



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y DESARROLLO DEL EQUIPO DE CAPTURA
DE IMÁGENES**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

PRESENTAN

**RICARDO GRANADOS ALFARO
MANUEL ANTONIO DELGADO PALOMO**

DIRECTOR DE TESIS

ING. RODOLFO FEDERICO PETERS LAMMEL



Ciudad Universitaria, México D.F., 2012

CONTENIDOS

CAPÍTULO 01.....	8
INTRODUCCIÓN	8
1.1 OBJETIVOS	9
CAPITULO 02.....	10
CONCEPTOS BÁSICOS DEL ESCANEEO	10
2.1 PARÁMETROS DE UN ESCÁNER	10
2.1.1 Resolución óptica	10
2.1.2 Resolución interpolada	11
2.1.3 Resolución de escaneado	11
2.1.4 Velocidad de exploración	11
2.1.5 Formatos de archivo	11
2.2 ESTRUCTURA BÁSICA DE UN ESCÁNER	11
2.2.1 Transductor de reconocimiento óptico.	11
2.2.2 Interfaz (Frame Grabber)	12
2.2.3 Sistema de Iluminación.	12
2.2.4 Mecanismo de avance.	12
2.3 TIPOS DE ESCÁNER	12
2.3.1 El escáner plano.	12
2.3.2 Escáner óptico.	12
2.3.3 El escáner de mano.	13
2.3.4 El escáner de sobremesa.	13
2.3.5 El escáner de rodillo.	13
2.3.4 Escáner aéreo.	13
2.4 DIGITALIZACIÓN	13
CAPITULO 03.....	15
CÁMARA	15
3.1 CÁMARA DIGITAL	15
3.2 CÁMARA DE ÁREA	15
3.3 CÁMARA LINEAL	16
3.4 SENSORES DIGITALES	17
3.4.1 CCD.	18

3.4.2 CMOS.	18
3.4.3 CCD vs CMOS.	18
3.5 RESPONSIVIDAD	19
3.6 RANGO DINÁMICO	19
3.7 UNIFORMIDAD	20
3.8 OBTURACIÓN	20
3.9 ANTIBLOOMING	20
3.10 ELECCIÓN DE LA CÁMARA	21
3.10.1 Basler Sprint spL8192-39kc.	22
3. 11 CREACIÓN DE COLOR	22
3.11.1 Profundidad de muestreo.	22
3.11.2 Filtros Bayer.	23
3.12 MODOS DE ADQUISICIÓN DE LÍNEA	24
3.12.1 Modo de adquisición RGB.	25
3.12.2 Modo de adquisición RAW crudo.	25
3.12.3 Modo de adquisición RAW mejorado.	26
3.13 COMPARATIVA DE LOS MODOS DE ADQUISICIÓN DE LÍNEA	27
3.13.1 RGB.	27
3.13.2 RAW crudo.	27
3.13.3 RAW mejorado.	27

CAPÍTULO 04.....28

ÓPTICA 28

4.1 SISTEMA ÓPTICO	28
4.2 LENTES SIMPLES	29
4.3 ECUACIONES DE LENTES DELGADAS	29
4.4 ECUACIONES DE UNALENTE GRUESA	32
4.5 PARÁMETROS BASE	34
4.6 ELECCIÓN DE LALENTE	36
4.6.1 Lente Schneider Macro Apo-Componon 4.5/90mm.	36
4.6.2 Adaptador UNIFOC100/95_/_V-Basler Helical Mount.	37
4.6.3 Adaptador M58 x 0.75 V-Basler Lens Mount.	38
4.6.4 Lente Schneider Macro Componon-S 5.6/100mm.	39

