas.
- Implementar el modelo de dimensionamiento sin contacto usando un arreglo cámara-lente telecéntrica.

1.4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE SE PARTICIPÓ.

Se trabajó en el CIATEQ A.C. Centro de Tecnología Avanzada, empresa principalmente enfocada en la Investigación Científica y Tecnológica, en la gerencia de Turbomaquinaria en el área de Mantenimiento integral a turbocompresores, con el asesoramiento del M.C. José Guadalupe Rico Espino.

CIATEQ cuenta con 6 unidades alrededor de la república mexicana, la unidad donde se llevó a cabo el proyecto es la Unidad Querétaro, que se localiza en:

Unidad Querétaro, Querétaro.
Av. Manantiales 23-A
Parque Industrial Bernardo Quintana
C.P. 76246
Querétaro, Querétaro. México

En esta Unidad se encuentra la Dirección Adjunta de Operaciones y representación de las Direcciones de negocio de Procesos de Manufactura, Máquinas Especiales, Maquinaria Rotativa y Equipos de Proceso. Asimismo, la unidad cuenta con áreas de diseño, de capacitación y tres naves industriales para la manufactura de máquinas y prototipos, una de ellas con un centro de pórtico desplazable e instrumental necesario para el desarrollo de procesos de pailería, fundición y metalurgia.

Misión: "CIATEQ es un Centro Público de Investigación Tecnológica que mediante el diseño y desarrollo de productos, procesos, sistemas y formación de recursos humanos, crea valor para sus clientes y asociados".

Visión (2005-2015): "CIATEQ se ve como un Centro de Vanguardia en desarrollo tecnológico reconocido por la creación y fortalecimiento de empresas donde su personal se desarrolle con profesionalismo y trascienda en la sociedad".

Política de calidad: "Brindamos a nuestros clientes soluciones integrales, innovadoras, prácticas y oportunas que satisfacen sus expectativas y las de nuestros asociados mediante el mejoramiento continuo de la operación de CIATEQ".

A partir de la constitución de CIATEQ, los objetivos que se establecieron fueron los siguientes: proporcionar asesoría técnica para el establecimiento de nuevas empresas; promoción industrial y actividades de capacitación técnica de personal; proporcionar servicios de asistencia técnica en cuanto al control integral de la calidad de materiales y productos manufacturados; brindar asesoría en aspectos técnicos de diseño, métodos de manufactura, maquinaria y procesos, organización y control de la producción; realizar trabajos de investigación aplicada, innovación y desarrollo tecnológico.

CIATEQ ofrece además, asesoría, cursos y capacitación en temas de Metrología.

Máquinas y dispositivos

CIATEQ realiza un trabajo sistemático para el diseño, modernización, automatización, análisis o construcción de máquinas y dispositivos, con base en tres puntos de partida:

- Conocimientos existentes
- Conocimiento obtenido mediante investigación
- Experiencia práctica

Sobre esta base, ofrece a la industria, nuevos mecanismos, procesos, sistemas o servicios, o en su caso, la mejora sustancial de los ya existentes.

1.4.1. ÁREA DONDE SE DESARROLLA EL PROYECTO.

El proyecto está enfocado a desarrollar un prototipo que permita el dimensionamiento sin contacto de componentes de turbinas a vapor, para piezas que ocupen un área menor o igual al que abarca el sistema, también juega un papel importante en el área de metrología, que en un futuro se pretende pueda ser implementado en la misma. Lo que caracteriza al proyecto es su versatilidad, portabilidad y adaptabilidad a diferentes problemas que existen dentro del área de la metrología enfocados a resolver problemas específicos de ingeniería inversa, reconstrucción y dimensionamiento.

1.5. PROBLEMÁTICA.

Actualmente en el área de turbomaquinaria se presentan detalles al momento de medir piezas con partes demasiado pequeñas, con desgastes imperceptibles a una medición manual o con formas cóncavas o convexas demasiado intrincadas como para poder medirlas manualmente. Con el presente prototipo se busca resolver el detalle que, específicamente en el área de turbomaquinaria se presenta al momento de realizar mediciones. Se propone también un prototipo que demuestre mayor versatilidad, portabilidad y ahorro de recursos que los productos de dimensionamiento industrial existentes en el mercado.

1.5.1. CRONOGRAMA

TABLA 1-1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividad	Semana																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
1.-Revisión bibliográfica	■																					
2.-Diseño conceptual y de detalle del prototipo de dimensionamiento sin contacto.					■																	
3.-Integración y ensamble del prototipo.											■											
4.-Pruebas operativas del prototipo.																■						
5.- Documentación de resultados (reporte de residencia).				■						■						■					■	

1.5.2. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS ACTIVIDADES

1. Revisión bibliográfica.

La alumna Diana Calderón de la Cruz revisará bibliografías, teoría e investigaciones recientes sobre los temas del proyecto como son: Sistema de visión, dimensionamiento sin contacto, y sistemas de movimiento traslacional en dos ejes, manuales de operación y componentes principales del rotor de turbina a vapor. Auxiliada y dirigida por el M.C. José Guadalupe Rico Espino (Asesor externo).

2. Diseño conceptual y de detalle del prototipo de dimensionamiento sin contacto.

El M.C. José Guadalupe Rico Espino y la alumna Diana Calderón de la Cruz, realizarán en conjunto el diseño conceptual del sistema de visión del prototipo que incluye: lente telecéntrica, cámara digital, sistema de iluminación, estructura de soporte y sistema de movimiento traslacional en dos ejes apoyados por la teoría existente sobre los dispositivos a usar, información técnica de los elementos y técnicas de ingeniería.

3. Integración y ensamble del prototipo.

El M.C. José Guadalupe Rico Espino realizará la recepción de piezas y supervisará a la alumna Diana Calderón de la Cruz para que se realice el ensamble e integración de los componentes del sistema de dimensionamiento, también se revisará la teoría de caracterización del sistema de visión, del modelo geométrico de cámara-lente telecéntrica, la estimación de parámetros intrínsecos y extrínsecos, descripción del método de calibración, procedimiento de calibración y validación de calibración.

Teniendo la alumna Diana Calderón de la Cruz, un claro conocimiento del comportamiento del sistema, se realizará el *Diseño de interfaz hombre-máquina*, que incluye: el Diseño conceptual de la interfaz, evaluación y selección del programa desarrollador e implementación de la interfaz hombre-máquina.

4.- Pruebas operativas del prototipo.

La alumna Diana Calderón de la Cruz realizará las pruebas pertinentes para lograr el Dimensionamiento bajo condiciones controladas de figuras con formas cóncavas y convexas básicas y el dimensionamiento de componentes para turbomáquinas

5.- Documentación de resultados (reporte de residencia).

La alumna Diana Calderón de la Cruz, auxiliada por el M.C. José Guadalupe Rico Espino, realizará la elaboración del reporte de pruebas, elaboración del reporte final de residencia y del manual de operación del sistema de dimensionamiento.

1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES.

1.6.1. ALCANCES

Dimensionamiento sin contacto de objetos menores al área de trabajo de la lente telecéntrica (diámetro de 60mm). Las características de los objetos a reconstruir deberán incluir: propiedades no reflejantes y con formas cóncavas y convexas bien definidas.

1.6.2. LIMITACIONES:

La principal limitación para éste proyecto es el capital y tiempo.

El capital: Debido a la falta de presupuesto, que en ocasiones pueda existir; se podría dar el caso donde ya no se pudiera conseguir patrocinio de la empresa para comprar todos los componentes para la construcción del prototipo, sin embargo si así fuera, se analizaría el reemplazo por elementos de más bajo costo económico, considerando que el resultado pudiera ser de menor calidad.

El tiempo: se ha destinado un tiempo de 6 meses a la selección, compra, construcción y diseño del sistema, sin embargo hay que tomar en cuenta los imprevistos (retraso en la entrega de material por parte del proveedor, material que no hay en existencia o que tarde demasiado en llegar, tiempo de manufactura demasiado largo, problemas con las pruebas, resultados inconclusos, etc.) que pudieran retrasar el proyecto.

2. CAPÍTULO: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

En éste capítulo, se mencionan los trabajos realizados sobre los sistemas de visión, dimensionamiento sin contacto, sistemas de movimiento traslacional en dos ejes y de acuerdo a las actividades de dimensionamiento sin contacto y cuantificación de las características de productos, en algunas aplicaciones en la industria de la metrología.

La industria de la metrología requiere cada día mayor precisión en las mediciones realizadas a sus productos, lo cual ha logrado que se extienda el uso de sistemas que emplean las máquinas de medición por coordenada (MMC) como se ha presentado en Suh et al (2002). Estos sistemas proporcionan mediciones tridimensionales de la posición de la punta de contacto, así también, se han desarrollado sistemas MMC como en B. Valera O. et al (2000) con sistemas de 2 cámaras que definen posiciones mediante la punta del MMC y las coordenadas mediante el sistema de cámaras en 3D; u otros trabajos con sensores ópticos, donde se trabaja sobre diferentes puntos de la superficie de la pieza a inspeccionar y así obtener cálculos de sus dimensiones. Sin embargo, debido al tiempo requerido para el posicionamiento del sensor las MMC suelen demorar largos tiempos de inspección en comparación con los sistemas de inspección visuales, además de tomar muestras de un número reducido de puntos sobre la superficie de la pieza y generalmente ser un poco invasivos con las muestras. Con el fin de superar las desventajas presentadas por las MMC, se han desarrollado sistemas de inspección que hacen uso de técnicas ópticas de adquisición, como es el caso de la visión artificial en tres dimensiones como en N-Grandón-Pastén et al (2007) donde se utiliza un sistema de escaneo con cámaras CCD; algunos sistemas de inspección visual automatizados han sido aplicados eficientemente en numerosos procesos de control de calidad sobre diferentes productos como: Cuero, textiles, pasta de papel, vidrio, por mencionar algunos. Sin embargo, en la mayoría de tales sistemas se aplican técnicas de imágenes en dos dimensiones como se muestra en Zhengyou Zhang, (1999), en las figuras 6 y 7. En el caso de la inspección de piezas en tres dimensiones, los sistemas de inspección visual presentan una precisión de menor que las MMC, debido principalmente a que las piezas pueden ser rediseñadas mediante CAD (Diseño asistido por computadora), en donde se tiene la posibilidad de realizar la tarea de inspección mediante la comparación del modelo en CAD con el modelo virtual reconstruido, a partir de los datos tomados con el sistema de adquisición.

2.2. SISTEMAS DE VISIÓN

En éste apartado, se abordarán los desarrollos en sistemas de visión y la metodología de un diseño genérico, así como el campo de aplicación.

Primeramente, señalaremos algunas distinciones entre análisis de imágenes, procesamiento de imágenes y sistema de visión. El análisis de imágenes se refiere al equipo que realiza una valoración cuantitativa sobre patrones asociados a diversos fenómenos; químicos, físicos, metalúrgicos, entre otros y que varía dependiendo de la aplicación para la que se necesite. El procesamiento de imágenes se refiere generalmente al equipo diseñado para procesar y mejorar las imágenes para su interpretación final. Un sistema de visión se refiere al uso de dispositivos ópticos para un censado sin contacto que automáticamente adquiere e interpreta una imagen de una escena real en sentido de obtener información y controlar una máquina o proceso, también cambia dependiendo de las necesidades como se explica en H.P. Kuo et al (2008).

El sistema de visión involucra la interpretación automática de imágenes para propósitos de control: Control de procesos, control de calidad, control de máquinas y control de robots.

Los objetivos típicos de la visión artificial incluyen:

- La detección, segmentación, localización y reconocimiento de ciertos objetos en imágenes.
- Registro de diferentes imágenes de una escena u objeto.
- Seguimiento de un objeto en una secuencia de imágenes.
- Mapeo de una escena para generar un modelo tridimensional de la escena.
- Estimación de las posturas tridimensionales de humanos.
- Búsqueda de imágenes digitales por su contenido.

Estos objetivos se consiguen por medio de reconocimiento de patrones, aprendizaje estadístico, geometría proyectiva, procesamiento de imágenes, por mencionar algunos. La aplicación de los sistemas de visión se basa a su vez, por las ventajas que existen sobre la inspección visual realizada por un ser humano, la principal diferencia es que el sistema de visión artificial puede ser cuantitativo mientras que la visión humana es cualitativa y subjetiva.

La visión por computadora es un proceso que proporciona medidas en 3D a partir de las propiedades de los objetos extraídas de las imágenes (2D). Es la combinación de tres aspectos en mayor o menor medida: “Visión es la suma de Geometría, Medidas e Interpretación”.

Podemos dividir el proceso de visión por computadora en tres fases:

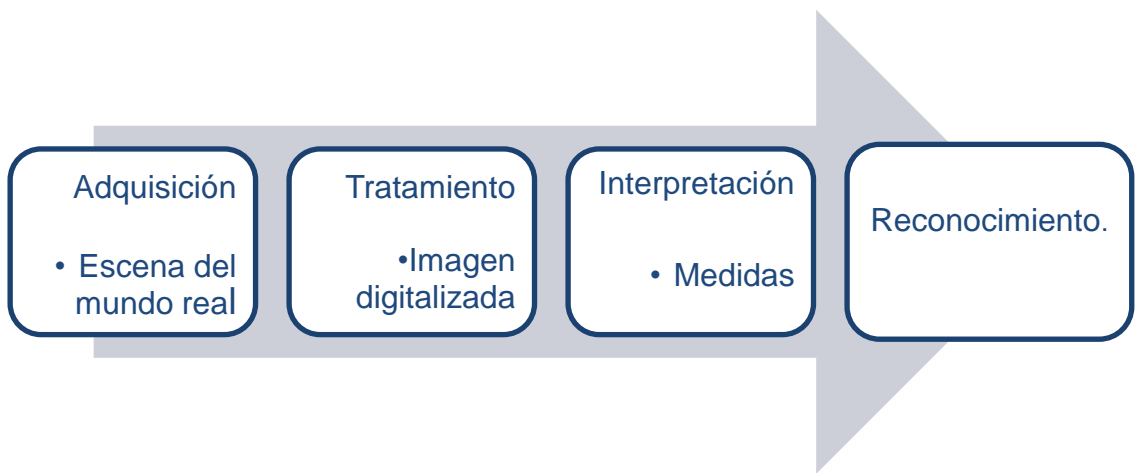


FIGURA 2.1 FASES DEL PROCESO DE VISIÓN EN LOS SISTEMAS DE VISIÓN POR COMPUTADORA.

Fase de adquisición: los sensores captan información sobre el exterior. Su aportación a la siguiente fase es una representación cuantitativa y digitalizada de la escena.

Fase de tratamiento: abarca aspectos como corrección de distorsiones, eliminación de ruido, mejora del contraste, detección de los objetos de interés (segmentación de la imagen) y medición de los descriptores de los objetos (propiedades como tamaño, forma, color, textura, etc.)

Fase de interpretación: Clasificación de objetos e identificación de escenas en base al valor de sus descriptores.

Ahora bien, en la Figura 2.2, se muestra un diagrama a bloques, sobre un sistema de visión genérico, dentro del cual se mencionan dos etapas importantes: La extracción e identificación de características y la clasificación e interpretación de las mismas.

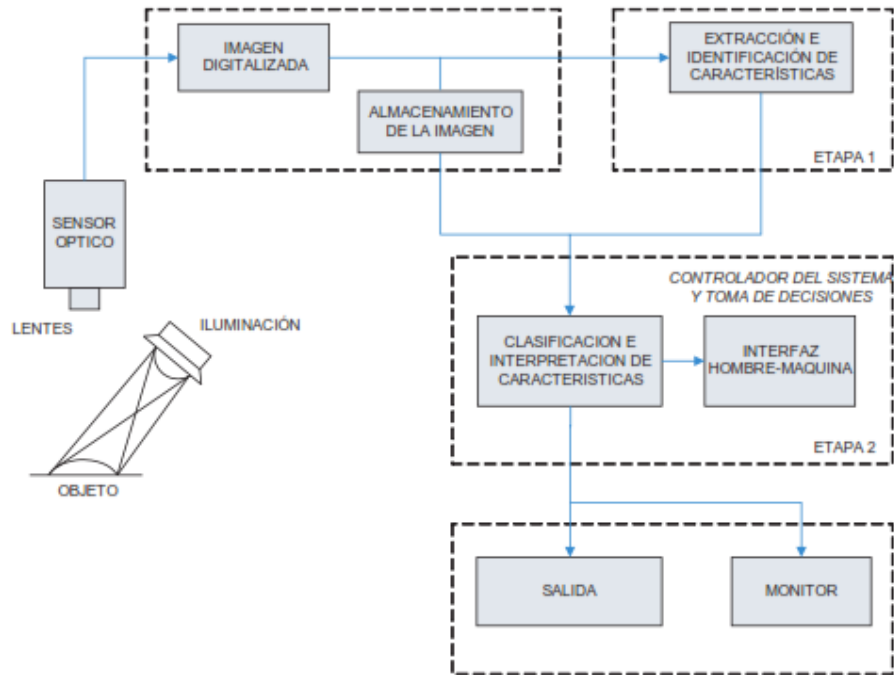


FIGURA 2.2 DIAGRAMA A BLOQUES DE UN SISTEMA DE VISIÓN GENÉRICO

Actualmente se han logrado implementar sistemas de visión para obtener mayor precisión en mediciones de geometrías de objetos, diseñando un controlador inteligente que permite controlar el proceso. A su vez, se han desarrollado los algoritmos de procesamiento de imágenes en línea para extraer características de imágenes con alto índice de brillo y perturbaciones debido al movimiento, como en Yu-Shan Li et al (2010) donde se recurre al uso de matrices y calibración con tablero de ajedrez. Así entonces, un sistema de visión automático puede mejorar los factores propios de una inspección visual humana (subjetividad, repetitividad y que fácilmente causa fatiga), factores que están ligados con el resultado final de la inspección visual. El sistema debe cumplir con dos tareas: Identificar y clasificar los diferentes tipos de defectos. Las características relevantes de los defectos del objeto mediante inspección radiográfica, con el fin de realizar la clasificación, utilizando para ello la correlación lineal entre las características geométricas y los tipos de defectos, se realiza mediante la implementación de un clasificador mediante una red neuronal artificial.

Por otra parte, se ha desarrollado un sistema borroso experto para la selección del número de variables representativas en un sistema de clasificación de tipos de fallas en la inspección radiográfica. También se han presentado las expectativas que un sistema de visión debe cumplir, a saber: la adquisición y análisis de la imagen, como en Yu-Shan Li et al (1989) donde aprovechan el uso de tres cámaras CCD para realizar la adquisición y el reconocimiento de ciertas características u objetos en la imagen y la exploración y el aprovechamiento del entorno de trabajo. Se tiene también en Chun Yang et al. (2010) un método que combina control borroso y retroalimentación visual, aplicando la detección de bordes, en la cual se toma la dimensión de la imagen a tratar como objeto a controlar en los procesos en los que se ocupará el sistema de visión. En ese mismo sentido, se ha implementado la optimización del seguimiento en línea para manipuladores guiados, generando patrones con líneas curvas en segmentos, formados mediante la interpretación de imágenes.

Como podemos darnos cuenta, la aplicación del procesamiento de imágenes en distintas áreas de los procesos industriales, permiten conocer la amplia aplicación de los sistemas de visión a procesos de alto riesgo para el ser humano y en los cuales su intervención, podría ocasionar serios daños a sí mismo y al proceso.

2.3. DIMENSIONAMIENTO SIN CONTACTO

La necesidad de medir de forma precisa junto con la aparición de superficies difíciles o que no admiten ser tocadas durante el proceso empujan el crecimiento que hoy en día está experimentando el uso de tecnologías sin contacto para la detección y la medición. En el mercado aparecen sensores de múltiples formas y tamaños, basados en diferentes principios de funcionamiento. El dimensionamiento sin contacto elimina el contacto entre la pieza de trabajo a dimensionar y la herramienta de medición.

Conjugando diferentes técnicas ópticas con modernos sistemas informáticos, los sistemas de visión artificial constituyen una de las herramientas más completas para la detección y medición sin contacto como en U. Mujika T. (2010), donde gracias a sistemas de visión con múltiples imágenes y algoritmos donde se resuelven los parámetros, matrices de rotación y traslación que simulan el modelo geométrico de ese sistema y un patrón de calibración tipo tablero de ajedrez para lograr la calibración de la cámara y realizar las mediciones requeridas. Estos sistemas son flexibles, versátiles y potentes. Varios métodos han sido propuestos para determinar el perfil de superficies en 3D. Estos métodos pueden ser clasificados en cuatro categorías: Los basados en dispositivos mecánicos, los basados en arreglos interferométricos, los basados en la proyección de luz estructurada sobre la superficie de prueba y otros que emplean el fenómeno de la reflexión.

-Los mecánicos rayan la superficie de prueba como palpadores, necesitan experiencia y producen errores cuando se miden superficies con grandes pendientes, como en B. Valera O (2000).

-Los basados en arreglos interferométricos, tienen mediciones con alta resolución, pero inestabilidad y se requieren técnicas de estabilización electrónica, técnicas fotográficas de alta velocidad y una alineación estricta, como se explica en Li Yuhuan et al (2009).

-Los de proyección de luz tienen baja resolución que se alcanza, pero no dañan las superficies de prueba.

-La última técnica, reflexión, ésta proporciona un método para medir perfiles de objetos en 3D, con formas cóncavas o convexas no reflectoras.

Éstos a su vez los podemos subdividir en dos: por contacto y sin contacto; el primero, obtiene las coordenadas de los puntos del objeto mediante un palpador, necesita experiencia y la punta puede dañar el objeto por contacto

(Mecánicos); y los segundos capturan los puntos del objeto con una velocidad superior, como la visión activa que utiliza una fuente de luz que determina las coordenadas 3D y se fundamenta en el cálculo de la profundidad.

2.3.1. EJEMPLOS DE MEDICIÓN ÓPTICA SIN CONTACTO:

- Digitalización por láser: (láser de diodos) Se envía una línea de luz sobre la superficie, se lee mediante dos células fotosensibles que transmiten la información del perfil de la pieza al software.
- Proyección de luz estructurada: ⁱ Con Proyección de luz blanca como emisor y una Cámara CCD como receptor se proyecta una imagen, matemáticamente el sistema del proyector es un emisor de planos y la cámara CCD es un receptor de líneas rectas. Se resuelve entonces las intersecciones plano-recto.
- Telemetría: Mide el tiempo de recorrido de un rayo láser puede ser: por diferencia de fase (se regula el impulso luminoso y se mide el desfase entre el rayo emitido y la luz que regresa) o por tiempo de vuelo (que mide el tiempo en que la luz recorre la distancia de ida y regreso)
- Autocolimador: uso de luz colimada para medir desviación angular.
- Proyector de perfiles: donde la medición toma lugar sobre una imagen proyectada, aumentada de la muestra en lugar de la muestra misma.
- Microscopio de medición con cámara digital: donde con la ayuda de programas de análisis de imágenes, las mediciones se realizan en la imagen capturada.
- Visión/vídeo medición: a diferencia de las opciones descritas arriba, la medición por vídeo no se restringe al campo de observación y es una opción ideal para tareas de metrología automatizadas de alta precisión.
- Sistemas de visión confocal: para mediciones precisas en eje Z.
- Interferometría: esta tecnología basada en láser requiere de un microscopio de alta resolución, un interferómetro y el programa apropiado. Esta puede resolver pequeñas diferencias en las características de la superficie (en la escala nanométrica).

2.3.2. MÉTODOS USADOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO SIN CONTACTO.

Dada la dificultad para generar datos sintéticos adecuados y la imposibilidad de repetición en el proceso de producción industrial; se han evaluado diversos algoritmos de compresión de vídeo en tiempo real con objeto de almacenar la información de entrada al sistema. A partir de esta evaluación se desarrolla una herramienta de grabación y reproducción de vídeo comprimido en tiempo real que permite realizar pruebas off-line con datos reales así como validar el diseño del sistema. Además, también permite generar una base de datos que representa el amplio rango de condiciones superficiales que puede presentar el objeto a evaluar.

- *Triangulación óptica por láser*

Con el objetivo de extraer la proyección del patrón láser de la escena de forma

robusta y precisa se analizan las técnicas existentes y se estudia su aplicabilidad en un entorno hostil. Las técnicas se centran principalmente en la precisión de la detección del láser, siendo poco robusta su utilización en un entorno industrial, por lo que se diseña un método que garantice la extracción del patrón láser en condiciones adversas. El método propuesto se divide en dos fases. En primer lugar se realiza un proceso de búsqueda del láser en reposo aplicando criterios de búsqueda local. En segundo lugar, basándose en la información obtenida en la fase anterior, se realiza un proceso de búsqueda global sobre la superficie de la banda. Esta segunda fase consiste en un proceso de ajuste de segmentos curvos basado en una técnica de división y unión de regiones.

- *Digitalización 3D*

Permite capturar coordenadas de puntos de medida con precisión y velocidad; y llevarlos a un software como el CAD 3D.

- *Malla poligonal deformable*

Consiste en un conjunto de puntos en formato matricial para los que se conoce su posición, pero utilizando las posiciones de estos puntos, se establecen planos (3 puntos por cada plano). De esta forma, partiendo de información discreta (posiciones de puntos) podemos representar superficies

continuas. Es utilizado tanto durante el proceso de cálculo de las dimensiones, como durante la representación del objeto.

- *Método estéreo*

Hace referencia a los puntos que corresponden entre 2 o más imágenes tomadas de la escena desde diferentes puntos de vista, como en N. Grandón-Pastén et al (2007), donde se trabaja con una triangulación a partir de dos o más imágenes tomadas con su sistema de visión.

- *Mapeo de imagen [Image Matching]*

Contraoponer imágenes es el primer paso en casi cualquier visión por computadora en 3D, y por lo tanto ha recibido extensa atención. Como se explica en Zhengyou Zhang (1999) donde, dos imágenes de diferentes resoluciones, o sea, alta resolución contra baja resolución se hacen coincidir y aparte resuelve los cálculos de parámetros de la cámara utilizada. Tenemos que la alta resolución solo corresponde a pequeñas regiones de la imagen de baja resolución, el contraoponerlas por lo tanto consiste en encontrar una pequeña región en la imagen de baja resolución que pueda ser asignada a toda la imagen de alta resolución mediante el plano de transformación similar, el cual puede ser definido en el área local coeficiente correlativo para hacer coincidir el punto de interés y rectificado por transformación similar. El experimento muestra que nuestro algoritmo de contraoponer imágenes puede usarse para escales cambiándolo a un factor de 6. Y exitosamente logra el punto a coincidir entre dos imágenes a gran escala.

- *Reconstrucción discreta*

El objetivo de estas reconstrucciones es estimar la pose de una serie de objetos en la escena. Para ello reconstruyen puntos de la escena, y a continuación buscan el objeto al que corresponden. Una vez identificados un conjunto de puntos como pertenecientes a un objeto, se calcula la posición de estos puntos en el propio objeto. Tras esto obtenemos la posición en el espacio físico del objeto en sí y la orientación (pitch, roll & yaw) del mismo, un ejemplo claro de éste proceso se nos da en X. Tao, (2009); donde se posiciona al sistema de visión y se busca el mejor ángulo para obtener la información deseada.

Una vez se ha generado un dimensionamiento discreto del objeto o de la escena, y se tienen un conjunto de puntos de la superficie del objeto o de la

escena, es posible interpolar la posición del resto de puntos para obtener una superficie densa. En las zonas vacías que se encuentran entre los puntos dimensionados, es posible “expandir” los puntos conocidos más cercanos para obtener una aproximación a la superficie real.

- *Digitalizado y copiado láser*

El sistema de copiado y digitalizado por láser nos permite de manera rápida, precisa y cómoda la captura de superficies tridimensionales para su posterior reproducción o análisis.

Las ventajas sobre otros métodos son claras:

- ❖ Gran velocidad de adquisición de puntos.
- ❖ Precisión
- ❖ Calidad de los datos tomados.

Debido al superior método de captura de datos, la calidad de los datos adquiridos se ve incrementada por medio de los filtros digitales de supresión de ruido y una mejor reproducción de paredes verticales.

El sistema de *copiado láser* está compuesto de: digitalizador láser, electrónica de captura de datos, software de adquisición, generación de superficies y mecanizado.

Algunas de sus aplicaciones: Joyería, captura de texturas naturales (piedra, mármol, etc.), dimensionamiento y copia de objetos tridimensionales, verificación de mecanizados, ingeniería inversa.

En una máquina de control numérico (CNC), a diferencia de una máquina convencional o manual, una computadora controla la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina, como en B. Valera. O. (2000). Gracias a esto, se pueden realizar movimientos que no se podrían lograr manualmente como círculos, líneas diagonales y figuras complejas tridimensionales.

El término "control numérico" se debe a que las órdenes dadas a la máquina son indicadas mediante códigos numéricos. Se considera control numérico a todo dispositivo capaz de dirigir posicionamientos de un órgano mecánico móvil, en el que las órdenes relativas a los desplazamientos del móvil son elaboradas en forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas definidas, bien manualmente o por medio de un programa.

El dimensionamiento y la reconstrucción de la forma tridimensional de objetos reales ocupan un campo muy importante dentro de la visión por computadora y es de aplicación, entre otras, en disciplinas tan dispares como la ingeniería inversa, la metrología, la navegación automática o la inspección y el control automáticos de calidad.

Las mediciones sin contacto en metrología tienen la ventaja de que elimina la posibilidad de que se dañe la pieza (por deformación, rayadura o contaminación) a través del contacto con la herramienta de medición. Esto puede ser importante, por ejemplo, cuando mide materiales suaves, flexibles o en ambientes críticos a la contaminación como la fabricación de semiconductores. Las mediciones sin contacto, especialmente usando sistemas de visión/video, pueden ser una ventaja donde se requiere de velocidad y precisión, como en una línea de proceso donde se debe inspeccionar la calidad del producto. La operación automatizada además, puede eliminar el error del operador e incrementar grandemente la salida de piezas.

2.4.TURBOMAQUINARIA.

Una turbina de vapor es una máquina de calor que convierte la energía térmica y de presión del vapor en energía mecánica. Son utilizadas para conducir equipos tales como: generadores, ventiladores, bombas, compresores, etc.

Las turbinas son consideradas máquinas de flujo constante, donde el vapor es introducido por las toberas para posteriormente expandirse hasta llegar a una presión mínima, debido a éste fenómeno, el vapor incrementa su velocidad y parte de su energía cinética es cedida a los álabes en sus diferentes etapas. Existen principalmente dos tipos de turbinas: las turbinas de acción y las turbinas de reacción. Las primeras utilizan el impulso del flujo para mover los álabes a través de las toberas montadas sobre el bastidor, a diferencia del segundo tipo de turbinas, que se construyen de tal manera que los espacios entre los álabes tengan la forma de toberas y así la reacción ejercida por el vapor saliente sobre éstas haga girar al rodete.

La transformación de la energía se lleva a cabo mediante fuerzas ejercidas sobre los álabes, debido a las variaciones del movimiento del vapor al pasar a través de los canales de los álabes, a medida que el vapor transita por las toberas la entalpía se convierte en energía cinética. Desde un punto de vista ideal, toda variación de entalpía se manifiesta en energía cedida al eje, de ésta manera la turbina ideal, tiene un especial interés cuando se trata de analizar tanto la velocidad y comportamiento del flujo, como el diseño de las toberas.

Los álabes, conectados al rotor, transforman la velocidad del vapor en movimiento rotacional y el rotor convierte la alta velocidad del flujo de vapor en movimiento rotacional. En una turbina multi-etapa, una etapa consta de álabes rotativos y estacionarios. Los álabes estacionarios pueden ser ensamblados en forma de anillo o en forma de diafragma. Cualquiera que sea el caso, su función es direccionar el vapor hacia los álabes rotativos, haciendo girar el rotor y produciendo trabajo mecánico.

Las toberas en la etapa de mediana presión están formadas por secciones de toberas de acero inoxidable con anillos de metal sólido internos y externos, los cuales son soldados a una sección central. Los diafragmas de baja presión algunas veces son hechas en secciones de hierro fundido. Este diseño incluye un colector de humedad para atrapar gotas de agua condensada y mantenerlas en la trayectoria del vapor.

2.4.1. ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA TURBINA DE VAPOR

Los elementos principales de una turbina de vapor son:

- *Rotor.* Es el elemento móvil del sistema. La energía desprendida por el vapor en la turbina se convierte en energía mecánica en este elemento. Dado que la turbina está dividida en un cierto número de escalonamientos, el rotor está compuesto por una serie de coronas de alabes, uno por cada escalonamiento de la turbina. Los alabes se encuentran unidos solidariamente al eje de la turbina moviéndose con él.
- *Estator.* El estator está constituido por la propia carcasa de la turbina. Al igual que el rotor, el estator está formado por una serie de coronas de alabes, correspondiendo cada una a una etapa o escalonamiento de la turbina.
- *Toberas.* El vapor es alimentado a la turbina a través de estos elementos. Su labor es conseguir una correcta distribución del vapor entrante/saliente al/desde el interior de la turbina.

A continuación se muestra la figura de una turbina de vapor seccionada donde se puede apreciar tanto el estator como el rotor con álabes y el flujo que sigue el vapor a través de la misma.

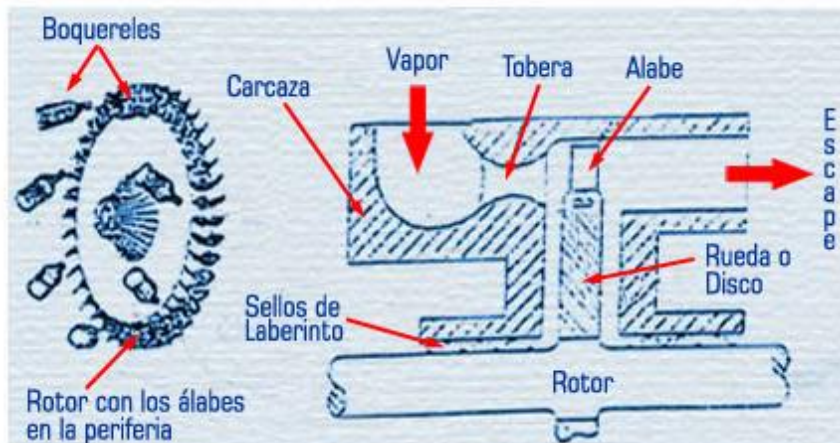


FIGURA 2.3 ESQUEMA DE LAS PRINCIPALES PARTES DE UNA TURBINA.

2.4.2. REPARACIÓN Y LIMPIEZA DE COMPONENTES ROTATIVOS

Cuando un componente rotatorio se ha dañado, el ingeniero de mantenimiento debe buscar la causa del deterioro y de esta manera tomará la acción más apropiada que permitirá su rehabilitación en el menor tiempo posible. Estos elementos rotatorios están sujetos a altos niveles de esfuerzos, los cuales pueden agravar el daño presentado, debido a los incrementos en los niveles de esfuerzos, los cuales pueden agravar el daño presentado, debido a los incrementos en los niveles de esfuerzos actuantes, y como consecuencia reducir el factor de seguridad del mismo. Los componentes con mayor frecuencia de deterioro son: el rotor, los alambres de retención y los flejes. Es por ello que la reparación por soldadura o reconstrucción de rotores representa un método aceptable de regresar el rotor a su completa condición de operación en un periodo corto de tiempo comparado con el tiempo que se requiere para producir un nuevo rotor.

2.4.2.1. Mecanizado adaptativo para reparación de álabes de turbina

El CNC de respuesta en tiempo real trae nuevas posibilidades para aplicaciones difíciles de mecanizado.

El término "mecanizado adaptativo" es usado ampliamente en estos días. En general, describe una tecnología que adapta los datos de manufactura a condiciones variables. El mecanizado adaptativo se usa por lo general cuando los componentes individuales en un lote tienen ligeras diferencias geométricas. Estos componentes con frecuencia requieren mezcla y operaciones de pulido basadas en la habilidad y destreza de la mano humana.

Algunos sistemas de los cuales se dice son adaptativos, realmente ofrecen la capacidad de "mejor ajuste". Es decir, alinean una pieza de trabajo en una posición de dato conocida. La tecnología de mecanizado verdaderamente adaptativa se enfoca en las variaciones específicas que hacen diferente una pieza de trabajo de otra. Usa un sistema de escaneado, un software especial y un computador servidor integrado con un control de máquina CNC para tomar el control ejecutivo del proceso, modificando de manera automática los

patrones de herramientas programados para cubrir las variaciones de parte a parte.

Los procesos para manufacturar y reparar álabes y aspas usados en motores de turbinas de gas son aptos inherentemente para mecanizado adaptativo. Esto porque poseen un amplio rango de retos complejos relacionados con la geometría, que requiere a menudo estrategias de mecanizado en cinco ejes. Es decir, algunas operaciones de reparación, como re-contornear perfiles aerodinámicos después de reparaciones de soldadura, se continúan realizando manualmente. Por esto la industria de turbinas de gas es el foco principal para TTL, una compañía de Reino Unido que ha diseñado y entregado sistemas de mecanizado adaptativo personalizados por casi 20 años. TTL es parte de StarratHeckert.

2.4.2.2. Métodos de reparación y reacondicionamiento para los flejes deteriorados.

Los flejes y los remaches formados en el tetón, los cuales son fabricados del material de la vena del álabe, pueden estar sujetos a daños por impacto debido a partículas sólidas de deshecho, erosión u oxidación que son transportadas por el vapor, donde cada impacto ocasiona desprendimientos de material de la cabeza del tetón, que a su vez el material desprendido puede continuar provocando mayor deterioro, hasta el punto que en el tetón no existe material suficiente para retener el fleje en su posición debido a las fuerzas actuantes. La erosión por el impacto del agua; puede remover material tanto del tetón como del fleje, normalmente la pérdida del material del fleje es insignificante, pero la pérdida de material en el tetón puede producir serias consecuencias. Otros tipos de daños en los flejes son causados por velocidades excesivas durante largos periodos, donde es posible que la sección del fleje pueda desprenderse, esto debido a mayores tolerancias entre la cabeza del tetón y el fleje. También es posible que se dañe el fleje por causa de una fricción axial es causa del rozamiento entre los álabes estacionarios a la descarga y los álabes móviles de succión.

La reparación de un tetón puede ser posible a través de modernas máquinas de soldadura, las cuales reconstruyen la sección del tetón. Este método ha sido el más satisfactorio con lo que respecta a incrementar la vida útil del álabe, y puede ser usado sin que exista problema alguno en el acoplamiento. El material de soldadura seleccionado en cualquier situación en particular depende principalmente de la temperatura de operación de la etapa. La

reparación con Inconel (material de súper-aleaciones de base níquel-cromo) puede ser una muy buena alternativa, en el caso de utilizar algún acero será necesario extraer el álabe del rotor para realizar el tratamiento térmico para obtener las propiedades del material y el relevado de esfuerzos correctos.

2.4.3. COMPONENTES PARA DIMENSIONAMIENTO.

2.4.3.1. Álaves.

El aspecto más crítico de la confiabilidad de una turbina de vapor se centra en el diseño del álabe “cubeta”. Ya que las cubetas, o álaves rotativos, están sujetos a fuerzas inestables de vapor durante su operación, y el fenómeno de resonancia de vibración debe ser tomado en cuenta. La resonancia ocurre cuando una frecuencia estimulante coincide con una frecuencia natural del sistema. En condiciones de resonancia, la amplitud de vibración está primeramente relacionada con el tamaño del estímulo y amortiguamiento presentes en el sistema.

La alta confiabilidad de los álaves requiere diseños con mínima vibración de resonancia. El proceso de diseño empieza con el cálculo detallado de las frecuencias naturales del álabe en los modos tangencial, axial, torsional y modo complejo, que son verificados con datos experimentales. Además, las formas aerodinámicas de las toberas y las holguras en gran parte de las etapas son usadas para reducir las estimulaciones en el álabe. La cubierta del álabe es usada en algunas o todas las etapas para atenuar vibraciones inducidas. Estas prácticas de diseño, junto con avanzadas técnicas de manufactura de precisión, aseguran la confiabilidad necesaria del álabe.

Casi todos los álaves usados en las turbinas de vapor son construidos de un bloque formado o de un bloque burdo. Los álaves de bloque formando son maquinados de piezas con forma de ala de cierto material. Los álaves de bloque burdo son maquinados de una pieza rectangular o una barra. El costo de maquinado de un álabe en un bloque formado es mucho menor que el costo de un álabe en bloque burdo.

Los materiales de los álaves son seleccionados basados en la deformación, fatiga, corrosión, erosión. Algunos de los materiales usados típicamente para los álaves son acero inoxidable 403, Acero inoxidable 422, A-286, Aleación número 31 de cobalto-cromo de Haynes (Stellite) y aleaciones de titanio. El acero inoxidable 403 es esencialmente el material estándar de la industria para fabricar álaves y, en turbinas de vapor de impulso, es encontrado en

probablemente un 90% de todos los pasos. Es usado por su alta resistencia a la cedencia, su límite de endurecimiento, ductilidad, dureza, resistencia a la erosión y corrosión, y por su coeficiente de amortiguamiento. Es usado con un rango de dureza Brinell de 207 a 248 para maximizar su coeficiente de amortiguamiento y resistencia a la corrosión. El acero 422 es aplicado en las etapas de alta temperatura (entre 700 y 900°F o 371 y 482°C), donde se necesita su alta cedencia, endurecimiento, creep y resistencia a la ruptura. El A-286 es una super aleación de base níquel que es generalmente usado en las turbinas de gas en las etapas de 900 y 1150°F (482y 621°C). La aleación de Cobalto-Cromo de Haynes número 31 es usado en etapas con temperaturas de 900 y 1200°F (482° y 649°C). Otro material usado en la construcción de álabes es el titanio. Su gran resistencia, baja densidad, y buena resistencia a la erosión lo hace un buen candidato para los álabes de la etapa de alta velocidad o la etapa de álabes largos.



FIGURA 2.4 ÁLABES

2.4.3.2. Raíz de álabes.

La raíz estándar usado en la mayoría de las configuraciones de álabes es comúnmente referida como raíz de “cola de paloma”. Los álabes hechos de bloque formado producidos por Dresser-Rand usan un solo diente tipo cola de paloma como raíz mientras que los álabes de bloques burdos tienen tres variaciones en el diseño de la raíz cola de paloma. Estas variaciones son los dos dientes internos (2TBS), dos dientes maquinados (2TBM), y dos dientes centrales maquinados (2TCM). La raíz “TBS es usada para aplicaciones de álabes cortos, y de baja velocidad mientras que la 2TM y la 2TCM son normalmente usadas para álabes largos y aplicaciones de alta velocidad. Además de los diseños de la raíz tipo cola de paloma los fabricantes como Dresser-Rand y otros también usan dos tipos de raíces especiales: el de entrada axial (tipo árbol) y la raíz tipo dedo. La raíz de entrada axial, es usada principalmente donde los esfuerzos centrífugos de la raíz son altos

mientras que las raíces tipo dedo son usadas en álabes largos, y del último paso. Algunas de las características del diseño especial de los álabes maquinados deben ser un radio para ajustarse con el diámetro del estriado para asegurar el contacto completo del diente a lo largo de su paso. El lado cóncavo (frontal) y convexo (trasera) de la raíz son maquinados con un ángulo que brinde contacto total a lo largo de éstas caras cuando los álabes sean ensamblados.

Los esfuerzos del fleje y del tetón se vuelven excesivamente grandes cuando la velocidad de la turbina es alta o el espaciado del álabe es grande, y para estos casos un fleje integrado o diseño de álabes sin fleje son usados. Otro tipo especial de flejes son los flejes integrados interconectados (tipo Z), el fleje integrado tipo remache y el fleje integrado con un alambre de enlace. Un alambre de enlace, puede ser usado en el fleje o en el perfil del álabe, es usado para dar más amortiguamiento para reducir el esfuerzo de vibración.

2.4.3.3. Chumaceras y zapatas.

Casi toda máquina industrial pesada utiliza algún tipo de chumaceras, ya que su función es soportar el rotor y mantener separadas las superficies giratorias del rotor de las partes estacionarias de la carcasa y controlar el movimiento causado por las fuerzas desbalanceadas, fuerzas aerodinámicas y excitaciones externas de los sellos y acoples. Las principales características de las chumaceras son su capacidad para absorber energía, para amortiguar vibraciones y su longevidad debido a la ausencia de esfuerzos de contacto rodante. La amortiguación es muy importante en muchos tipos de máquinas rotativas donde las chumaceras son a menudo la principal fuente de absorción de energía necesaria para controlar las vibraciones y evitar el desgaste. Las chumaceras también juegan un papel importante para determinar la estabilidad rotodinámica, convirtiendo su selección y aplicación en un paso crucial en el desarrollo de sistemas de rotor.

Las chumaceras de geometría fija difieren de las chumaceras de dados pivotados en que las de geometría fija no tienen partes móviles, haciendo los lóbulos o arcos estacionarios alrededor del eje. Pueden ser radiales o axiales su fin es soportar la flecha y contrarrestar desplazamiento, respectivamente; por lo que siempre existirá cierto desgaste en las piezas, incluso con el uso de aceite.