CAPÍTULO 05.....42

ILUMINACIÓN 42

5.1	TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN TRADICIONALES PARA EL ESCANEEO LINEAL	43
5.1.1	Fluorescentes.	43
5.1.2	Halógeno transmitido por fibra (FDH).	43
5.1.3	Haluro Metálico transmitido por fibra (FDMH).	44
5.1.4	Diodos emisores de luz.	44
5.2	TÉCNICAS DE ILUMINACIÓN CON LEDS	45
5.2.1	Iluminación a un ángulo pequeño y horizontal.	45
5.2.2	Iluminación de anillo.	45
5.2.3	Iluminación de fondo.	46
5.2.4	Iluminación coaxial.	46
5.2.5	Domo de Iluminación.	47
5.3	DISEÑO DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO DE ILUMINACIÓN	48
5.3.1	Fuente de corriente regulada.	49
5.3.2	Control de corriente.	50
5.3.3	Sistema de Seguridad.	50
5.3.4	Leds.	51
5.4	COLOR DE TEMPERATURA	52
5.5	LEDS ELEGIDOS PARA CONFORMAR LA ILUMINACIÓN	53

CAPÍTULO 06.....54

	MECANISMO	54
6.1	EL MOTOR	55
6.1.1	Motores de CA.	55
6.1.2	Motores de CD.	55
6.1.3	Motores a pasos.	55
6.1.3	Servomotores.	56
6.2	VELOCIDAD	57
6.3	PAR	58
6.4	POTENCIA	60
6.5	ELECCIÓN DEL MOTOR	61
6.6	CONTROL PARA EL MOTOR	62
6.6.1	Variador de frecuencia.	63
	6.6.1.1 Circuito de rectificado y filtrado.	63
	6.6.1.2 Circuito inversor.	63

6.7	ELEMENTO MECÁNICO PARA MOVIMIENTO LINEAL (TRANSMISIÓN DE POTENCIA).	66
6.7.1	Bandas dentadas y poleas.	66
6.7.2	Tornillo sinfín.	67
6.7.3	Elección del elemento mecánico para el movimiento lineal.	67
6.8	ENCÓDER	70
CAPÍTULO 07.....		73
CONTROL /COMUNICACIÓN		73
7.1	DIAGRAMA GENERAL DE COMUNICACIÓN	73
7.2	PC / PUERTO PARALELO	74
7.2.1	Constitución física.	74
7.2.2	Registros de Estado.	76
7.2.3	Registros de Control.	76
7.2.4	Direccionamiento del puerto paralelo y sus registros.	76
7.3	PROGRAMACIÓN PC / PUERTO PARALELO	77
7.3.1	Ambiente de programación.	77
7.3.2	Librería Inpout32.dll.	77
7.4	SEÑALES DE ENTRADA AL PUERTO PARALELO	78
7.4.1	Encoder.	79
	7.4.1.1 <i>Hengstler RI 58 - D 1000 EF .32ib.</i>	79
7.4.2	Sensores de posición y de emergencia.	81
7.5	CONCEPCIÓN LÓGICA DE LAS SEÑALES DE ENTRADA DEL PUERTO PARALELO	83
7.6	DISTRIBUCIÓN DE LAS SEÑALES DE ENTRADA EN LOS REGISTROS DE ESTADO	83
7.7	SEÑALES DE SALIDA DEL PUERTO PARALELO	85
7.7.1	Variador de frecuencia / Motor.	85
	7.7.1.1 <i>Baldor GM25280.</i>	85
	7.7.1.2 <i>Altivar 12.</i>	85
7.7.2	Conexión Motor/Variador.	86
7.7.3	Conexión Variador/Puerto paralelo.	89
7.8	CONCEPCIÓN LÓGICA DE LAS SEÑALES DE SALIDA DEL PUERTO PARALELO	92
7.8.1	Distribución de las señales de salida en los registros de datos.	92

CAPÍTULO 08.....95

ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS 95

8.1 ELECCIÓN DE FRAME GRABBER 95

8.1.1 Características del Frame Grabber Helios eCL/XCL. 96

8.2 SOFTWARE 98

8.2.1 Software Basler Camera link Configuration Tool Plus (CCT+). 98

8.2.2 Software Frame Grabber INTELICAM. 98

8.2.2.1 Cambio de resolución. 101

8.2.2.2 Número de taps y orden de bits. 101

8.2.2.3 Filtro Bayer. 102

8.2.3 Software Visual Basic. 103

8.2.4 Librería MIL. 103

8.3 CAMERA LINK ESTÁNDAR 104

CAPÍTULO 09.....106

COSTOS 106

CAPÍTULO 10.....111

CONCLUSIONES 111

REFERENCIAS 113

TABLAS

TABLA 3.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS CÁMARAS DE ÁREA. 16