Las chumaceras constituyen uno de los componentes más críticos en las máquinas rotativas. Aunque muchos problemas se detectan en las

chumaceras, la fuente no necesariamente se origina en ellas. Las chumaceras obedecen normalmente a un diseño cuidadoso y en caso de mal funcionamiento de la máquina rotativa, éste tiende a manifestarse a través de ellas.

Se han desarrollado varios diseños de chumaceras de geometría fija para satisfacer las necesidades de funcionamiento específicas de algunos equipos.

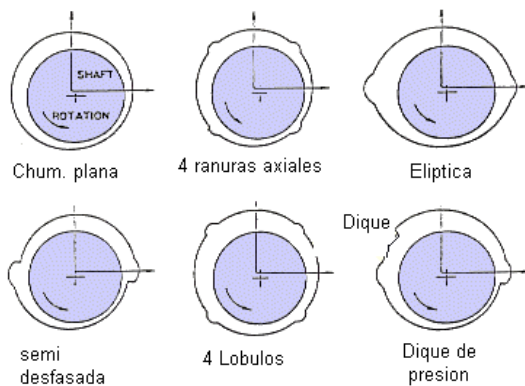


FIGURA 2.5 CHUMACERAS DE GEOMETRÍA FIJA



FIGURA 2.6 CHUMACERA PLANA CON DOS RANURAS PARA ENTRADA DE ACEITE

2.4.3.4. Chumacera radial plana

Este es el diseño más común de chumacera radial, donde el eje está totalmente encerrado por una cubierta cilíndrica plana. No hay precarga porque la superficie de la chumacera es concéntrica con la superficie del eje. Estas chumaceras tienen la más alta cupla cruzada de todas las chumaceras, por lo que es el diseño más desestabilizante rotodinámicamente; son adecuadas para ejes de baja velocidad altamente cargados los cuales no están sometidos a inestabilidad rotodinámica. Las ventajas son su bajo costo y fácil fabricación. Algunos ejemplos incluyen las chumaceras de cigüeñales de automotores, turbomaquinaria altamente cargada y muchas otras aplicaciones.

2.4.3.5. Chumaceras con ranuras axiales

La chumacera con ranuras axiales es similar a la chumacera plana, pero con dos o más ranuras adicionales para el suministro de aceite. Igual a la

chumacera plana, no hay precarga y tiene una alta tendencia a la inestabilidad. Las ventajas son su bajo costo y fácil fabricación. Estas chumaceras son muy comunes en muchos tipos de maquinaria comercial incluyendo turbinas, generadores, motores, bombas y compresores.

2.4.3.6. Chumaceras de empuje

Su principal objetivo es reaccionar a las fuerzas axiales que actúan sobre los álabes y discos del rotor, éste tipo de chumacera mantiene al rotor en una posición axial. Lo que mantiene a su vez los claros entre los diafragmas y los discos de álabes. Las chumaceras de empuje se dividen en chumaceras de baleros o bolas y zapatas basculantes.



FIGURA 2.7 ESQUEMA DE ZAPATAS BASCULANTES.

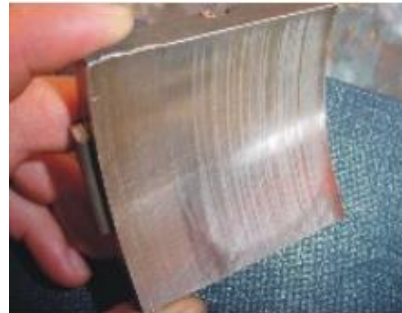


FIGURA 2.8 DESGASTE EN ZAPATAS.



FIGURA 2.9 ENSAMBLES INFERIORES DE CHUMACERAS.

La mayor dificultad para verificar el claro diametral en chumaceras radiales, se presenta cuando se trabaja con chumaceras de zapatas basculantes. Existen varios procedimientos o métodos para lograrlo, pero la mayoría son de contacto como: “El método de levante” donde se usa un muñón que se

hunde entre las dos zapatas inferiores, y por lo general resultan valores mayores a los especificados.

2.5. SISTEMA DE MOVIMIENTO TRASLACIONAL EN DOS EJES.

2.5.1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas traslacionales son aquellos en los cuales el movimiento se produce a lo largo de una línea recta, un engranaje sirve para transmitir movimiento circular mediante contacto de ruedas dentadas. Una de las aplicaciones más importantes de los engranajes es la transmisión del movimiento desde el eje de una fuente de energía, como puede ser un motor de combustión interna o un motor eléctrico, hasta otro eje situado a cierta distancia y que ha de realizar un trabajo. De manera que una de las ruedas está conectada por la fuente de energía y es conocido como engranaje motor y la otra está conectada al eje que debe recibir el movimiento del eje motor y que se denomina engranaje conducido. Si el sistema está compuesto de más de un par de ruedas dentadas, se denomina “*tren*”. Tabla 3.1.

Debido a las exigencias de calidad, cada vez mayores, de los productos generados por los sistemas de producción actuales, los elementos que los componen tienen que disponer de una mayor precisión, versatilidad y fiabilidad. La robótica y manipulación son dos de las tecnologías integradas en estos sistemas, con mayor proyección en nuestros días.

Las labores de manipulación se pueden automatizar de forma sencilla con módulos lineales, accionados por servomotores. Tanto el posicionamiento como el perfil de movimiento de los módulos lineales se pueden controlar con exactitud para adaptarlo a las diferentes necesidades.

La combinación de dos o tres módulos lineales en dirección "y", "x" y/o "z" permite un movimiento libre en el plano vertical y horizontal o en el espacio. Esto hace posible, múltiples soluciones de robótica.

Las herramientas de trabajo tales como herramientas de agarre, soldadura o pegado (dependiendo de la aplicación o el proceso donde se utilice) se pueden adaptar de manera sencilla y se pueden gobernar a través de los servoaccionamientos (Drivers).

SISTEMA	EXPLICACIÓN	EJEMPLO
ENGRANAJE-CADENA	Formado por dos ruedas dentadas y una cadena de eslabones articulados. Los engranajes giran los dos en el mismo sentido. Se utiliza para transmitir el movimiento entre ejes paralelos lejanos.	
TREN DE ENGRANAJES	Formado por ruedas dentadas. No necesitan mecanismos para transmitir el movimiento, ya que los dientes de los engranajes engranan entre sí transmitiendo el movimiento de uno a otro. Suele utilizarse para ejes paralelos cercanos. Al engranar los dientes, el engranaje unido al eje del motor empuja al engranaje arrastrado en sentido contrario. Si queremos que ambos ejes giren en el mismo sentido deberemos incluir un engranaje loco, no irá unido a ningún eje, entre los dos.	
ENGRANAJES CÓNICOS	También está formado por ruedas dentadas pero estas tienen los dientes formando un ángulo, de 45°. Los engranajes simulan un tronco de cono. Esto nos permite transmitir el movimiento entre dos ejes que formen un ángulo recto.	
ENGRANAJE-TORNILLO SIN FIN	También lo utilizamos para transmitir el movimiento entre ejes que formen 45°. El tornillo sin fin tiene un sólo diente con forma de hilo de rosca (helicoidal). Cada vez que el tornillo sin fin da una vuelta completa, sólo avanza un diente del engranaje.	
PIÑÓN-CREMALLERA	Formado por una rueda dentada (piñón) y un engranaje "plano" (cremallera). Al girar el piñón desplaza la cremallera en línea recta. Transmite el movimiento y lo transforma de rectilíneo a circular y viceversa. El desplazamiento de la cremallera (L_c) es igual a la longitud de la circunferencia del piñón (L_p) en una vuelta.	

TABLA 2-1 SISTEMAS DE MOVIMIENTO TRASLACIONAL (1 EJE).

2.5.2. ROBOTS CARTESIANOS DE DOS EJES.

Un sistema de coordenadas es un sistema que utiliza uno o más números (*coordenadas*) para determinar unívocamente la posición de un punto o de otro objeto geométrico.

El robot cartesiano de dos ejes es un sistema de posicionamiento sobre un plano X-Y, basado en dos ejes de portal accionados por servomotores. El control de la potencia de los servos se realiza a través de dos controladores (*Drivers*). La programación de las tareas de posicionamiento se realiza a través de una interpoladora de ejes que realizará el control de todo el sistema, con la posibilidad de definir las trayectorias.

El esquema de bloques del sistema es el siguiente:

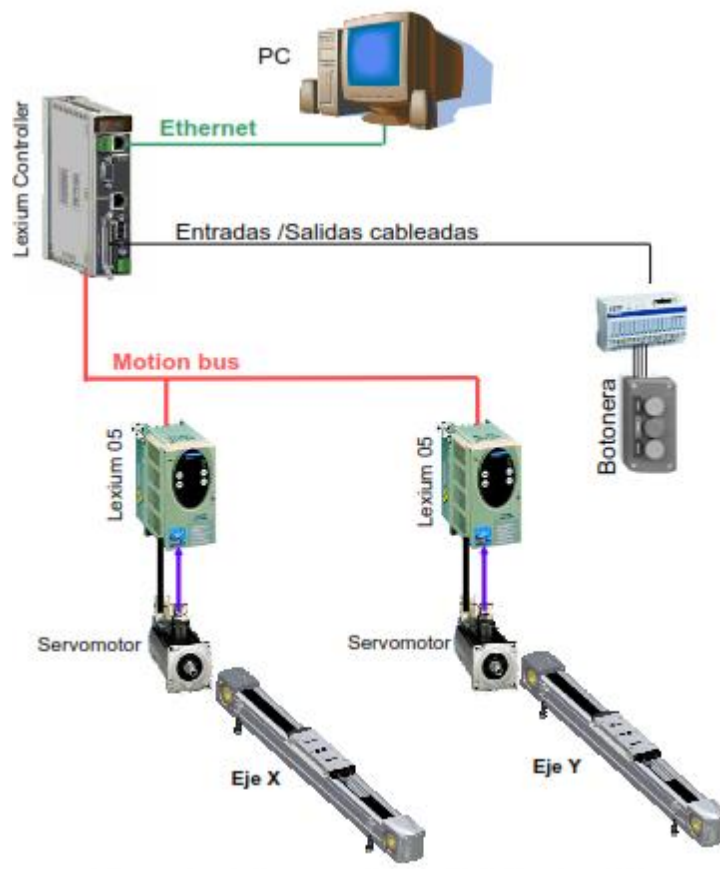


FIGURA 2.10 ESQUEMA DE UN SISTEMA DE POSICIONAMIENTO X-Y

Dentro del equipo se definen tres zonas de trabajo:

- *Área de producción:* Es el área donde se realiza los movimientos de posicionado.
- *Área eléctrica:* Es la zona donde están colocados todos los elementos eléctricos y de control.
- *Área de mando o supervisión:* Es aquella donde se el operario de la maquina podrá dar los permisos de Marcha, Paro del sistema y activar la inhabilitación de la potencia en el caso que se haya producido una emergencia.

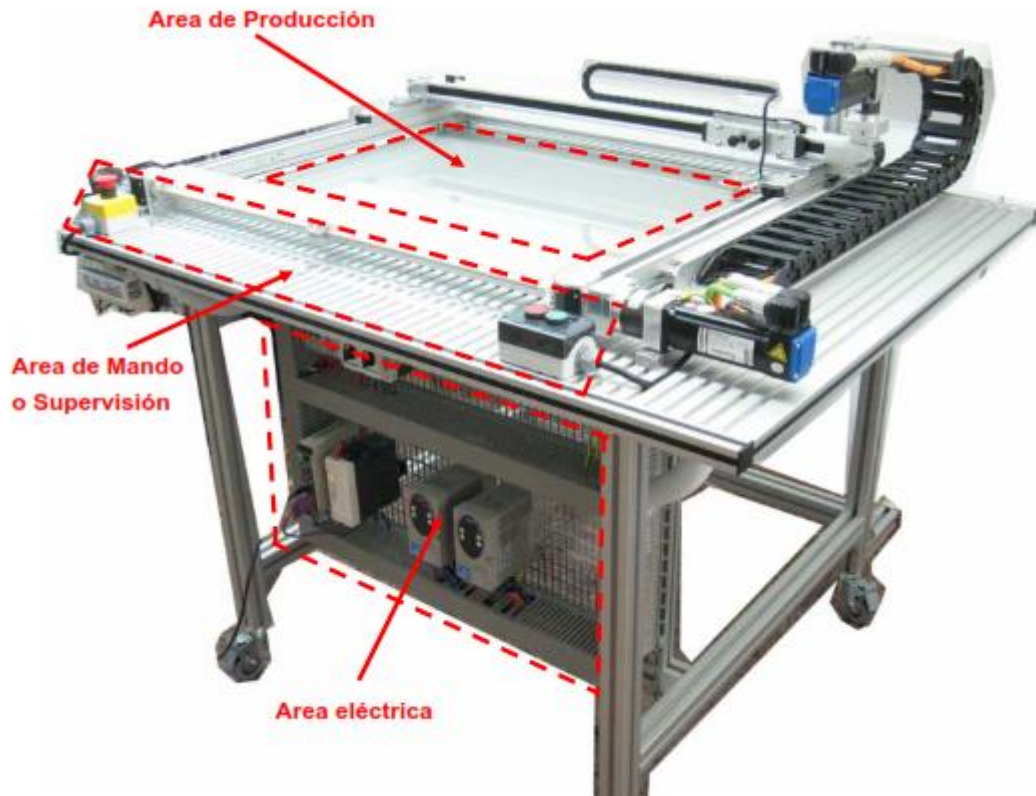


FIGURA 2.11 ÁREAS DE TRABAJO DEL ROBOT CARTESIANO

El robot cartesiano XY está compuesto por diferentes elementos que conforman este sistema de posicionado multieje. La descripción de la tarea de estos elementos y sus características técnicas principales son tratados a continuación.

2.5.3. COMPONENTES GENERALES DE UN SISTEMA DE POSICIONAMIENTO:

Los robots cartesianos constan de una serie de componentes generales que se repiten en todas las concepciones que existen de este tipo de robot.

Del acoplamiento de servomotores y controladores de posicionamiento con sistemas de ejes surgen robots cartesianos de gran precisión y rendimiento para la realización de tareas de posicionamiento en uno o varios ejes. Esto ofrece diferentes composiciones.

Módulos lineales:

Los módulos lineales son sistemas mono-eje para movimientos en una dimensión. Existen tres modelos, en función del tipo de movimiento lineal que realizan.

En el eje portal se mueve sólo el carro. El cuerpo del eje cubre sin moverse el área de trabajo.

En el eje de extensión se mueve sólo el cuerpo del eje, el cual se introduce en el área de trabajo.

En el eje telescópico el carro y el cuerpo del eje se mueven fuera de la posición compacta de retracción y se introducen en el área de trabajo.

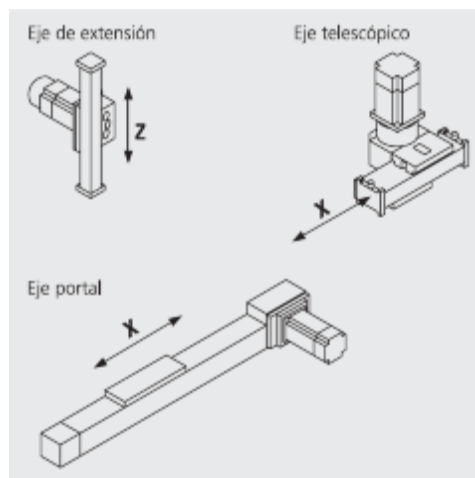


FIGURA 2.12 TIPOS DE MÓDULOS LINEALES

Cada módulo lineal está constituido por diferentes partes, los principales son:

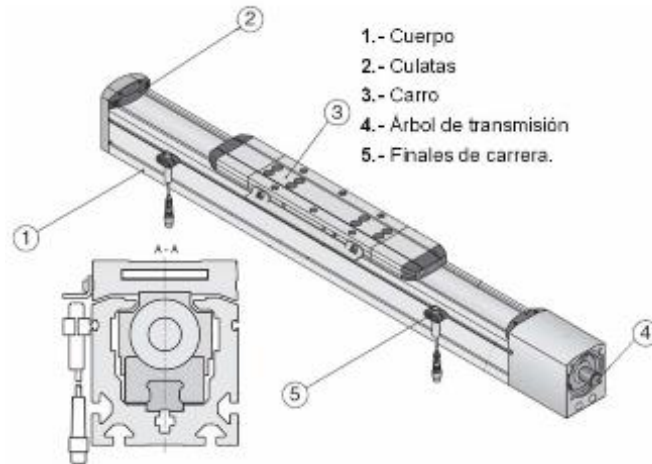


FIGURA 2.13 PARTES GENERALES DE UN MÓDULO LINEAL Y SECCIÓN

Los módulos lineales poseen una guía interior sin juego, la cual posibilita un diseño compacto que protege contra la suciedad y la influencia de las condiciones ambientales. La guía permite un movimiento silencioso, requiere poco mantenimiento y tiene una vida útil prolongada. Existen dos tipos de guías: Las guías de rodillos o guías de bolas circulantes.

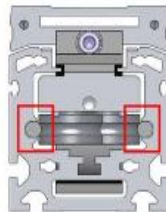


FIGURA 2.14 SECCIÓN DE UN MÓDULO LINEAL DE GUÍA DE RODILLOS

- *Guía de rodillos*: La guía de rodillos sin juego está especialmente diseñada para soportar grandes velocidades.

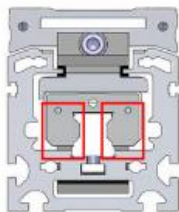


FIGURA 2.15 SECCIÓN DE UN MÓDULO LINEAL DE GUÍA DE BOLAS

- *Guía de bolas circulantes*: Los módulos lineales que disponen de este tipo de guías supone que el accionamiento es más robusto y resistente a los momentos de inercia y fuerza que genera la carga sobre el carro.

Por lo tanto, la elección del tipo de módulo lineal vendrá dado por las exigencias de fuerza y momento de inercia que tiene la aplicación. También se pueden clasificar los módulos lineales en función del elemento de transmisión de movimiento, este puede ser de husillo o con correas dentadas.

Husillo: Los módulos lineales de husillo garantizan una gran fuerza de avance manteniendo una gran rigidez, pero en contraposición a una velocidad más baja, la precisión dependerá del paso del husillo.

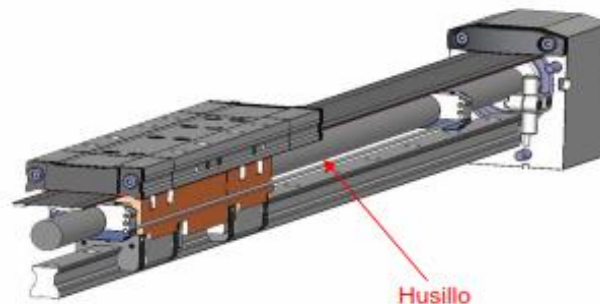


FIGURA 2.16 DESPIECE DE MÓDULO LINEAL DE HUSILLO

Correa dentada: Ofrece una gran fuerza de avance a gran velocidad, dinámicas muy elevadas y carreras útiles mayores que el tipo husillo. Las correas dentadas están hechas de poliuretano con refuerzos de alambre de acero. Si el módulo lineal se coloca en la posición horizontal, la correa dentada sólo es responsable de la aceleración, mientras que en la posición vertical, este tiene que absorber, adicionalmente fuerzas gravitacionales.

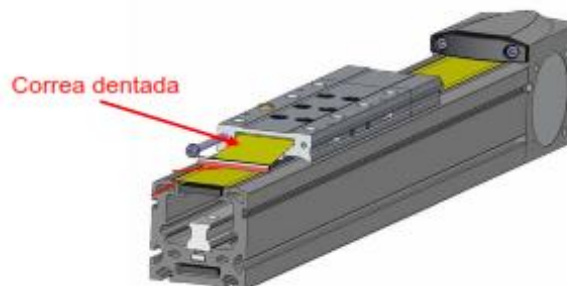


FIGURA 2.17 DESPIECE DE MÓDULO LINEAL DE CORREA DENTADA

2.5.4. MOTORES

Su función es la de transmitir el movimiento a la parte mecánica.

Adicionalmente, se puede poner un reductor de diferentes reducciones entre el motor y el árbol de transmisión del eje. A la hora de escoger el motor hay que tener en cuenta el momento de accionamiento máximo admitido para el árbol de accionamiento del eje. El tipo de motor elegido lo determinará las prestaciones del tipo de aplicación, tres tipologías de motor generalmente utilizadas son:

Servomotor síncrono AC (Alta dinámica y elevado par máximo), Motor DC (Elevado par de retención sin corriente) y Motor paso a paso (Elevado par de parada continua, buenas propiedades de sincronismo y alta resolución de posicionamiento, pero control lazo abierto).

2.5.4.1. Servomotor síncrono AC

En comparación con otros servomotores de CA, el momento de inercia bajo garantiza valores de aceleración importantes en combinación con la alta capacidad de sobrecarga. Además, disminuye el consumo de energía y la pérdida calorífica que se producen en el motor. El par es determinado por el bobinado estatórico alimentado por una corriente trifásica sinusoidal en relación con el campo magnético proporcionado por los imanes del rotor. La generación del sistema de corriente trifásico se efectúa en estrecha relación con la posición del rotor en el servomotor.

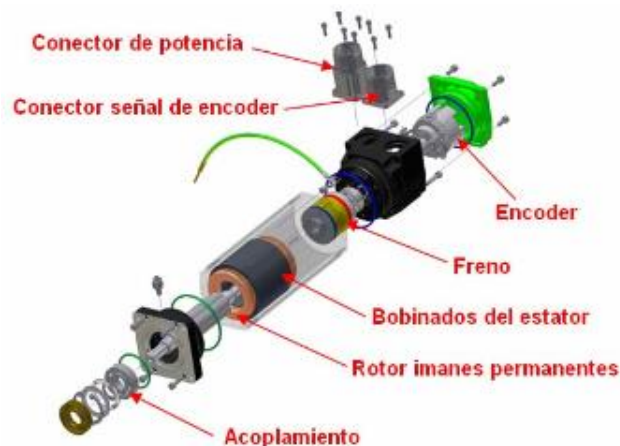


FIGURA 2.18 DESPIECE DE LAS PARTES DE UN SERVOMOTOR AC

Dichos servomotores llevan integrado un sensor de posición llamado encoder. Los encoders se dividen en incrementales (no guardan la posición cuando se les quita tensión), o absolutos (guardan la posición cuando se les quita tensión). Con la información que nos aporta el encoder se realiza el lazo de corriente, velocidad y posición.

2.5.4.2. Motor a pasos.

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos.

La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° .