TABLA 3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS CÁMARAS LINEALES. 17

TABLA 3.3 COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS Y DESEMPEÑO ENTRE CCD Y CMOS. 20

TABLA 3.4 COMPARATIVA DE CÁMARAS LINEALES. 21

TABLA 3.5 CARACTERÍSTICAS DE LA CÁMARA BASLER SPRINT SPL8192-39KC. 22

TABLA 3.6 NÚMERO DE TAPS Y BIT DE PROFUNDIDAD DE LA CÁMARA SPL8192-39KC. 25

TABLA 5.1 COMPARACIÓN ENTRE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN. 45

TABLA 5.2 COMPARACIÓN ENTRE LAS DIFERENTES TÉCNICAS DE ILUMINACIÓN. 47

TABLA 6.1 COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES TIPOS DE MOTORES. 56

TABLA 6.2 VELOCIDADES DE ESCANEADO PARA DIFERENTES ESCÁNERES COMERCIALES. 57

TABLA 6.3 MASA DE LOS COMPONENTES PARA CÁLCULO DE FUERZA. 58

TABLA 6.4 ESPECIFICACIONES DEL MOTOR BALDOR GM25280. 61

TABLA 6.5 CUADRO COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES ELEMENTOS MECÁNICOS PARA

MOVIMIENTO LINEAL.	67
TABLA 6.6 POTENCIA VS FACTOR DE SERVICIO.	69
TABLA 7.1 REGISTROS DEL PUERTO PARALELO.	75
TABLA 7.2 DIRECCIÓN DE MEMORIA DE LOS PUERTOS LPT.	75
TABLA 7.3 REGISTROS DEL PUERTO PARALELO (SPP Y EPP).	77
TABLA 7.4 REGISTROS DE ESTADO 0x379.	83
TABLA 7.5 ESTADOS POSIBLES ÚTILES PARA LA ASIGNACIÓN DE SEÑALES DE ENTRADA.	84
TABLA 7.6 CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR REDUCTOR BALDOR GM25280.	85
TABLA 7.7 CARACTERÍSTICAS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA ALTIVAR 12.	86
TABLA 7.8 CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONES DE LOS BORNEROS DE POTENCIA.	87
TABLA 7.9 DIAGRAMA DEL PANEL DE CONTROL DEL VARIADOR.	89
TABLA 7.10 CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONES DE LOS BORNEROS DE CONTROL.	90
TABLA 7.11 REGISTROS DE ESTADO 0x378.	92
TABLA 7.12 ESTADOS DE SEÑALES DE SALIDA.	93
TABLA 7.13 ASIGNACIÓN DE REGISTRO DE ESTADOS A BORNEROS DE CONTROL.	93
TABLA 7.14 CONTROL DE 2 HILOS.	94
TABLA 8.1 CARACTERÍSTICAS DE CONEXIÓN FRAME GRABBER HELIOS ECL/XCL.	97
TABLA 8.2 PARÁMETROS Y CONFIGURACIONES DEL ESCANEADO DE LÍNEA FIJA.	100
TABLA 8.3 PARÁMETROS Y CONFIGURACIONES DEL ESCANEADO DE LÍNEA VARIABLE.	101
TABLA 9.1 COSTOS PUMA ESCÁNER	107
TABLA 9.2 COMPARATIVA DEL COSTO DEL PUMA ESCÁNER CON UN ESCÁNER COMERCIAL.	108