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas está energizada, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

Básicamente estos motores están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator.

Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) deber ser externamente manejada por un controlador.

Existen dos tipos de motores paso a paso de imán permanente:

Bipolar: Estos tiene generalmente cuatro cables de salida. Necesitan ciertos trucos para ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. Será necesario un puente H (H-Bridge) por cada bobina del motor, es decir que para controlar un motor Paso a Paso de 4 cables (dos bobinas), necesitaremos usar dos puente H. En general es recomendable el uso de H-Bridge integrados como son los casos del L293.

Unipolar: Estos motores suelen tener 6 o 5 cables de salida, dependiendo de su conexionado interno. Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar. Un ejemplo de conexionado para controlar un motor paso a paso unipolar, sería mediante el uso de un ULN2803, el cual es una array de 8 transistores tipo Darlington capaces de manejar cargas de hasta 500mA. Las entradas de activación (Activa A, B, C y D) pueden ser directamente activadas por un microcontrolador.

2.5.5. INTERRUPTORES DE FINALES DE CARRERA

Los interruptores de fin de carrera son sensores que funcionan sin entrar en contacto. Es decir, son detectores de proximidad inductivos con los que están equipados todos los módulos lineales y los sistemas de múltiples ejes estándar

Los interruptores de fin de carrera se montan junto a los rieles de desplazamiento, exactamente al mismo nivel, y son del tipo "abridor": cuando el carro alcanza el interruptor de fin de carrera, éste se abre y hace que el carro se detenga.

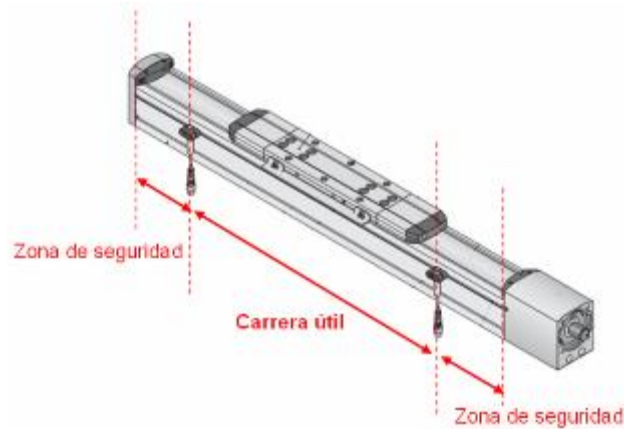


FIGURA 2.19 ESQUEMA DE POSICIONAMIENTO DE LOS FINALES DE CARRERA

Los interruptores de final de carrera cumplen dos funciones:

Delimitar el área de trabajo del módulo lineal y como seguridad (Ejemplo: si en el programa se coloca una posición que sobrepasa el área de trabajo, cuando el carro llegue al final de carrera y este de señal el movimiento parará porque ha llegado al final de carrera).

Hay una tercera función en la que se pueden utilizar, que es la señal para realizar el viaje de referencia (homing).

2.5.6. SISTEMAS DE MÚLTIPLES EJES

Los sistemas de múltiples ejes se componen de módulos lineales y se diferencian según el tipo, tamaño y disposición de los ejes combinados. Pueden estar equipados, según las necesidades, con herramientas de agarre y de proceso y pueden funcionar autónomamente o incorporados a una línea de montaje o de producción.

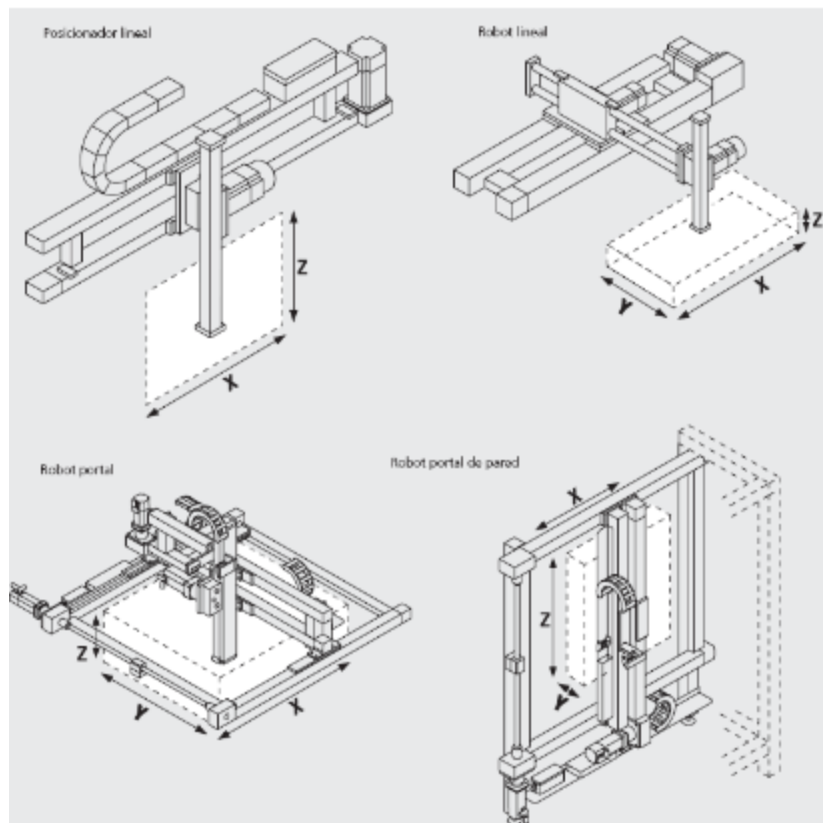


FIGURA 2.20 DESCRIPCIÓN DE LAS ÁREAS DE TRABAJO DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE MULTIEJE

Los sistemas de 2 y 3 ejes se diferencian, según el área en: posicionadores lineales, en robots lineales, en robots portales o en robots portales de pared.

Posicionador lineal: El posicionador lineal se encuentra encima o debajo del área de trabajo. Trabaja en dirección x/z y está diseñado especialmente para el transporte dinámico de cargas en trayectos de recorrido corto en dirección z.

Robot lineal: El robot lineal se encuentra junto al área de trabajo y está diseñado para transportar cargas a gran velocidad de avance en trayectos de recorrido corto.

Robot portal: El robot portal está situado encima del área de trabajo para ahorrar espacio y está diseñado para transportar cargas en trayectos de recorrido largos.

Robot portal de pared: El robot portal de pared está situado junto al área de trabajo y está diseñado para el transporte en superficies verticales. Ampliando la carcasa, con cubiertas de protección adicionales y puertas aseguradas, se puede convertir en una unidad de manejo autónomo.



FIGURA 2.21 ROBOT DE TRES EJES CON MOTORES PASO A PASO

Este tipo de robots cartesianos abordan un gran abanico de tareas de automatización tales como la manipulación y montaje de piezas y la realización de forma fiable, rápida y económica de diversos trabajos. Esto ofrece un potencial de racionalización enorme, gracias a los sistemas robóticos modulares.



FIGURA 2.22 ROBOT CARTESIANO

CAPÍTULO: DISEÑO CONCEPTUAL DEL PROTOTIPO DE DIMENSIONAMIENTO SIN CONTACTO

3.1. DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE VISIÓN

Un sistema de visión por lo regular está compuesto por cámaras, lentes y sistema de iluminación. Sin embargo en este diseño se ha contemplado la etapa del diseño de la estructura de todo el sistema y un sistema de movimiento traslacional en dos ejes que facilitará el dimensionamiento de los objetos. Así entonces, se describen los componentes del sistema, así como el análisis y selección de estos componentes, bajo los objetivos y alcances establecidos inicialmente en ésta investigación.

Los sistemas de visión, miden sin la necesidad de contacto físico, esto es posible con una cámara y una lente, que entregan una imagen a escala (para una cámara y lente estándar).

Teniendo esta imagen acondicionada en una computadora y desarrollando algoritmos de procesamiento de imágenes, se puede trabajar el objeto como si se dimensionara físicamente, esto se logra realizando una comparación de píxeles que contiene la imagen tomada, con las dimensiones de un objeto conocido a una distancia fija.

La forma tradicional de medir cualquier objeto involucra contacto físico entre éste y el instrumento con el que se efectúa la medición. Existe otra forma de efectuar esta acción sin necesidad de tocar el objeto. A esto se le conoce como Medición de No Contacto. Todo esto requiere métodos de prueba sofisticados como, por ejemplo los que brinda el procesamiento digital de imágenes, tecnología que avanza en forma continua para convertirse en un componente integral de las soluciones de automatización, desarrollándose cada vez más como disciplina estándar para el control de calidad.

Cabe mencionar que la mayoría de estos sistemas utilizan lentes y cámaras estándar, en los cuales la implementación de la calibración del sistema, es un tema que se encuentra estudiado en la literatura, de tal forma que se encuentran Cajas de Herramientas ó Toolbox para realizar la calibración, y que a su vez son de libre uso para diferentes lenguajes de programación.

Así entonces, se describen los componentes que forman el sistema de visión propuesto, a fin de evaluar cada una de las etapas involucradas en el diseño conceptual.

3.2. CÁMARA DIGITAL

Primeramente, se define el término imagen, el cual se refiere a una función de intensidad bidimensional $f(x, y)$, en donde x e y son las coordenadas espaciales y el valor de f en cualquier punto (x, y) es proporcional a la intensidad. Existen varios tipos de imágenes: a color, en niveles de grises, binarias (blanco y negro), por mencionar algunos. En la Figura 3.1, se ilustra el término imagen, para una imagen en niveles de grises y se muestra la convención de ejes que se utilizara en este documento.



FIGURA 0.1 CONVENCION DE EJES UTILIZADA PARA LA REPRESENTACION DE IMAGENES, EN ESTE CASO EN NIVELES DE GRIS.

Ahora bien, la cámara seleccionada es del tipo CCD (de sus siglas en inglés Charge Couple Device), el cual es un sensor de imagen que utiliza elementos semiconductores fotosensibles en forma de arreglos matriciales. Los receptores activos de éste arreglo son distribuidos en píxeles individuales. En un sensor CCD se transforma la energía de la luz incidente en energía eléctrica. La carga eléctrica almacenada en la celda es posteriormente transportada utilizando un registro de desplazamiento para conformar una señal de video.

Cabe señalar que en las cámaras CCD se discretiza la imagen en píxeles; sin embargo, el valor de la carga eléctrica almacenado en cada celda no se digitaliza en el arreglo CCD, sino en una conversión posterior realizada por un convertidor analógico-digital. Las cámaras CCD son consideradas como

dispositivos que poseen muy baja deformación geométrica y una buena sensibilidad a la luz. En la Figura 3.2 se muestra el arreglo general que contiene un CCD para transformar la luz visible incidente en él a una señal de vídeo, que se puede visualizar en una pantalla de computadora.

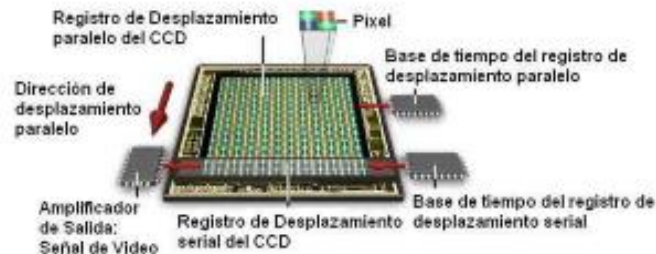


FIGURA 0.2 ARREGLO DE UN CCD EN UNA CÁMARA COMERCIAL

Por otra parte, el formato seleccionado para trabajar las imágenes es JPG (de sus siglas en inglés Joint Photographic Experts Group), se selecciona por la gran cantidad de imágenes a adquirir y por la resolución (que es función del tamaño que ocuparían al almacenarlas). Por otra parte, su inconveniente es que al realizar un proceso de compresión con niveles altos (para que la resolución sea menor), la degradación en la calidad de la imagen se hace evidente a simple vista. Si la compresión es baja solo se apreciará con grandes ampliaciones.

Debido a las características mencionadas anteriormente, el proceso de adquisición de imágenes se realiza con una cámara de la marca The imaging source, modelo: DFK 41BU02.H, seleccionada por la resolución que proporciona (1280x960 píxeles), la velocidad de adquisición de hasta 15 cuadros por segundo, utilizando para ello comunicación USB. A continuación se muestra una imagen de la cámara y se listan sus características principales.



FIGURA 0.3 CÁMARA TIPO CCD, PARA ADQUISICIÓN DE IMÁGENES CON RESOLUCIÓN DE 2180X960

TABLA 0-1 INFORMACIÓN GENERAL DE LA CÁMARA CCD

GENERAL BEHAVIOR	
Video formats @ Frame rate	1280x960 UYVY @ 7.5, 3.75 fps 1280X960 BYB @ 15, 7.5, 3.76 fps
Sensitivity	0.15 lx
Dynamic range	8 bit
INTERFACE (OPTICAL)	
IR cut filter	Yes
Sensor Specification	Sony ICX205AK [PDF]
Type	Progressive scan
Format	1/2"
Resolution	H: 1360, V: 1024
Pixel size	H: 4.65 μm , V:4.65 μm
Lens mount	C/CS

Así entonces, la formación de la imagen se considera como una transformación de las coordenadas en la cámara en un nuevo sistema de coordenadas. Las coordenadas de una imagen están comúnmente expresadas en otras unidades métricas que las empleadas para medir el espacio 3D. Por lo general la imagen se expresa en píxeles y el espacio en milímetros, por esta razón, en la transformación de coordenadas de la cámara al nuevo sistema de coordenadas, es necesario considerar un factor escala. También es necesario tomar en cuenta que debido a que los de píxeles no son cuadrados sino rectangulares, el factor de escala es distinto en cada eje de la imagen. Los factores de escala utilizados se definen como α y β , expresados en [píxel/mm]. Muchas veces los ejes X e Y, no son totalmente perpendiculares, en este caso es necesario introducir otro valor, definido como factor de corrimiento, γ .

La forma en que se relacionaran las coordenadas de la cámara con el nuevo sistema de coordenadas, se analizará con la propuesta del modelo geométrico de la cámara y la lente telecéntrica. En la siguiente Sección, se describe la lente telecéntrica y las principales ventajas de utilizarla para este sistema de dimensionamiento.

3.3. ÓPTICA: LENTE TELECÉNTRICA

En años recientes, las aplicaciones de inspección dimensional se han vuelto muy populares. La mejora en las cámaras, los programas y los componentes de iluminación, han hecho posible llegar a una precisión generalmente mejor que los métodos de contacto. El éxito de los sistemas en donde se integran lentes, en este caso lente telecéntrica, se basa en las mejoras que en la óptica se han realizado, y más aún en aplicaciones de medición de imágenes tridimensionales. Uno de los principales problemas de las lentes estándar, son los efectos de perspectiva, que causan un cambio de magnificación cuando el objeto no se encuentra posicionado de forma precisa. Sin embargo, las lentes telecéntricas no son la solución a todo, puesto que a pesar de reducir algunos de los factores más comunes en la adquisición de imágenes, siguen siendo lentes manufacturadas por el hombre y tendrán cierto margen de error, pese a eso; se presentan las principales características de estos lentes y como ayudan en la adquisición de las imágenes.

Cambios de magnificación debido al desplazamiento de objetos: En las aplicaciones generales de medición, es importante observar al objeto de estudio desde una posición que permita obtener una buena imagen para su medición. Sin embargo, al momento de observar la imagen con lentes estándar, ocurre un error inducido por la magnificación del objeto cuando cambia su posición relativa a la cámara, es decir, se aleja o se acerca el objeto; aún más, si se considera que el objeto está vibrando, sus características de dimensión serían variantes con el tiempo, puesto que la apreciación de la cámara sería la de un objeto que aumenta y disminuye su tamaño. Este efecto no pasa con las lentes telecéntricas, siempre que el objeto se encuentre dentro del área de trabajo de la lente.

Para complementar la explicación del efecto de magnificación, suponga dos tipos de objetivos con una longitud focal $f = 12$ mm, con una cámara CCD de $1/3$ de pulgada, observando un objeto de altura $H = 20$ mm, situado a una distancia $s = 200$ mm. Ahora, suponga un desplazamiento del objeto $ds = 1$ mm, el cambio de dimensiones puede calcularse como: $dH = (ds/s)(H) = (1/200)(20) = 0.1$ mm. En una lente telecéntrica, se determina el cambio de magnificación por la pendiente telecéntrica ó theta, en general, este valor es de 0.1 grados, lo que significa que las dimensiones de los objetos cambiarían solo en un valor de: $dH = ds \cdot \theta = (1)(0.0017) = 0.0017$ mm, para cada desplazamiento ds de 1 mm. Así, con las lentes telecéntricas, el error se

reduce de 1/10 a 1/100, en comparación con lentes estándar. En la Figura 3.4, se muestra la formación de una imagen mediante lente telecéntrica, observe el paralelismo de los rayos incidentes, y en la Figura 3.5 se muestra la relación de la altura del objeto con la magnificación de la lente telecéntrica explicado anteriormente.

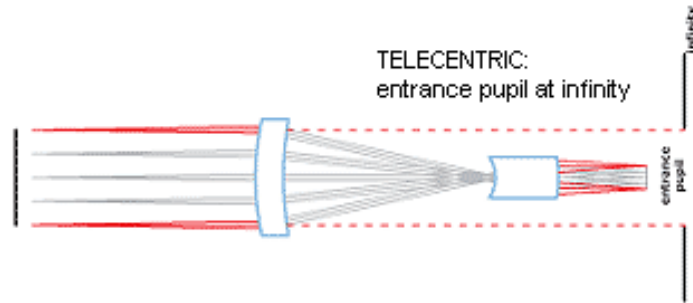


FIGURA 0.4 FORMACIÓN DE IMAGEN MEDIANTE LENTE TELECÉNTRICA.

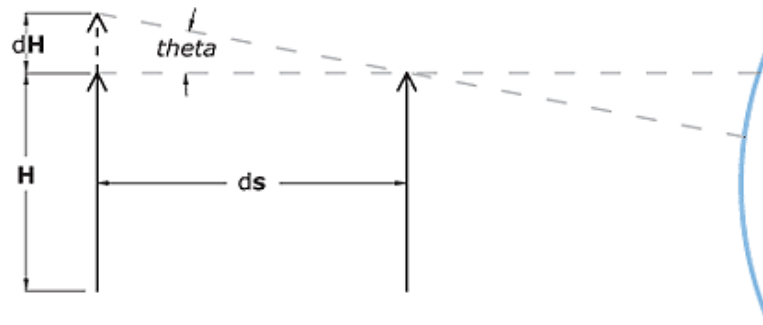


FIGURA 0.5 FACTOR DE MAGNIFICACIÓN DE UN OBJETO EN LENTE TELECÉNTRICA.

Distorsión de la imagen: La distorsión es uno de los peores problemas que limitan la exactitud de la medición; incluso la óptica con mejores resultados se ven afectados por algún grado de distorsión, donde un solo píxel de la diferencia entre la imagen real y la imagen adquirida, podría ser crítico. La distorsión, se define como la diferencia porcentual de un punto de imagen al centro de la imagen, puede ser considerada como una desviación entre lo que se fotografía y las dimensiones reales de un objeto. Por ejemplo, si un punto en una imagen es de 198 píxeles distante del centro, mientras que una distancia de 200 píxeles sería lo que se espera (en ausencia de distorsión),

la distorsión radial, a este punto, sería: $\text{distorsión} = (198-200)/200 = -2/200 = 1 \%$.

La distorsión radial positiva es también llamado: Distorsión tipo cojín, y la Distorsión negativa se llama de tipo barril. Las lentes estándar muestran valores de distorsión que oscilan entre 1 y 10 %.

Las lentes telecéntricas de alta calidad suelen contar con un grado de distorsión muy bajo, en el rango de 0.1 %, y aunque esta cantidad parece ser muy pequeña, en realidad se traduciría en errores de medición cercanos a un píxel. Por esta razón, en la mayoría de las aplicaciones, la distorsión tiene que ser incluido en la calibración; sin embargo, un patrón de calibración preciso, puede ayudar a disminuir este factor. En la Figura 3.6, se muestran los 2 factores de distorsión más comunes.



FIGURA 0.6 FACTORES DE DISTORSIÓN EN UNA IMAGEN: IMAGEN ORIGINAL, DISTORSIÓN TIPO BARRIL Y DISTORSIÓN TIPO COJÍN, RESPECTIVAMENTE.

Error de perspectiva: Al utilizar lentes estándar, en los objetos 3D (objetos no completamente planos), los objetos lejanos se ven más pequeños que los objetos cercanos. Como consecuencia, cuando un objeto cilíndrico se visualiza, la parte superior presentaría una corona de fondo, lo cual nos diría que la pieza no es concéntrica aun cuando los dos círculos están perfectamente alineados. Por el contrario, por medio de una lente telecéntrica, estos detalles desaparecen, porque las dos caras se encuentran perfectamente alineadas. Una de las principales ventajas de las lentes telecéntricas, es la eliminación del error por perspectiva en los sistemas de visión y una de las principales características para su uso.

En la Figura 3.7, se muestra la variación por perspectiva que una imagen puede tener al no utilizar lentes telecéntricas.

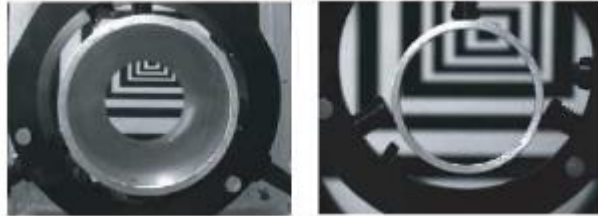


FIGURA 0.7 FACTORES DE DISTORSIÓN POR PERSPECTIVA: IZQ. SE OBSERVA IMAGEN AFECTADA POR PERSPECTIVA; DER. SE RESUELVE APLICANDO TELECENTRICIDAD

Finalmente, y una vez observadas las ventajas de estas lentes en comparación con las lentes estándar, la selección de la lente telecéntrica a utilizar, se define por la región de interés o ROI (de sus siglas en inglés Region Of Interest), que será menor a un diámetro de 40mm. Así también, se debe considerar el valor de la CCD de la cámara (para este caso ½ pulgada), y en base a ello, se busca el lente apropiado de acuerdo a las tablas de referencia que proporciona el fabricante.

Para este prototipo, se selecciona el modelo TC-1364, que se muestra en la Figura 3.8, y sus características se muestran en la Tabla 3-2.



FIGURA 0.8 LENTE TELECÉNTRICA MODELO: TC-1364, DE LA MARCA: OPTO-ENGINEERING.

TABLA 0-2 CARACTERÍSTICAS DE LA LENTE TC-1364

Característica	Valor
Magnificación [X]	0.074 +/- 3 %
Campo de visión [mm]	CCD: 1/2 in, Diámetro = 65.2
Distancia de Trabajo [mm]	182.3 +/- 5
Distorsión [%]	0.07
Longitud [mm]	212
Diámetro externo máximo [mm]	100
Peso [g]	1000

3.4. PATRON DE CALIBRACIÓN TIPO TABLERO DE AJEDREZ

Cada vez se requieren más aplicaciones en las que es necesaria la calibración de una cámara para poder realizar mediciones sobre las imágenes. En la actualidad se dispone de una serie de algoritmos capaces de obtener estos valores de forma semi-automática, por lo que se están investigando métodos para calcularlos de la manera más automática posible ahorrando un gran tiempo a los usuarios. El método que se propone en este documento utiliza un patrón similar a un tablero de ajedrez, que es encontrado en cada imagen de forma automática sin información previa del número de filas y columnas.

Para un correcto funcionamiento del sistema, la aplicación debe tener una correcta parametrización de la cámara, de tal forma que se conozcan lo más exacto posible las equivalencias entre los valores internos del programa y los valores del mundo. De otra forma, el posicionamiento o los datos de equivalencia no serían correctos.

Así entonces, es necesario, efectuar una calibración del sistema, a fin de conocer el margen de error que se puede presentar en el mismo. Para ello, se facilita, en la interfaz, un toolbox de calibración, cuyo funcionamiento se explica en este apartado, y a lo largo de éste trabajo.

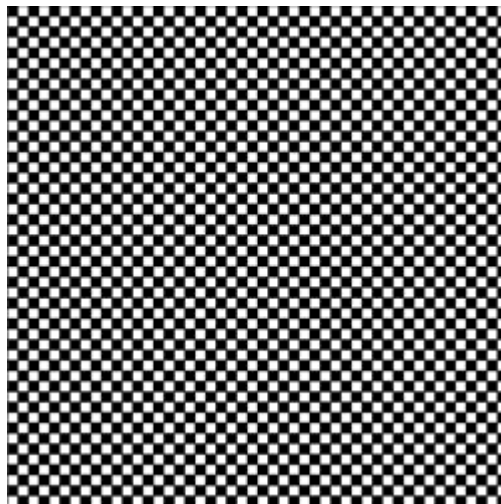


FIGURA 0.9 PATRÓN DE CALIBRACIÓN TIPO AJEDREZ

Previamente, deberemos hacernos con un patrón de calibración en forma de tablero de ajedrez, como el que se muestra en la fig. 3.9.

Una vez tengamos impreso nuestro patrón de calibración, es necesario efectuar una medición. La única medida que necesita el programa es el lado de un cuadrado del tablero de ajedrez. Ésta será la referencia de la que dispondrá el posicionador para conocer las dimensiones del mundo.

El modo de proceder a la hora de ejecutar la calibración es proporcionar al programa una serie de capturas de pantalla en las que se visualice el patrón de calibración.

Como punto extra, cabe mencionar que debido a las dimensiones que el proyecto abarca y/o el uso que de él se requerirá en piezas industriales, en objetos que requieren la mayor exactitud posible, se recomienda que la calibración sea mediante un patrón estandarizado, como el de la figura 3.10 a continuación.

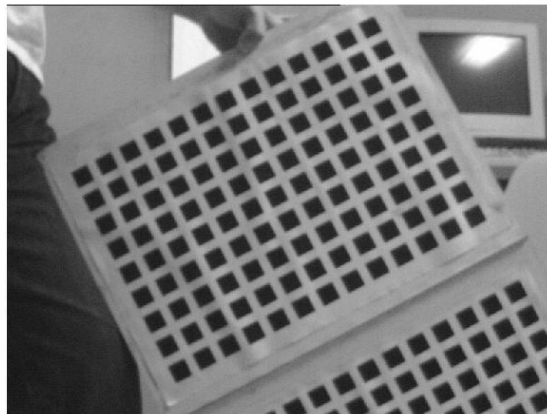


FIGURA 0.10 PATRÓN ESTÁNDAR DE CALIBRACIÓN

3.5. SISTEMA DE ILUMINACIÓN

La iluminación se puede considerar la parte más crítica dentro de un sistema de visión. Las cámaras, de momento, son mucho menos sensibles y versátiles que la visión humana y las condiciones de iluminación deben optimizarse al máximo para que una cámara pueda capturar una imagen que el ojo humano podría distinguir sin necesidad de una iluminación tan especializada. Esto se hace mucho más evidente cuando el objeto a iluminar presenta formas complejas o superficies muy reflectantes. Las cámaras capturan la luz reflejada de los objetos, el propósito de la iluminación utilizada en las aplicaciones de visión es controlar la forma en que la cámara va a ver el objeto. La luz se refleja de forma distinta si se ilumina una bola de acero, que si se ilumina una hoja de papel blanco y el sistema de iluminación por tanto debe ajustarse al objeto a iluminar. Si se utiliza una iluminación adecuada, la aplicación se resolverá más fácilmente, mientras que si la misma aplicación recibe una iluminación incorrecta puede que sea imposible de resolver.

Si para resolver una aplicación es necesario utilizar varios algoritmos de acondicionamiento de la imagen, significa que la iluminación que se está aplicando no es lo suficientemente correcta. Una iluminación adecuada permitirá emplear menos acondicionamiento de la imagen y por tanto aumentar la velocidad de proceso en esa aplicación. Las ventajas inherentes a los sistemas de iluminación comerciales, frente a los construidos en laboratorios (a menudo complejos y caros en tiempo de fabricación), son:

- Efectividad económica: Ahorrar tiempo y dinero en investigación, diseño, desarrollo y construcción del sistema de iluminación.
- Calidad: Miles de sistemas funcionando en todo el mundo.
- Efectividad: Larga duración con el mínimo servicio técnico.
- Repetitividad: Siempre disponible en grandes cantidades, con iguales características.
- Gran Variedad: Tipos diferentes de sistemas de iluminación disponibles y probados.

Partiendo de lo anterior, la primera pregunta que se debe plantear cuando se tiene una nueva aplicación de visión, es: ¿Cuál es la mejor iluminación? Para contestar a esta interrogante, se han planteado algunas consideraciones básicas a tener en cuenta, para determinar la mejor iluminación, y bajo esas consideraciones, se podrá conocer las variables que ayudarán a enmarcar la mejor iluminación requerida para ésta aplicación:

Color: Niveles de grises

De alta velocidad: No.

Región de interés: De 60x60mm

El objeto presentará superficies con reflejos: Sin reflejos.

Fondo de la aplicación: [color, geometría,...] Fondo color blanco.

Característica a resaltar: La silueta

Duración del sistema de iluminación: de al menos 1000 horas (dependiendo del tiempo de vida de la lámpara del sistema de iluminación).

Requisitos mecánicos, ambientales, a considerar: Los requisitos son establecidos de acuerdo a la aplicación (para nuestro caso se requieren fotos nítidas y con buena resolución).

Así entonces, el sistema de iluminación que resulta adecuado para la aplicación, es un sistema por panel de leds (ver anexo 1), como el mostrado en la Figura 0.11, y sus características se muestran en la Tabla 3.3.



FIGURA 0.11 SISTEMA DE ILUMINACIÓN, PANEL DE LEDS

TABLA 0-3 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN POR LEDS.

Características	Descripción
Área activa [mm]	400x600
Material	Panel iluminado por leds.
Material envolvente	Aluminio.
Voltaje entrada	12Vcc
Amperes entrada	2A

3.6. ESTRUCTURA DE SOPORTE

Hasta este momento, se ha seleccionado la cámara, la lente y la iluminación a utilizar en el sistema de visión, sin embargo, no sería posible diseñar el sistema de visión, sin una estructura que pueda soportar los componentes que se instalan en su interior. Es por ello que se requiere de una estructura que sea rígida, versátil y liviana, lo cual nos lleva a la selección de un material usado comúnmente en la elaboración de bancos y mesas de trabajo, cumpliendo sin problemas las características mencionadas anteriormente. Dicho material es el perfil de aluminio estructural, el cual cuenta con las siguientes propiedades:

Al ser un material de construcción por extrusión, es hueco, proporcionando una estructura liviana.

-La rigidez del material se hereda de las características físicas con las que cuenta el aluminio.

-La versatilidad, la cual se logra al observar que este material permite trabajar bajo las especificaciones de dimensionamiento que se desean y permite configurar, el diseño de la estructura, a conveniencia de la aplicación.

Este material es económico y la relación costo-beneficio es alta, considerando que se puede elaborar un producto: un sistema de visión.

En la Figura 3.12 y 3.13, se muestran algunas vistas del diseño conceptual de la estructura, realizado en un programa CAD. Las dimensiones finales de la estructura son: 400mm de largo, 200mm de alto y 400mm de ancho, con un peso aproximado de 5kg y el perfil estructural seleccionado cuenta con dimensiones de: 400x400mm.

3.6.1. SIMULACIÓN DEL SISTEMA:

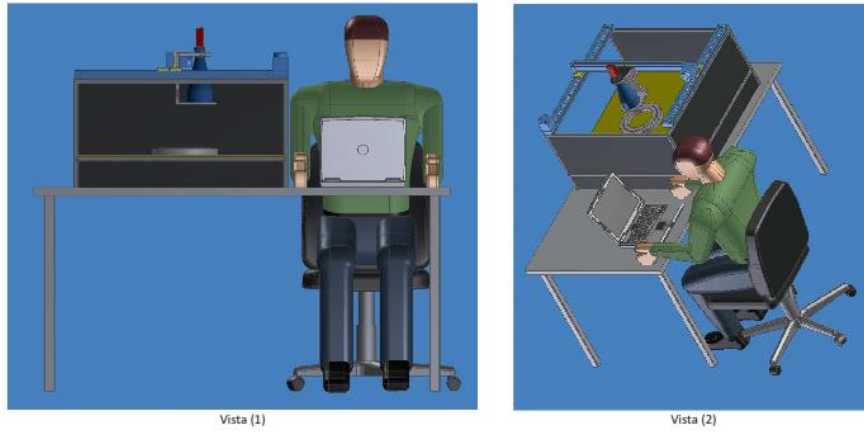


FIGURA 0.12 VISTA 1 Y 2 DEL SISTEMA DE DIMENSIONAMIENTO SIN CONTACTO

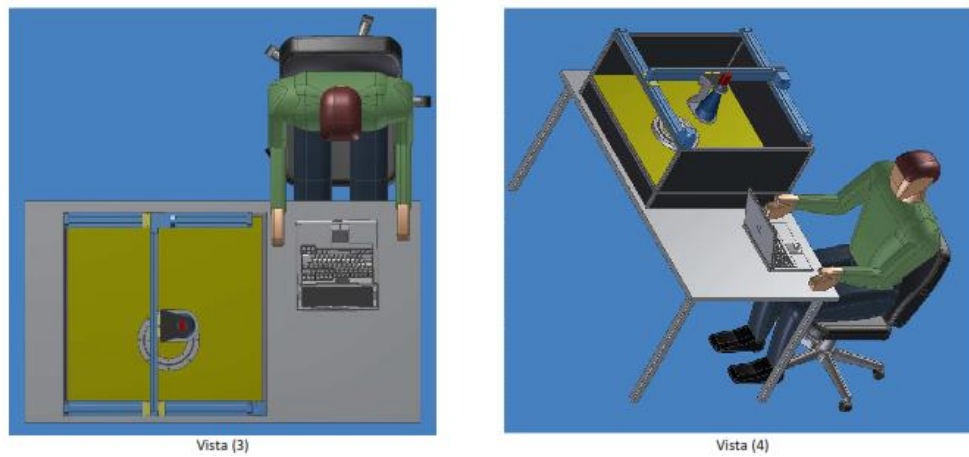


FIGURA 0.13 VISTA 3 Y 4 DEL SISTEMA DE DIMENSIONAMIENTO SIN CONTACTO

3.6.2. SISTEMAS DE MOVIMIENTO TRASLACIONAL EN DOS EJES.

Para garantizar imágenes nítidas, con características bien definidas en cuanto a resoluciones y formato, que permitan que los algoritmos de procesamiento de imágenes puedan realizarse sin un elevado coste computacional, se necesita un excelente soporte y ajuste del sistema de visión; para ello se presenta un sistema de movimiento lineal, diseñado con el propósito de mover en un cuadrante en dos ejes X,Y el sistema de visión, para obtener las imágenes de la silueta de un objeto real, y realizar el dimensionamiento del objeto.

Para nuestra aplicación necesitamos un sistema traslacional de dos ejes “X” y “Y” de movimiento constante y exacto. Se requiere la menor cantidad de error al hacer el movimiento para evitar desconfigurar nuestro sistema de visión.

En un área de 400x400 mm se requiere que la cámara tome al menos 10 fotos verticalmente en cada una de las 10 posiciones verticales que se calculan tomando en cuenta el área de foto que abarca el sistema de visión.

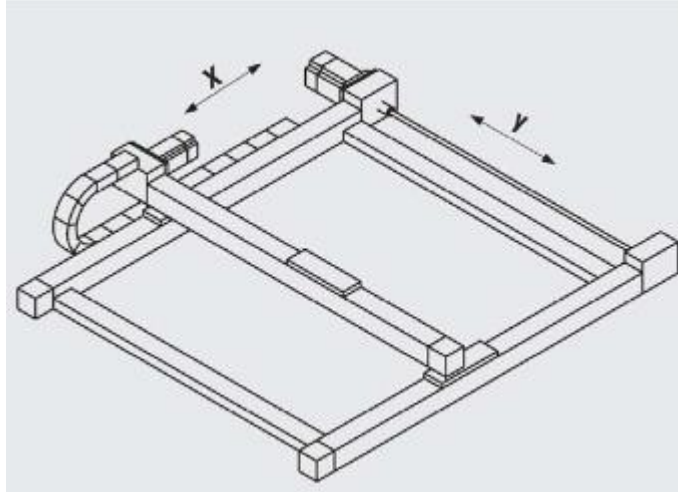


FIGURA 0.14 EJES PARA EL MOVIMIENTO TRASLACIONAL X-Y

El sistema de traslación que se ideó se compone de dos ejes para mover la cámara, basándonos en la idea de robots cartesianos, cada eje se direcciona mediante un motor a pasos, debido a la exactitud de sus giros, la facilidad de instalación y manejo, se elige para esta aplicación los motores DMX-K-DRV-34-1, con un consumo de 12 a 55Vcd dependiendo del uso y conexión USB para programarlos.

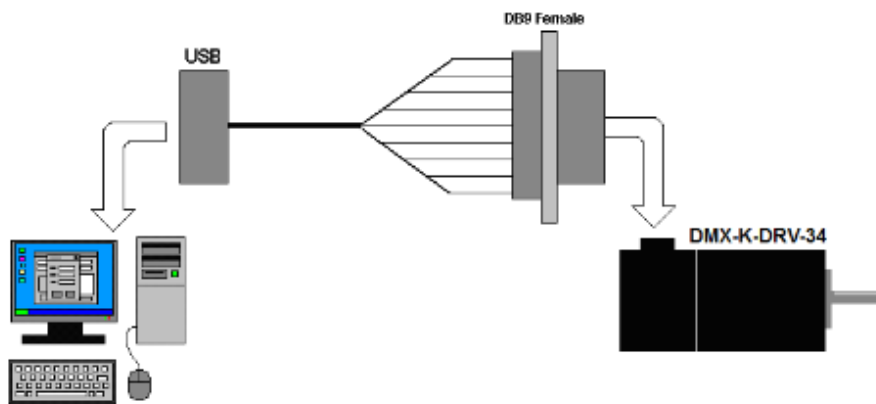


FIGURA 0.15 COMUNICACIÓN SERIAL MOTOR-CPU

3.7. MOTORES

Debido a la calidad, precisión y torque que se necesitaban para lograr el movimiento adecuado al realizar la traslación en los ejes X-Y del sistema de visión, se tenían que tener en cuenta unos motores que realizaran el trabajo con gran precisión y que no fueran demasiado grandes para el trabajo; debido a las características mencionadas, se eligieron los motores a pasos que se muestran en la figura 3.17 y la tabla 3-4 con sus características principales:

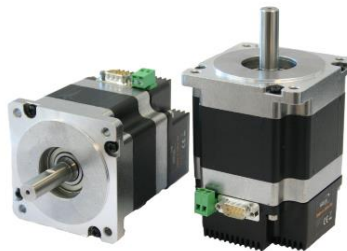


FIGURA 0.16 MOTORES A PASO INTEGRADO NEMA 34 CON DRIVER DE MICRO-PASOS DMX-K-DRV-34-1

ACCESORIOS REQUERIDOS PARA USO DE LOS MOTORES DMX-K-DRV:

- USB driver configuration cable for DMX-A2-DRV
- Fuente de poder 24V/6.25A | voltaje de entrada 115Vac o 230Vac. [Dimensiones 96mm X 90mm X 45mm, montaje en riel DIN]
- Software para configurar motores: SOFT-EXE-DMX-K-DRV-2.1
- Controlador de tren de pulsos para activar los motores.

TABLA 0-4 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS MOTORES A PASO DMX-K-DRV-34-1

Entrada de Voltaje	De 12 a 55 VCD
Micropasos	De 2 a 64
Configuración de corriente	De 100 mA a 4.5 A
Tasa máxima de pulsos	90K
Tasa máxima de pulsos [en modo control]	16K
Perfiles de movimiento seleccionables	4
Extras	Entradas diferenciales optoaisladas Pulso/Dirección (CW/CCW)
	Entrada de habilitación optoaislada
	Disponible en NEMA 34 en varios tamaños
	Configurable por software controlador usando DIO.
	Salida de alarma de sobrecalentamiento optoaislada
	En posición de salida (modo controlador)

3.7.1. CÁLCULOS, MOMENTO ESTÁTICO

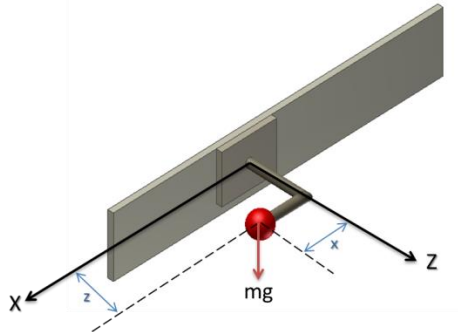


FIGURA 0.17 DIAGRAMA DEL MOMENTO ESTÁTICO DEL SISTEMA DE VISIÓN, PARA EL CÁLCULO DEL TORQUE DE LOS MOTORES A PASO.

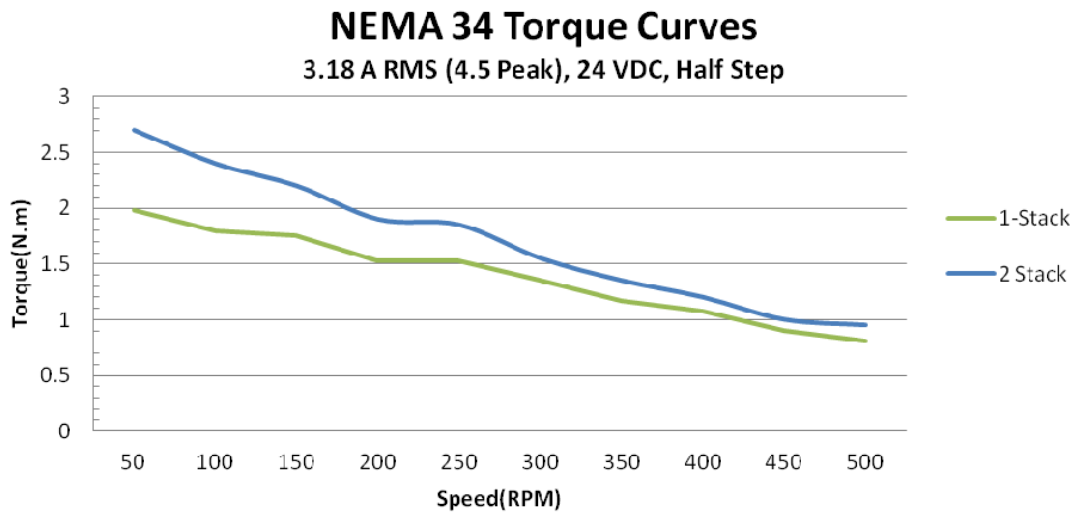


FIGURA 0.18 VELOCIDAD (RPM) CONTRA TORQUE (N-M)

En las características técnicas del motor nos dice que se tiene un torque máximo de 3.5 N-m y en la gráfica nos dice que para el motor que se usa en éste prototipo (1-stack), nos deberá estar entregando una velocidad de 50 RPM a 2N-m de torque.

Entonces, desplegamos la información de nuestro sistema de visión, para realizar el cálculo del torque que genera:

TABLA 0-5 DATOS TÉCNICOS (MOTOR Y SISTEMA DE VISIÓN)

Datos del sistema Montaje en pared	Datos del motor
m= 2 kg	$\omega = 50 \text{ rpm} = 5.235 \text{ rad/s}$
g=9.81 m/s²	$T_m = 283.224 \text{ oz-in} = 2 \text{ Nm}$
x= 0	V= 24 V
z= 0.1 m	I= 2 A

Calculamos el torque del sistema que deseamos mover (sistema de visión):

TABLA 0-6 CÁLCULOS PARA EL TORQUE DEL SISTEMA

Cálculo del sistema	Cálculo del motor
$W = m \times g = 19.62 \text{ N}$	$P = T_m \times \omega = 10.47 \text{ W}$
$T_s = Me = W \times z = 1.962 \text{ N} \cdot m = 20 \text{ kgf} \cdot cm = 277.84 \text{ oz} \cdot in$	
Por lo tanto para vencer el torsor del sistema con la potencia que nos brinda el motor, son necesarios:	

$$\omega = \frac{P}{T_s} = 5.336 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 50.97 \text{ rpm, para accionar el sistema.}$$

El torque del sistema de visión es de $1.962 \text{ N} \cdot m$ y reacciona con el sistema a 50.97 rpm.

Al calcular el torque del sistema de visión, T_s , se confirma el uso de los motores para trabajar en éste prototipo, ya que tienen más torque del que el sistema de visión requiere 1.962 N-m y no nos preocupa la velocidad a la que mueva el sistema, siempre y cuando lo haga de manera constante sin cambios en su velocidad, para evitar descalibrar el sistema, y venciendo el torque generado por el sistema de visión.