FIGURAS

FIGURA 3.1 APLICACIONES DE UNA CÁMARA LINEAL,	16
FIGURA 3.2 FUNCIONAMIENTO DE LA REGIÓN FOTOACTIVA DE UN CCD.	18
FIGURA 3.3 ESQUEMÁTICO DE UN SENSOR CMOS,	19
FIGURA 3.6 CAVIDADES LUMINOSAS DONDE SE RECIBEN LOS FOTONES.	23
FIGURA 3.7 FILTROS BAYER, DISPOSICIÓN DE LOS FILTROS POR CADA COLOR EN UN SENSOR DE ÁREA.	23
FIGURA 3.8 CAPAS RGB Y SU COMBINACIÓN.	24
FIGURA 3.9 CAPAS RGB COMPLETAS (PARCIALMENTE CALCULADAS) Y SU COMBINACIÓN.	24
FIGURA 4.1 SECCIONES TRANSVERSALES, LENTES SIMPLES ESFÉRICAS CENTRADAS	29
FIGURA 4.2 DIAGRAMA DE UNALENTE ESFÉRICA.	30
FIGURA 4.3 UBICACIÓN DEL OBJETO Y SU IMAGEN PARA UNALENTE DELGADA.	30
FIGURA 4.4 DIAGRAMAS DE UNALENTE GRUESA.	32
FIGURA 4.5 PUNTOS NODALES.	33
FIGURA 4.6 GEOMETRÍA DE UNALENTE GRUESA	34
FIGURA 4.7 FORMATOS ESTANDARIZADOS PARA EL TAMAÑO DEL PAPEL.	35
FIGURA 4.8 DATOS DEL FABRICANTE DE LALENTE MACRO APO- COMPONON 4.5/90MM.	36

FIGURA 4.9 ADAPTADOR UNIFOC 100/95 / _ V-BASLER HELICAL MOUNT, DISTANCIAS EN MILÍMETROS.	
FIGURA 4.10 M58 x 0.75 V-BASLER LENS MOUNT, DISTANCIAS EN [MM].	38
FIGURA 4.11 ESQUEMA DE SCHNEIDER MACRO COMPONON-S 5.6/100MM.	40
FIGURA 5.1 DIAGRAMA DE ILUMINACIÓN A ÁNGULO.	45
FIGURA 5.2 DIAGRAMA ILUMINACIÓN ANILLO.	46
FIGURA 5.3 DIAGRAMA ILUMINACIÓN DE FONDO.	46
FIGURA 5.4 DIAGRAMA ILUMINACION COAXIAL.	46
FIGURA 5.5 DIAGRAMA DOMO DE ILUMINACIÓN.	47
FIGURA 5.6 CIRCUITO DISEÑADO PARA SATISFACER NECESIDADES DE ILUMINACIÓN DEL ESCÁNER.	48
FIGURA 5.7 FUENTE DE CORRIENTE REGULADA.	49
FIGURA 5.8 CONTROL DE CORRIENTE.	50
FIGURA 5.9 CIRCUITO DE SEGURIDAD.	50
FIGURA 5.10 CONEXIÓN EN SERIE DE LOS LEDS.	51
FIGURA 5.11 GRAFICA DE LA TEMPERATURA DEL COLOR EN GRADOS KELVIN (K).	52
FIGURA 5.12 ESQUEMA DEL LED ASMT – Jx32 DE AVAGO TECHNOLOGIES.	53
FIGURA 6.1 DIAGRAMA BÁSICO DE POLEA.	58
FIGURA 6.2 DIAGRAMA DE LAS FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE EL BLOQUE A MOVER.	59
FIGURA 6.3 MOTOR BALDOR GM25280.	61
FIGURA 6.4 ESPECIFICACIONES MECÁNICAS Y MEDIDAS EN IN DEL MOTOR BALDOR GM25280.	62
FIGURA 6.5 DIAGRAMA BÁSICO DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA.	63
FIGURA 6.6 CIRCUITO INVERSOR, CONMUTACIONES Y FORMAS DE ONDA DEL INVERSOR.	64
FIGURA 6.7 MODULACIÓN SINUSOIDAL.	65
FIGURA 6.8 FORMA DE ONDA DE LA CORRIENTE DEL MOTOR COMO RESULTADO DE LA MODULACIÓN SINUSOIDAL.	65
FIGURA 6.9 VARIADOR DE FRECUENCIA ALTIVAR ATV12Ho18F1.	66
FIGURA 6.10 PASO DE BANDA Y POLEA.	68
FIGURA 6.11 DIMENSIONES PRINCIPALES DEL CONJUNTO BANDA – POLEA.	68
FIGURA 6.12 GRÁFICA PARA ELECCIÓN DE PASO DE POLEA Y BANDA DENTADA.	69
FIGURA 6.13 ENCÓDER HENGSTLER RI58-D/1000ED.	72
FIGURA 7.1 DIAGRAMA GENERAL DE COMUNICACIÓN.	74
FIGURA 7.2 DIAGRAMA DE PINES DEL PUERTO PARALELO.	76
FIGURA 7.3 SEÑALES DE SALIDA DEL ENCÓDER HENGSTLER.	79
FIGURA 7.4 CIRCUITO DE ACOPLAMIENTO ENCÓDER / PUERTO.	80
FIGURA 7.5 DIAGRAMA INTERNO DE UN MICRO SWITCH.	81
FIGURA 7.6 DIAGRAMA DE COMUNICACIÓN ENTRE EL MICRO SWITCH Y EL PUERTO PARALELO.	82
FIGURA 7.7 DIAGRAMA DE COMUNICACIÓN ENTRE LOS SENSORES DE POSICIÓN Y EL PUERTO PARALELO	82
FIGURA 7.8 ETIQUETAS DE CABLEADO EN EL ALTIVAR 12.	87
FIGURA 7.9 DISPOSICIÓN FÍSICA DE LOS BORNEROS DE POTENCIA DEL ALTIVAR 12.	87