3.8. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

3.8.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

3.8.1.1. Actividad: revisión bibliográfica. Tiempo: 4 semanas.

-Se reunió material que cumpliera las características deseadas para abastecer de información al proyecto, como antecedentes, información técnica sobre el material que se iba a usar y la teoría que se aplicaría; así se separó en “áreas” importantes para visualizar perfectamente cada parte de éste proyecto y se realizó el estudio del material obtenido para poder familiarizarse con las características técnicas de la cámara, lente, motores, sistemas traslacionales de dos ejes, sistemas de iluminación (leds y/o barras de halógeno), teoría sobre el modelo geométrico existente para el sistema con la lente telecéntrica y la cámara CCD

3.8.1.2. Actividad: familiarización con la información técnica de los motores a pasos dmX-k-34 y descarga del software configurador. Tiempo: 1 Semana

-Descarga y aplicación, con el proveedor de Arcus Technology, de la hoja de datos de los motores a pasos DMX-K-34 y del software que programa vía USB la configuración específica a la que nos interesa que los motores operen para el mover el sistema de visión.

3.8.1.3. Actividad: preparación de la pc para el proyecto. Tiempo: 2 días.

-Se realizó el Formateo, instalación de Windows 7 y de los programas necesarios para el proyecto (MATLAB, PIC-C Compiler, Drivers de los motores, extensiones para MATLAB, Microsoft ICE, IC Capture 2.2, USP 3.0,...) en la PC destinada al proyecto, junto con la realización de las pruebas pertinentes.

3.8.2. ACONDICIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA PROTOTIPO DE DIMENSIONAMIENTO SIN CONTACTO

-En base al diseño que se hizo de la estructura del sistema de dimensionamiento, se mandó a manufacturar en las instalaciones del Ciateq A.C. una estructura interior de 40x70x20cm maquillado en perfil de aluminio estructural para el esqueleto de la estructura.

-Se construyeron 3 paredes de 75x45 cm de trovicel negro para poder reducir la cantidad de luz externa que llegaría al interior de la estructura y tener un mejor control de la luz que ilumina al objeto y al sistema de iluminación, (Ver anexo 2.- Construcción del prototipo).

-Se incorporaron las paredes y a partir del mismo material y dos ángulos de aluminio compuesto se construyó el sistema manual para posicionamiento del sistema de visión, evitando que éste pudiera moverse por error y asegurando siempre la seguridad del sistema de visión para, siempre tener una adquisición de imágenes adecuadas a nuestras necesidades

3.8.3. CONSTRUCCIÓN DE CONTROLADOR PARA MOTOR PASO A PASO.

3.8.3.1. Actividad: Diseño de controlador para motores. Tiempo: 2 semanas

-Diseño, Desarrollo y aplicación del controlador para mover los motores, generando un tren de pulsos y un direccionamiento de giro a izquierda o derecha, en base a las características y configuraciones específicas de los motores a pasos, dependiendo de nuestras necesidades. Para esta actividad se utilizó un pic16f873A y un max232 para la com. Serial y se creó un ambiente visual en matlab.

-Se realizó el circuito controlador para los motores mediante un tren de pulsos y la programación de otras variables en un PIC 16F873A Con un Max232 y su interfaz en Matlab.

-Se conectaron los motores mediante un DB9 a los pines configurados como salida del pic 16F873A en el puerto B y se conectó al circuito Max232 a los pines Rx y Tx del pic 16F873A para comunicar con la pc mediante un cable RS232 a un puerto USB de la máquina.

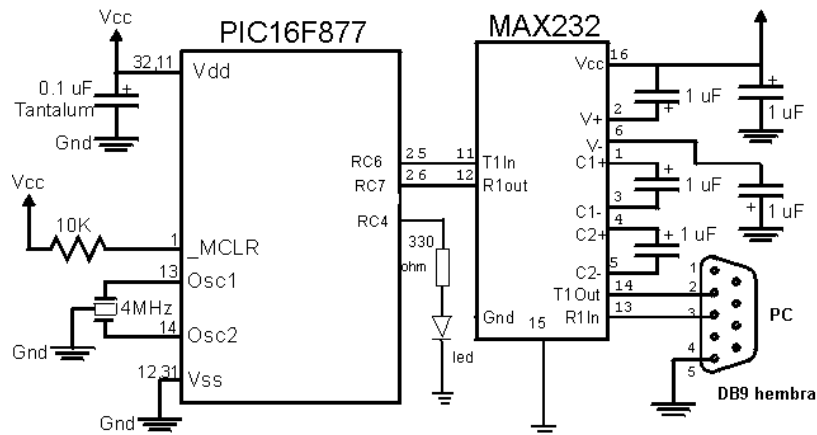


FIGURA 0.19 COMUNICACIÓN SERIAL PIC 16F873A CON MAX 323 Y PC

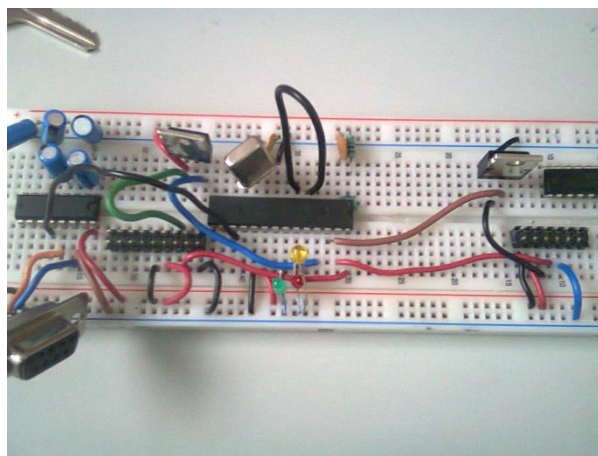


FIGURA 0.20 CIRCUITO BÁSICO PARA EL CONTROLADOR DE LOS MOTORES.

-Se implementó también un gabinete de 22x14cm cuadrados para contener la fuente de 24V de alimentación DC de los motores y el circuito controlador

de los motores (alimentado también por la fuente de 24V), con entrada de alimentación y salidas de comunicación serial a PC y motores, y salida de alimentación a motores (Ver anexo 3. Construcción del controlador para motores a pasos).



FIGURA 0.21 GABINETE PARA FUENTE Y CONTROLADOR DE MOTORES A PASOS

3.8.3.2. Actividad: Diseño de ambiente visual en Matlab, para prueba de motores.

-Se realizaron las pruebas pertinentes como: Control del giro del Motor 1 o Motor 2 en la dirección deseada (izquierda o derecha) vía interfaz de matlab, teniendo así 4 posibles combinaciones, y la aplicación de una secuencia de recorrido para el sistema.

- Se programaron los motores para que siguieran una secuencia (coordenadas en que el sistema debía moverse para tomar las fotos) con las pausas y pasos necesarios, para cumplir una rutina.
- Se creó una cuadrícula (Grid) en hojas de acetato para que el usuario ubicara la posición en el software y así pudiera ubicar los motores en coordenadas específicas.

- Más adelante se generó una interfaz para realizar solo la secuencia “oficial” para que el usuario dijera en que coordenada (del grid) se detendría (equivale a especificar el área de interés) y volvería a la posición original (terminando secuencia).
- Se necesita de una retroalimentación con los motores, (potenciómetro conectado al ADC del pic, en retroalimentación con los motores), para poder tener conocimiento de la ubicación exacta (la coordenada) en la que se encuentra el sistema de visión, para saber que se está tomando la foto en el cuadrante esperado, y/o saber el error que se está teniendo de movimiento por parte de los motores.

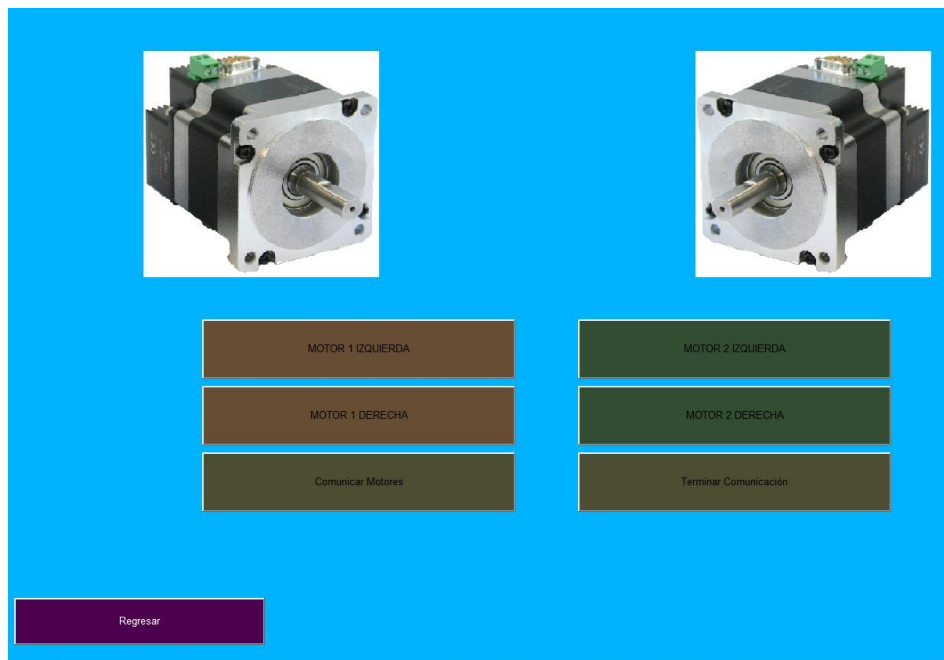


FIGURA 0.22 INTERFAZ (PANTALLA COMPLETA) PARA MOTORES EN PLATAFORMA MATLAB.

3.8.4. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA INTERFAZ.

3.8.4.1. Actividad: diseño del menú principal para el programa en Matlab.

Tiempo: 2 días.

Se genera los principales rubros, que serán:

1. Calibración
 - 1.1. Adquirir imágenes para calibración (4)
 - 1.1.1. Colocar patrón de calibración (Plantilla estilo ajedrez)
 - 1.1.2. Generar una vista previa de la imagen.
 - 1.1.3. Ajustar posición.
 - 1.1.4. Guardar fotos.
 - 1.2. Toolbox de calibración
 - 1.2.1. Leer imágenes adquiridas en el paso anterior.
 - 1.2.2. Extraer esquinas [se refiere al proceso en el que se marcan en las imágenes los el área de referencia, (misma área 5x5cuadros p.ej. para las 4 imágenes) para poder hacer el proceso de comparación de superficies/pixeles/área en las imágenes]
 - 1.2.3. Calibrar (Guardar los datos obtenidos en el proceso de extracción de esquinas, como datos de calibración para el sistema de visión).
 - 1.2.4. Posible refinamiento (repetibilidad).
 - 1.3. Validar la calibración
 - 1.3.1. Colocar el patrón estandarizado adquirido.
 - 1.3.2. Hacer las mediciones del patrón con el sistema calibrado
 - 1.3.3. Revisar error.
2. Adquisición (muestreo) de imágenes
 - 2.1. Tomar fotos del objeto (habiendo ubicado el sistema en su posición)
 - 2.1.1. Se muestra una vista previa de la imagen y la imagen adquirida.
 - 2.1.2. Preguntar si se desea guardar la imagen para dimensionar.
3. Dimensionamiento.
 - 3.1. Detección de bordes (canny)
 - 3.2. Aplicar ecuación de cambio de pixeles a mm [$Q=E^{-1} \cdot K^{-1} \cdot q'$]
 - 3.3. Mostrar imagen en mm.

4. Toolbox de mediciones

4.1. Distancias entre dos rectas.

Se traza rectas equidistantes entre ambas rectas y se genera la distancia, [paralela o perpendicular] se da la Distancia max y min.

4.2. Ángulo entre 2 rectas.

Manejamos las rectas como vectores, se obtiene su ángulo mediante coseno.

Mediante éste diseño se realiza una GUI con Matlab para crear la interfaz con los 4 rubros principales, los botones de las subrubros y una vista previa de la cámara cuando se necesite (Calibración, inicio de muestreo y fin de muestreo).

3.8.5. CURSO SOBRE EL MODELO GEOMÉTRICO DEL SISTEMA.

Descripción de actividades. Tiempo: 5 días.

1.- Se recibió por parte del asesor: M.C. José G. Rico Espino, un curso en cinco sesiones de 3 horas, sobre el modelo geométrico del sistema: Cámara + Lente telecéntrica. Donde el principal objetivo era la comprensión del sistema como herramienta; la base teórica en la que se apoya su funcionamiento, las justificaciones del sistema ante otros posibles candidatos, y el modo correcto de manipular el sistema de visión.

2.- Se aprendió a calibrar el sistema de visión para poder realizar mediciones con ésta cámara y lente en particular.

3.- Se realizaron varias pruebas de calibración con resultados satisfactorios y repetitivos (prueba de que se estaba realizando una correcta calibración).

4.- Se capacitó a otra persona para poder calibrar el sistema correctamente.

5.- Se adaptó el toolbox de calibración al sistema para utilizarlo en el prototipo de dimensionamiento.

3.8.6. CALIBRACIÓN.

Descripción de actividades. Tiempo: 3 días.

1.- Se calibró la cámara y la lente mediante un patrón impreso de tablero de ajedrez (aún no se cuenta con recursos para el patrón de calibración estándar necesario para darle al sistema de dimensionamiento trazabilidad

en la calibración), y los algoritmos de calibración generados en matlab por el M.C. José Rico.

2.- Se tomaron 4 fotos en diferentes ángulos del mismo patrón, cuidando siempre tener el mismo número de referencias [Cuadros negros de 5x5mm] para evaluar el mismo número de cuadros/pixeles, se introdujeron en el software uimatlab para procesamiento de mm a pixel, se genera también mediante esto un delineado o bordes de la imagen a nivel subpíxelico, esto es: buscando donde haya mayor nivel de color en los bordes [se basa en la cantidad de luz en el borde adquirido y su promedio].

3.8.6.1. Prueba de calibración

1.- Se toman 4 fotos para “calibrar”, aún no se cuenta con el patrón estandarizado, de una impresión con un tablero tipo ajedrez, con cuadros de 5.06mmx5.06mm. Cada foto cambia de posición (sin pasarse de una rotación mayor a 180°) con respecto a la cámara pero siempre manteniendo la misma área captada por la cámara, para evaluar el mismo números de cuadros/pixeles, (un área digamos 5x5cuadritos).

3.- Se toman 3 fotos de un vernier abierto a 10mm, 20mm y 30mm cambiando la posición rotando el vernier 45°.

4.- Se procesaron las fotos y antes de realizar el pegado de cada serie, se recortaron, umbralizaron y guardaron en una carpeta específica mediante Matlab.

3.8.7. PRUEBAS DE ADQUISICIÓN DE FOTOS:

3.8.7.1. Adquisición de fotos de objetos con un área menor a 60x60mm

Descripción de actividades. Tiempo: 1 semanas.

1.- Como aún no se tiene el soporte para el sistema de visión, se generó como paso previo la construcción de una estructura provisional para poder tomar muestras de objetos con área menor al del área efectiva de la lente (60x60mm) y se generó un sistema manual, para mantener el sistema de visión siempre en la misma posición, para poder desmontar el sistema, montarlo y obtener los mismos resultados de posicionamiento, ya que la estructura que se tenía planeada para mover al sistema (rieles y soporte del sistema de visión) no quedaría a tiempo debido al retraso en su manufactura

y falta de apoyo económico; obteniendo así resultados menos eficaces, pero que lograrían el objetivo de analizar los algoritmos que se generaron para la adquisición y procesamiento de fotos.

2.- Se procede a armar el sistema de visión, que se conforma por: lente telecéntrica, cámara CCD, sistema de iluminación y comunicación con la PC. [Cabe mencionar que éste equipo es uso muy delicado y cada vez que se trabaje con ellos deberá hacerse con la mayor concentración y cuidado, de limpieza y de manejo].

3.- Se generan las imágenes necesarias y de la calidad deseada** para poder trabajar con ellas y evitar problemas a momento de procesarlas. Se nota que las imágenes que se obtienen necesitan ser: *Recortadas* (debido a una sombra* que se genera debido al sistema de visión) y Umbralizadas, (para aumentar el contraste y así obtener un mejor perfil o silueta del objeto, sin tener tanto ruido de la superficie del soporte.

*La sombra que se genera es debido a la cámara y a la lente en conjunto, debido a que la cámara genera una imagen “cuadrada” o rectangular y la lente solo capta un área circular más chica que el área cuadrada de la cámara, por lo tanto al interponer ambas se generan 4 esquinas oscuras.

**Al principio las imágenes se adquirirían con el software ICE capture, hasta haber hecho suficientes repeticiones y logrado el objetivo de familiarización y toma de muestras satisfactorias, se pasó al programa Matlab para comunicar desde ahí el disparo para adquirir las fotos.

3.8.7.2. Adquisición de fotos de objetos de turbomaquinaria con un área menor a 60x60mm

Tiempo: 1 semanas. Descripción de actividades.

Se tomaron fotos de elementos de turbomaquinaria como álabes, chumaceras, zapatas basculantes y otros objetos con figuras cóncavas o convexas de superficie no reflejante con un área menor al área efectiva del sistema de visión.

1.- Se eligieron las piezas de una turbina de vapor, que coincidieran con los parámetros establecidos con que trabajaría el sistema, así las piezas consideradas fueron: chumaceras, zapatas basculantes, álabes, ensambles de chumacera y pernos de sujeción.

2.- Se estudió cuáles eran los puntos de desgaste, para cada pieza y cuál era el ángulo apropiado para poder obtener la forma de la silueta deseada para medición.

3.- Se ponía en uso el sistema de visión y se adquirieron de la manera correcta todas las imágenes deseadas, para realizar comparaciones de las mediciones hechas.

4.- Realización de un correcto almacenamiento de las imágenes adquiridas.

3.8.7.3. EXTRA: Adquisición de fotos de objetos de área mayor a 60x60mm

(1era semana)-Se generó como paso previo la re-construcción de la estructura provisional para poder moverla y tomar así varias muestras de objetos con área mayor al del área efectiva de la lente (60x60mm) y un simulacro del proceso final, pero de manera manual, ya que la estructura (rieles y soporte del sistema de visión) no quedaría a tiempo.

1.-Se tomaron fotos de un objeto (arco segueta) a una distancia entre toma y toma de 4cmcuadrados entre foto y foto, teniendo un área efectiva de 8cmcuadrados en cada toma; en total se tomaron 52 fotos de un objeto de 46x12cm y se realizó el stitching con el programa Microsoft ICE.

Resultados: Buenos, se necesita mejor unión entre líneas.

2.-Se tomaron fotos de un objeto (engrane) a una distancia entre toma y toma de 6cmcuadrados entre foto y foto, teniendo un área efectiva de 8cmcuadrados en cada toma; en total se tomaron 8 fotos de un objeto de 11cm de diámetro y se realizó el stitching con el programa Microsoft ICE.

Resultados: Malos. No se consiguió que se unieran las fotos realizadas de la mejor manera, solo se consiguió una silueta entrecortada de manera muy aproximada al objeto real.

2.1-Se repitió la práctica con el mismo objeto (engrane) a una distancia entre toma y toma de 6cmcuadrados entre foto y foto, y controlando mejor la iluminación, al meter el sistema dentro de un cuarto oscuro y tener como fuente única de luz, el panel de leds, teniendo un área efectiva de 8cmcuadrados en cada toma; en total se tomaron 4 fotos del objeto de 11cm de diámetro y se realizó múltiples veces más el stitching con el programa Microsoft ICE, hasta obtener mejores resultados.

Resultados: Mejores. Se consiguió que se unieran las piezas inferiores y superiores, pero no ambas así que quedaron desfasadas ambas partes, aunque se logró una imagen más aproximada al objeto real.

3.- Se tomaron fotos de un objeto (audífonos de diadema) a una distancia entre toma y toma de 6cmcuadrados entre foto y foto, teniendo un área efectiva de 8cmcuadrados en cada toma; en total se tomaron 6 fotos de un objeto de 19x16cm y se realizó el stitching con el programa Microsoft ICE.

Resultados: Regulares, se consiguió la silueta y forma correcta pero no se lograron unir/hacer coincidir 2 líneas de la imagen.

4.- Se tomaron 3 sesiones de fotos a pulso (esto es sin ningún cuidado de la distancia entre foto y foto) de un panorama contenido dentro de 12 a 8 fotos dentro de las instalaciones del CIATEQ con una cámara fujifilm high speed back-illuminated CMOS; y se realizó el stitching con el programa Microsoft ICE.

Resultados: óptimos, debido a la cantidad de referencias que tiene el programa para realizar el pegado, se esperaba ese resultado.

Conclusiones: Se deberá tener al menos el 50% de traslape entre toma y toma de objetos para lograr un mejor stitching ya que el sistema genera una sombra en la imagen, que nos genera “ruido” al procesarla, se necesitan más referencias para lograr unir mejor las fotos, eso será algo para corregir, controlar la iluminación no genera tanto problema a menos que sean objetos muy reflejantes.

Propuestas: Reorientar la pieza reflejante, colocar marcas referencia para la pieza, realizar nuevas distancias 5 y 4 cm entre toma y toma, corregir el problema del sistema de visión, realizar pruebas de stitch con imagen muestra, tomar video y crear imagen panorámica con el software Microsoft ICE.

5.- Se recortaron fotos panorámicas a nivel pixel mediante el programa Microsoft office picture manager (sin dejar espacios entre los “cortes”), y luego se utilizó el Microsoft ICE para pegar las imágenes panorámicas.

6.-Se localizó un error del sistema de visión, al adquirir las imágenes ya que la lente generaba sombra al adquirir las imágenes y esto nos genera resultados falsos o un problema al pegar las imágenes para lograr una imagen panorámica exacta.

Solución: Se recortaron las imágenes (todas el mismo error= mismo corte) mediante una función en Matlab.

Conclusión: Se pueden tomar las fotos desde matlab con el área recortada para poder guardarlas “recortadas” o recortar mediante la función string y cat (concatenar) las imágenes, de todos modos se usa esa función para guardar la secuencia de fotos adquiridas.

*La sombra que se genera es debido a la cámara y a la lente en conjunto, debido a que la cámara genera una imagen “cuadrada” o rectangular y la lente solo capta un área circular más chica que el área cuadrada de la cámara, por lo tanto al interponer ambas se generan 4 esquinas oscuras.

3.8.8. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.

3.8.8.1. Procesamiento de la imagen para dimensionamiento.

1.- Se genera una función, parte de la interfaz que procesa las fotos de manera individual y “grupos” de imágenes para recortarlas, umbralizarlas y guardarlas en una carpeta específica.

2.- Se muestra la imagen procesada en la interfaz de matlab, y se procede a realizar los algoritmos de dimensionamiento que se realizaron en la plataforma de Matlab.

3.- Se procesaban las imágenes mediante el toolbox de dimensionamiento y las herramientas extra de dimensionamiento, incluidas en la interfaz.

3.8.8.2. EXTRA: Practica de muestreo y stitching (pegado de fotos), [para objetos con área mayor al área efectiva de la cámara (60x60mm)].

Tiempo: 3 semanas.

-Se generó como paso previo la re-construcción de la estructura provisional para poder moverla y tomar así varias muestras de objetos con área mayor al del área efectiva de la lente (60x60mm) y un simulacro del proceso final, pero de manera manual, ya que la estructura (rieles y soporte del sistema de visión) no quedaría a tiempo debido al retraso en su manufactura y falta de apoyo económico; obteniendo así resultados menos eficaces, pero que lograrían el objetivo de prever problemas en la práctica de la adquisición de fotos.

3.8.8.3. Cuadrícula (para orientar al sistema).

-Se realizaron imágenes a 3 hojas tamaño carta con cuadrículas de 4, 5 y 6 cm por cuadrado, para calibrar el sistema manual de posicionamiento del sistema de visión con respecto a los objetos que se tomen, ya que se concluyó como una medida necesaria para evitar problemas al momento de meter las imágenes al software de stitching.

Se realizaron imágenes a objetos ya antes capturados pero con el grid de 4 cm de fondo entre el policarbonato y el objeto. Se considera que el grid será necesario tanto como para ayudar al software a pegar las imágenes (aumento de referencias), como una herramienta de posicionamiento por coordenadas para auxiliar al usuario al momento de utilizar la interfaz de dimensionamiento y adquirir imágenes para procesar.

Se procesaron las fotos y antes de realizar el pegado de cada serie, se recortaron, umbralizaron y guardaron en una carpeta específica mediante Matlab. Los resultados mejoran notablemente.

CAPITULO: RESULTADOS, PLANOS, GRÁFICAS, PROTOTIPOS Y PROGRAMAS.

4.1. DISEÑO DE LA INTERFAZ

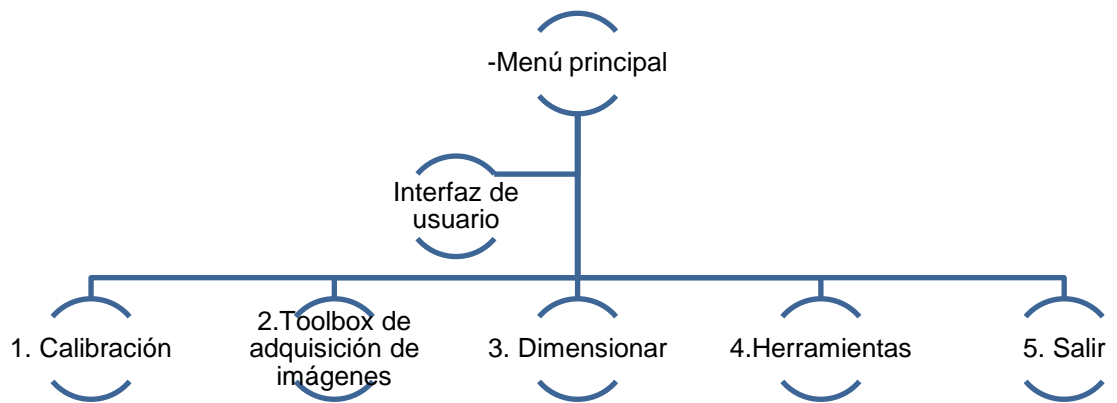


FIGURA 0.1 DISEÑO CONCEPTUAL DE LA INTERFAZ

4.2. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA INTERFAZ.

Menú principal. Reune las opciones principales o submenús, con que cuenta la interfaz de usuario para utilizar el prototipo de dimensionamiento.

1. Calibración. En ésta opción del menú se genera el submenú de calibración del sistema de visión, no es necesario entrar en ese menú a menos que sea la primera vez que se calibra el sistema o se necesite calibrar el sistema como parte de un mantenimiento periódico, preventivo para evitar desviaciones en las mediciones. (Se recomienda calibrar el sistema cada 3 a 6 meses, por un experto)

Tomar fotos (4).

Toolbox de calibración.

Guardar calibración.

2. Adquisición: En éste apartado se inicia el proceso de dimensionamiento. Al adquirir imágenes del objeto a dimensionar y “Dar de alta” la imagen para que el sistema trabaje con ella.

Preview de objeto.

Tomar foto.

Guardar imagen.

3. Dimensionar. Se generan los resultados obtenidos de la imagen guardada en el sistema, su equivalente de pix a mm y se muestra la imagen dimensionada, con sus ejes de referencia en mm.

Se genera el preview de la imagen con el cambio realizado (en base a la calibración) de pixeles a mm.

4. Herramientas. Se tienen 2 herramientas de dimensionamiento; la primera es para calcular la mayor distancia que hay entre dos rectas y la segunda es para calcular el ángulo entre dos rectas que se señalen en la imagen adquirida.

Distancia entre dos rectas. Genera el cálculo de la mayor distancia que hay entre dos rectas, señaladas mediante el puntero del mouse.

Ángulo entre dos rectas. Genera el ángulo que hay entre dos rectas señaladas mediante el puntero del mouse.

5. Salir. Cierra el sistema, guardando la calibración, la imagen adquirida y la imagen dimensionada. No guarda los datos que generan las herramientas de dimensionamiento.

4.3. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DEL PROGRAMA DESARROLLADOR.

TABLA 0-1 TABLA COMPARATIVA DE PLATAFORMAS DE PROGRAMACIÓN

<i>Tabla comparativa de plataformas de programación.</i>			
Factores que se tomaron en cuenta para elegir plataforma.	C++	MatLab	Visual
Tiempo de procesamiento.	SI	NO	SI
Visualización.	NO	SI	SI
Tiempo de desarrollo de algoritmos.	NO	SI	NO
Toolbox de procesamiento de imágenes.	NO	SI	SI
Evaluación de algoritmos.	SI	SI	NO
Código o algoritmos existentes para visión por computadora y procesamiento de imágenes.	NO	SI	NO

Para la realización de la interfaz de usuario para el prototipo de dimensionamiento sin contacto, se eligió la plataforma de Matlab debido principalmente: a la rapidez de desarrollo de algoritmos ya que ya cuenta con herramientas como las GUI que facilitan la creación de interfaces, el toolbox de adquisición y procesamiento de imágenes que ayudan a comprobar los algoritmos creados para el dimensionamiento.

4.4. INTERFAZ.

A continuación se muestran las pantallas principales del sistema de dimensionamiento en la plataforma de Matlab, para ver todas las pantallas (ver anexo 5).

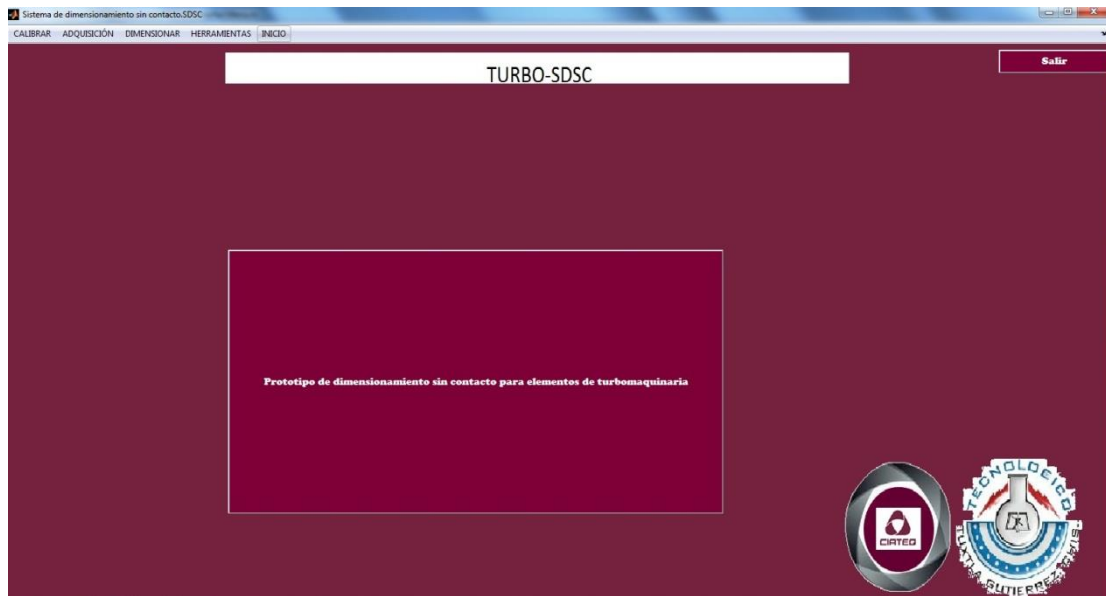


FIGURA 0.2 MENÚ PRINCIPAL DEL PROGRAMA CON LA BARRA DE PRINCIPAL

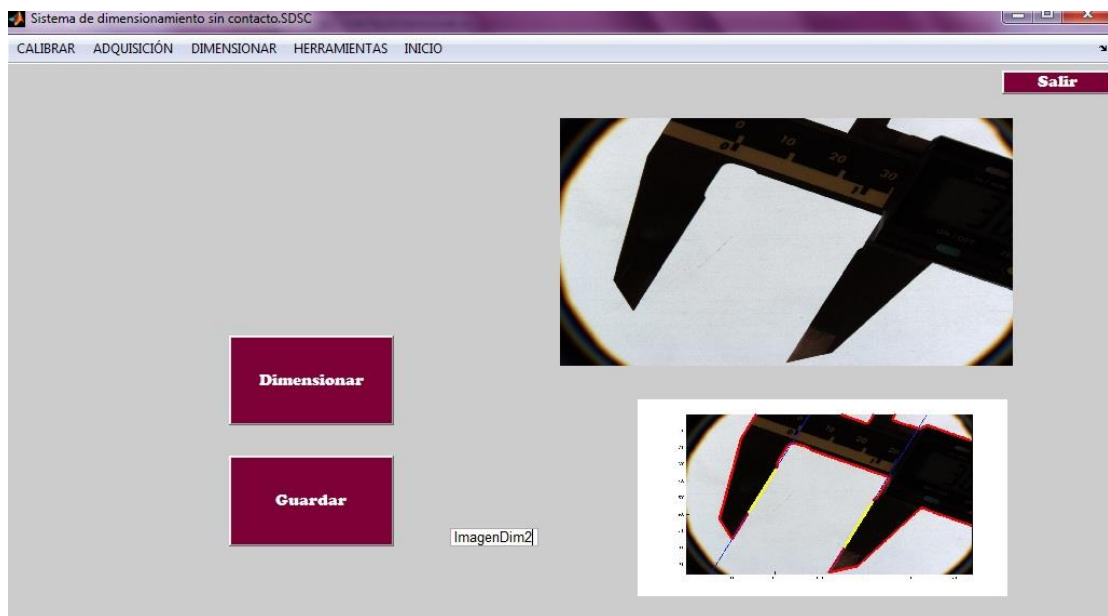


FIGURA 0.3 MENÚ DE DIMENSIONAMIENTO

4.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.5.1. CONCLUSIONES

Los objetos ideales para el prototipo que se diseñó son aquellos que siendo simétricos a lo largo también lo son a lo ancho, como cilindros y esferas, aquellos que tienen sus bordes o límites bien delineados a pesar de que sean milimétricos para poder obtener una silueta bien marcada del objeto.

El sistema logrado tiene un buen margen de error (de 1 mm), sin embargo se considera que el sistema lograría mayor precisión mediante herramientas como: el patrón de calibración (con trazabilidad) y un poco más de tiempo para la mejora del algoritmos de dimensionamiento.

Se logró el objetivo de dimensionar elementos de turbomaquinaria, sin embargo por falta de tiempo ya no se logró concluir un sistema de coordenadas para dimensionamiento de figuras con áreas mayores al área de la lente, como un extra al proyecto planteado.

4.5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar el proyecto para poder lograr el objetivo de mover la cámara en dos ejes y posibilitar así el aumento de área eficaz del sistema. Debido a que generalmente se requiere de una silueta específica para dimensionar, también se recomienda modificar o ingeniar alguna superficie donde la pieza se pueda acomodar como la aplicación lo requiera sin afectar la toma de la silueta con el sistema de visión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. - Qingbing Zeng, Chengliang Liu, Yubin Miao, Shengwei Fei, (2008), "A machine vision system for continuous field measurement of grape fruit diameter ", *Second international symposium on intelligent information technology application*, ieee-computer society, pp 1064-1068.
2. - Huei Pei Kuo, Robert Walmsley, Lennie Kiyama, Michael Tan, (2008), "Telecentric optics for free-space optical link", *16th IEEE symposium on high performance interconnects*, pp. 131-136.
3. - Zhengyou Zhang, (1999), "Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations", *microsoft research, one microsoft way*, redmond, wa 98052-6399, usa,iee
4. - Natividad Grandón-Pastén, Diego Aracena-Pizarro, Clésio Luis Tozzi, (2007), "3D object reconstruction with calibrated images", *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 15 nº 2, 2007, pp. 158-168.
5. - Yu-Shan Li, Tzay Y. Young, And Chi-Chai Huang, (1989), "Noncontact measurement using line-scan cameras: analysis of positioning error", *IEEE Transactions on industrial electronics*, vol. 36, no. 4, pp 545-551
6. - Unai Mujika Torrontegi, (2010),"Reconstrucción densa de modelos tridimensionales utilizando visión artificial", *Tesis de Máster*, Universidad del país Vasco, departamento de ciencia de la computación e inteligencia artificial, 56 págs.
7. - Chen Xiaozhen, Zhou Wu*, Liu Hailong, Cai Xiaoshu, Su Mingxu, Cheng Linhu, (2012),"in-situ particle measurement with blurred image processing using telecentric lenses", *Program by shanghai science and technology committee*, ©2012 IEEE, 6 pags.
9. -Lanman, D. [Douglas], Hauagge, D.C.[Daniel Cabrini], Taubin, G.[Gabriel], (2009), "Shape from depth discontinuities under orthographic projection", *IEEE doi link 910, 3dim09(1550-1557)*.
10. - Chun Yang, Zhong Wang, Zhenxing Cai, Jin Zhang, (2010), "Research on the image definition criterion on the high accuracy image measurement system", *3rd international congress on image and signal processing*, pp.1671-1675.

11. - Benjamín Valera O. Y José Sánchez V., “Sistema para la medición dimensional 3d por visión“.
12. - Canny,J. (1986), “A computational approach to edge detection.”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pp 679–698.
13. - Gil, J., Y. Torres y A. Plata. (2000), “Reconstrucción tridimensional a partir de contornos bidimensionales, prototipo de la herramienta PINTCO versión 1.0.”, *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, pp 393–399.
14. - Andrés Eleázar Jaramillo, Flavio Prieto, Pierre Boulanger, (2007) “Inspección de piezas 3D: Revisión de la literatura”, *Ingeniería e investigación*, Vol. 27, No. 003, pp.118-126
15. - Shu,S., Lee E., Kim H. and J. Cho. (2002). Geometric Error Measurement of spiral bevel gear using a virtual gear model for STEP-NC. *International Journal of Machine tools and manufacture*, pp. 335-342.
- 16.- Ciateq, El marqués, Qro. (2009), “Curso de Turbinas de vapor”, Departamento de turbomaquinaria. Cap.1, 3 y 8.
17. - Xiaodong Tao, Hyungsuck Cho & Kyung Chul Koh, (2009), “View planning to increase the visibility for observing micro objects using a variable view imaging system”, 978-1-4244-4210-2/09 ©2009 iee, pp 299-304
18. - Li Yuhuan and Zhang Jianmin, (2009),”Study of electro-optical measuring system for measuring the dimension of plant organs”, proceedings of 2009 4th international conference on computer science & education, pp 1897-1901.

ANEXOS

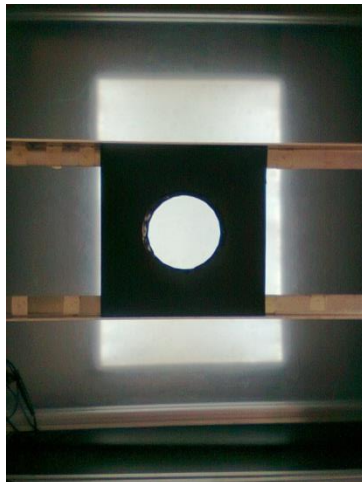
1.- Sistema de iluminación



Panel de leds.



Panel dentro de la estructura.



Área efectiva de iluminación

2. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO



ESTRUCTURA SIN PAREDES.



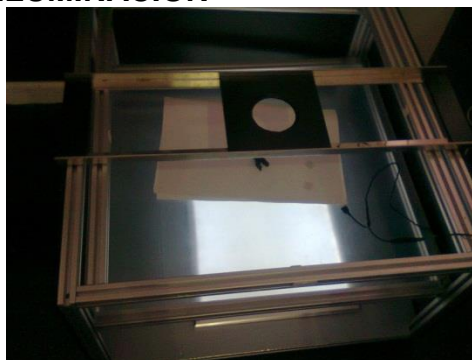
MATERIAL DE PARED: TROVICEL



PAREDES IMPLEMENTADAS

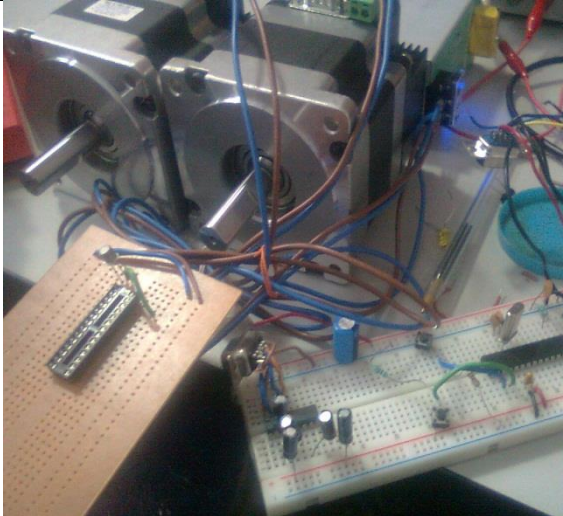


PRUEBAS DE ILUMINACIÓN

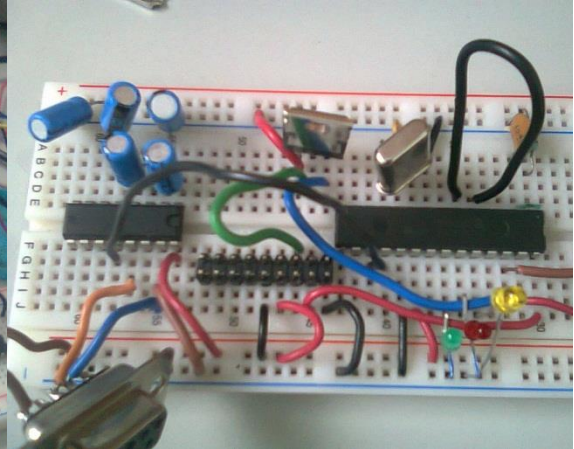


CONSTRUCCIÓN DEL SOPORTE DEL SISTEMA DE VISIÓN

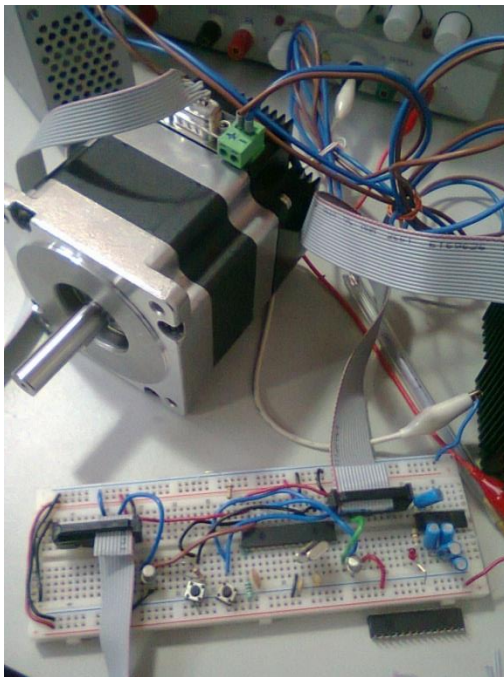
1. Construcción del controlador para motores a pasos



Circuito probado a placa.



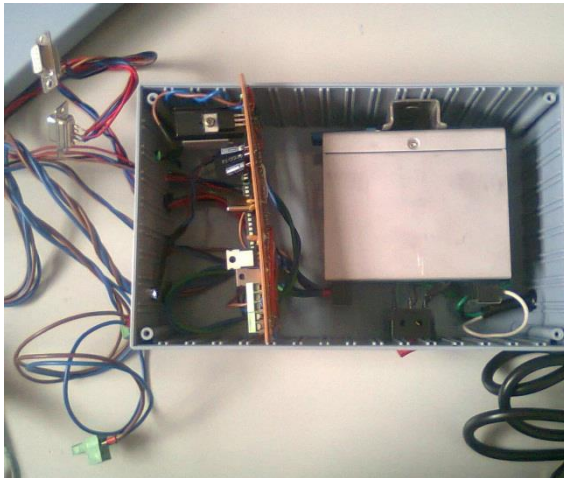
Comunicación serial (Motores y pc)



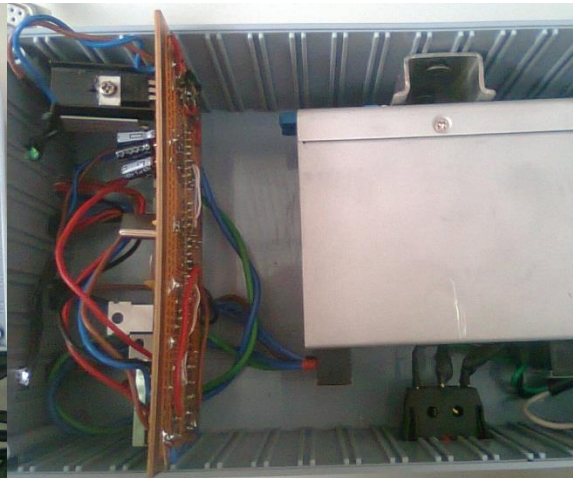
Prueba con motores



Circuito en placa y montado



Gabinete montado (Fuente y placa)



Placa para manejo de motores



Fuente de 24v y hasta 6 Amp.



Vista frontal del gabinete.



Vista superior del gabinete



Interruptor general del gabinete.

2. Sistema de visión

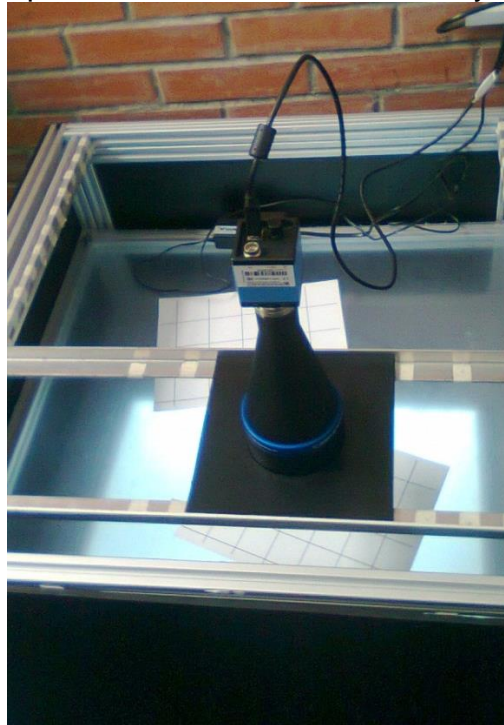


Almohadilla de transporte de lente

3.



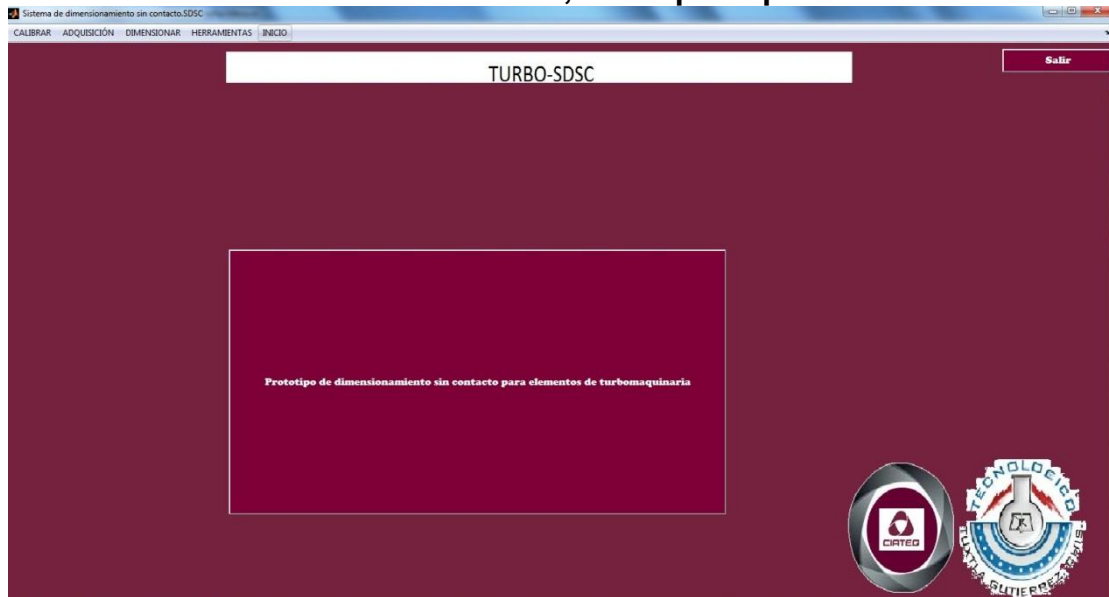
Cámara y lente telecéntrica



Sistema de visión en uso.

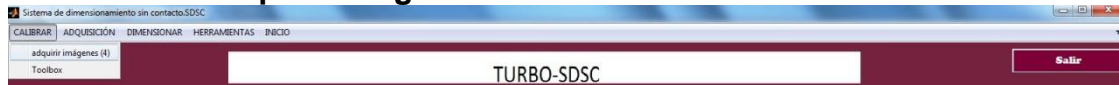
4. INTERFAZ TURBO-SDSC

Pantalla de inicio, menú principal.

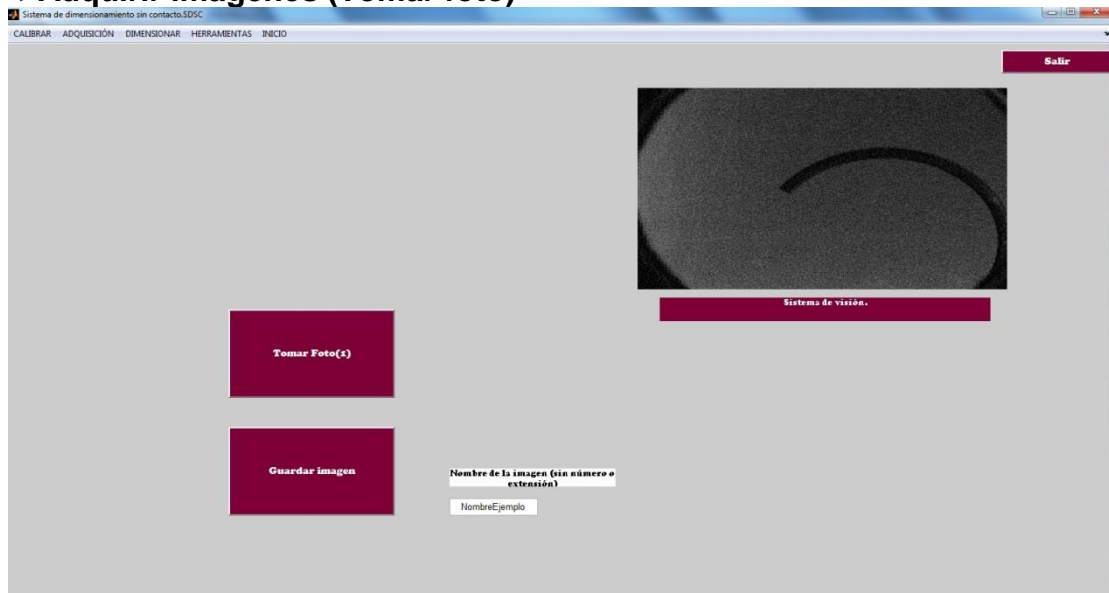


Sub-menús:

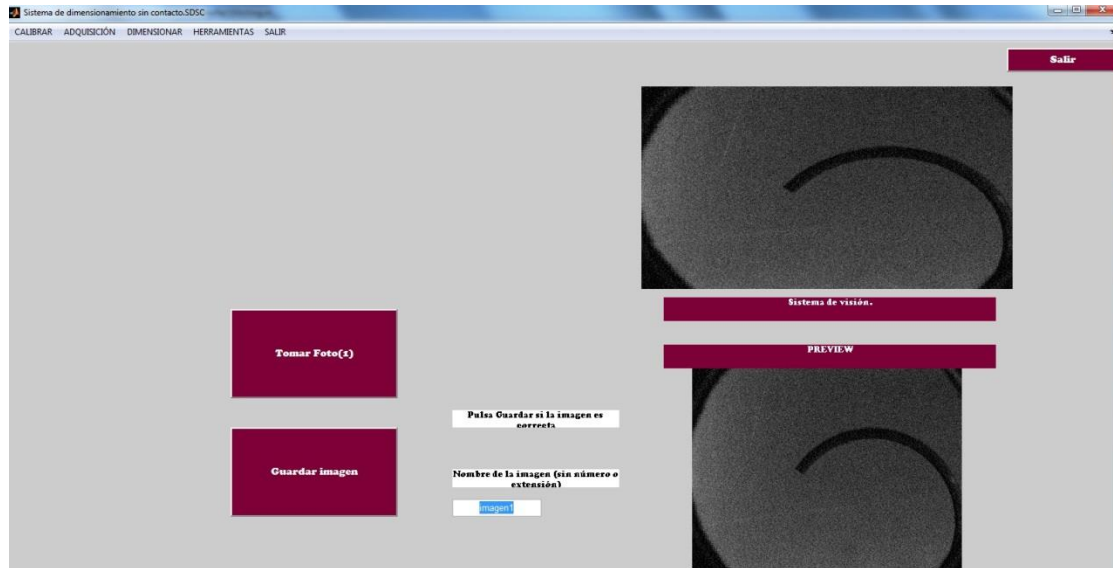
1.- Calibrar->Adquirir imágenes



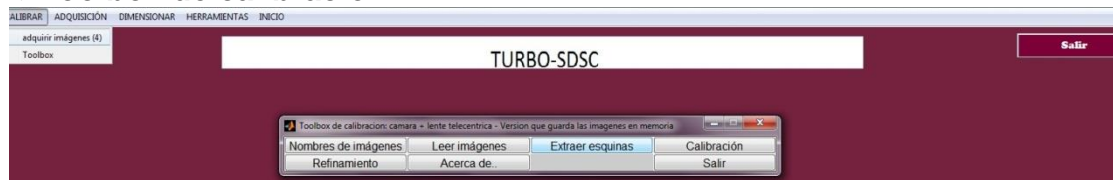
->Adquirir imágenes (Tomar foto)



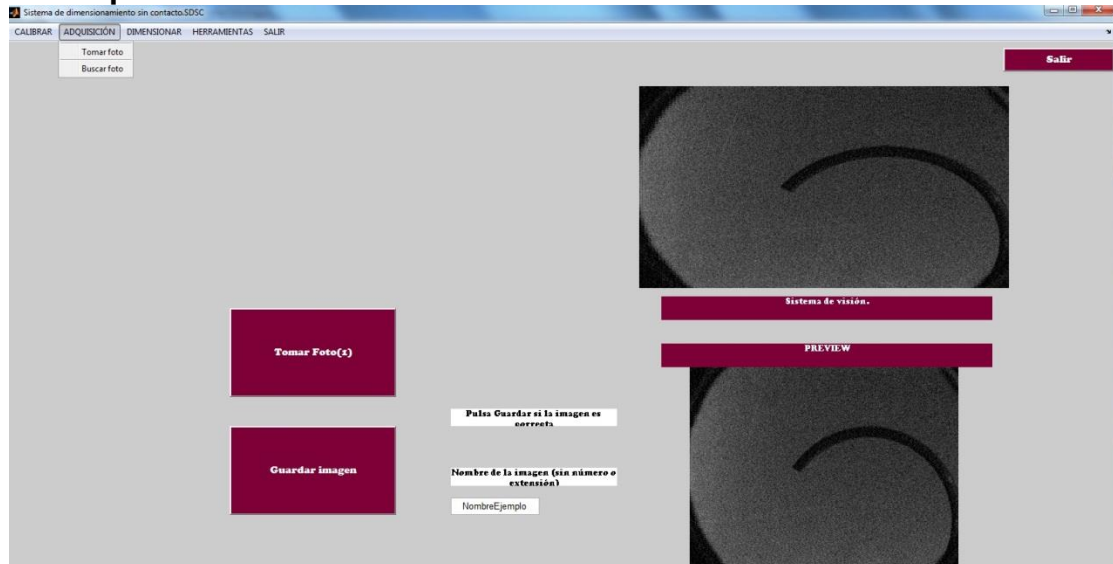
->Tomar foto:



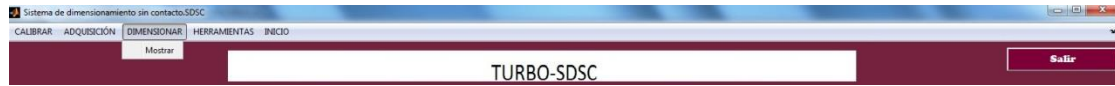
->Toolbox de calibración:



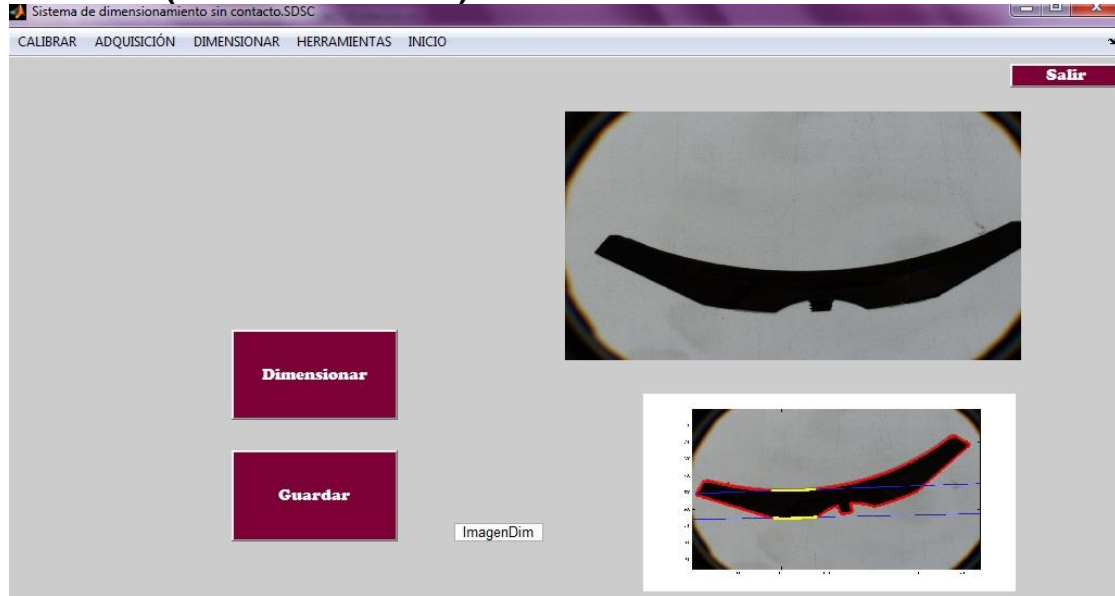
2.- Adquisición->Tomar foto.



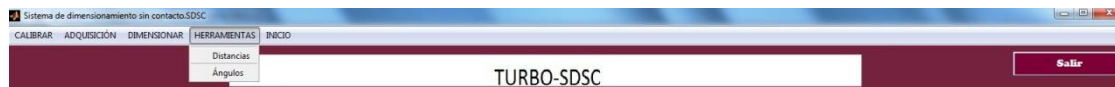
3.- Dimensionar:



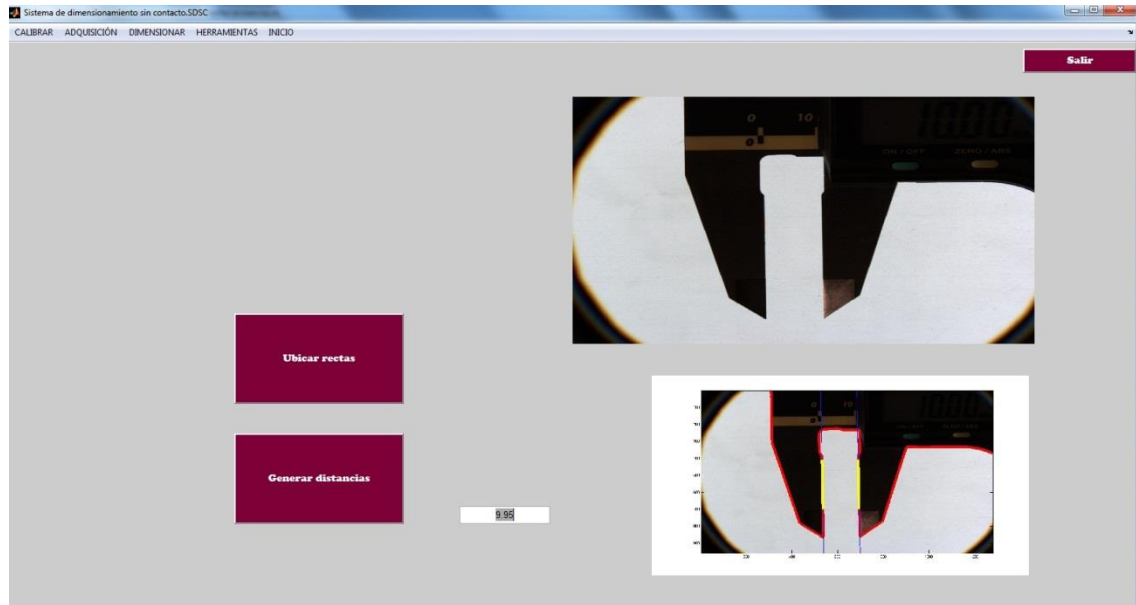
->Mostrar (dimensionamiento)



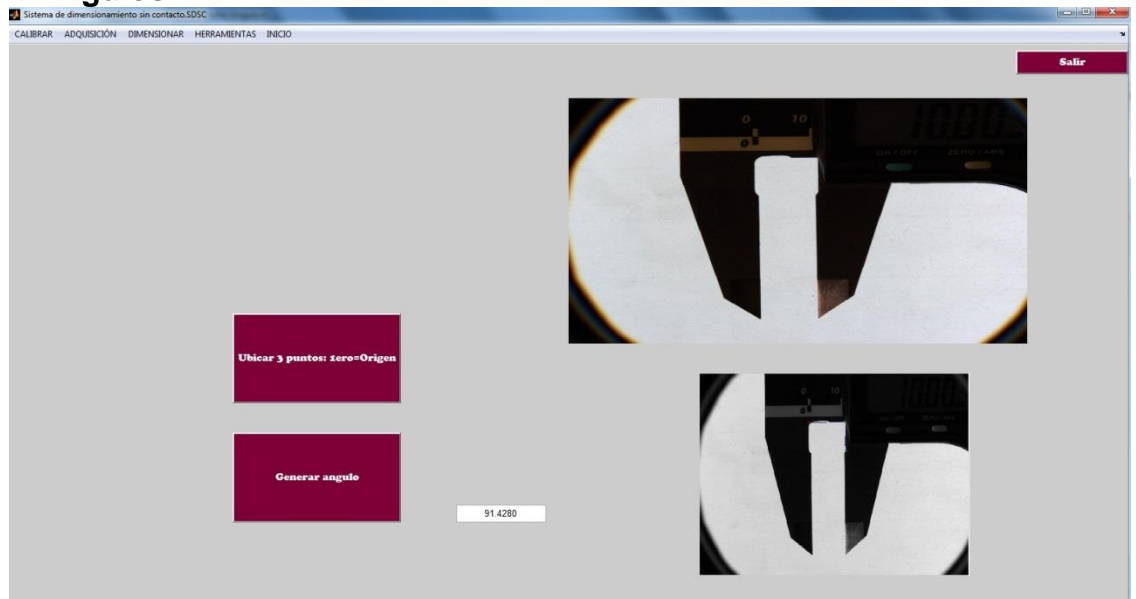
4.- Herramientas (de dimensionamiento):



->Distancia entre dos rectas



->Ángulos



POSIBLES CLIENTES, PRODUCTOS Y SERVICIOS

Producto: Sistema de dimensionamiento sin contacto. Para empresas con necesidad de un control de calidad en sus productos e inmediato desecho de producto o revisión milimétrica de imperfecciones.

- Área de metrología
- Área de Turbomaquinaria
- Servicio de mantenimiento a turbinas (controlar el desgaste de los álabes principalmente).
- Servicio de reconstrucción y mantenimiento a maquinaria, turbinas, motores, etc.
- Servicio de reconstrucción de piezas con un área menor a 60mm(irreemplazables o muy costosas) de turbomaquinaria

□ Maquinaria y Equipo

Arvin de México, S.A de C.V.

Alambrados y Circuitos Eléctricos

Alfa Hi-Lex, S.A. de C.V.

Bombardier Transportation, S.A. de C.V.

Condumex, S.A. de C.V.

Conducel, S.A. de C.V.

Cydsa, S.A. de C.V.

Geométrica de México, S.A.

Girsa Corporativo, S.A. de C.V.

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM).

Hilex Mexicana, S.A. de C.V.

Helvex, S.A. de C.V.

Mabe, S.A. de C.V.

Maquinados y Pilotos Saldaña, S.A. de C.V.

J.M. Romo, S.A. de C.V.

Kosa, S.A. de C.V.

Secretaría de Marina (SEMAR).

Siemens, VDO, S.A. de C.V.

Servicios Selther, S.A. de C.V.

Aeronáutica

ITR Turborreactores

GE IQ (CIAT)

PRODUCTOS Y SERVICIOS

Sistemas de medición

IATEQ atiende a la industria, en lo relativo a servicios de calibración, medición y

ruebas a nivel secundario.

os sistemas de medición que abarca la actividad son:

o Medición Dimensional.

o Medición de Masa.

o Medición de Temperatura.

o Medición de Presión.

o Medición de Flujo.

o Medición Eléctrica.

ⁱ (La luz estructurada es luz ordinaria codificada que proyecta patrones que, por su forma y/o color se pueda saber que parte del patrón se está observando en cada zona del objeto iluminado).



Santiago de Querétaro, Qro, a 03 de Diciembre de 2012.



Asunto: Carta de Terminación

ING. RODRIGO FERRER GONZÁLEZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN
TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ
P R E S E N T E

Por medio del presente me permito informarle que la **C. DIANA CALDERÓN DE LA CRUZ**, con número de control 08270394 estudiante de la carrera de Ingeniería Electrónica ha concluido satisfactoriamente su Residencia Profesional, cubriendo un periodo del 9 de julio al 09 de diciembre de 2012.

Se extiende la presente para los fines que convenga a la interesada.

ATENTAMENTE


 **CIATEQ**
CIA-7811-09-US4
AV. MANANTIAL 23-A
PARQUE INDUS. BERNARDO QUINTANA
C.P. 76248 QUERÉTARO, QRO.
M EN C. JOSÉ GUADALUPE RICO ESPINO
INGENIERO DE APOYO



Querétaro, Qro.

+52 (442) 2112600

| 01 800 800 3798

| mkt@ciateq.mx

www.ciateq.mx



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
 DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA
 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

SECRETARÍA DE
 EDUCACIÓN PÚBLICA

CONSTANCIA DE LIBERACION Y EVALUACION DE PROYECTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

A QUIEN CÓRRESPONDA:

Por medio de la presente, me permito informarle que ha concluido la asesoría y revisión del proyecto Residencia Profesional, cuyo título es: Prototipo de dimensionamiento sin contacto de elementos de Turbomaquinaria, desarrollado por: CALDERON DE LA CRUZ DIANA, estudiante de la carrera de Ingeniería Electrónica, con Núm. de Control: 08270394, durante el período: AGOSTO/DICIEMBRE 2012.

Por lo que se emite la presenta Constancia de Liberación y Evaluación del Proyecto mencionado, a los diez días del mes de diciembre del año Dos Mil Doce.

ATENTAMENTE
"Ciencia y Tecnología con Sentido Humano"

DR. ALEJANDRO MEDINA SANTIAGO
 ASESOR DEL PROYECTO

M. en C. PAUL MORENO RINCON
 REVISOR

DR. HECTOR RICARDO HERNANDEZ DE LEON
 REVISOR

C.c.p. Archivo
 VLO/gcg



Carretera Panamericana Km.1080, . C.P. 29050, Apartado Postal 599
 Teléfonos: (961) 61 5-03-80 (961) 61 5-04-61 Fax: (961) 61 5-16-87
<http://www.ittg.edu.mx>



Alcance del Sistema: Proceso Educativo