FIGURA 7.10 CONEXIÓN DEL VARIADOR CON LA RED DE ALIMENTACIÓN MONOFÁSICA.	88
FIGURA 7.11 DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL MOTOR.	88
FIGURA 7.12 CONEXIÓN TRIFÁSICA DEL VARIADOR CON EL MOTOR.	88
FIGURA 7.13 DISPOSICIÓN FÍSICA DE LOS BORNEROS DE CONTROL.	89
FIGURA 7.14 CIRCUITO DE ACOPLAMIENTO DE CONMUTACIÓN OPTO ACOPLADO.	90
FIGURA 7.15 CIRCUITO EQUIVALENTE, BORNERO.	91
FIGURA 7.16 SIMPLIFICACIÓN DE CIRCUITO EQUIVALENTE, BORNERO.	91
FIGURA 8.1 FRAME GRABBER HELIOS ECL/XCL.	96
FIGURA 8.2 DIAGRAMA FUNCIONAMIENTO A BLOQUES DE FRAME GRABBER HELIOS ECL/XCL.	96
FIGURA 8.3 VISTA DEL SOFTWARE BASLER CAMERA LINK CONFIGURATION TOOL PLUS (CCT+).	98
FIGURA 8.4 DIAGRAMA DE TIEMPO DE FRAME GRABBER HELIOS ECL/XCL.	100
FIGURA 8.5 DIAGRAMA DE TIEMPO (LA DECIMACIÓN ES DE 8).	101
FIGURA 8.6 SOFTWARE INTELICAM.	103
FIGURA 8.7 DIAGRAMA DE COMUNICACIÓN.	104
FIGURA 8.8 DISTRIBUCIÓN DE PINES DEL CONECTOR CAMERA LINK ESTANDAR.	105

CAPÍTULO 01

INTRODUCCIÓN

Sin duda la parte artística de los documentos históricos tales como: mapas, litografías, fotografías, libros, atlas, etc., es muy relevante, sin embargo, este tipo de documentos son de gran importancia ya que dan cuenta del avance y evolución de la sociedad, ya que representan las memorias más valiosas con las que se pueda contar. Nos proporcionan datos de características físico-geográficas del relieve, datos socio-culturales de una región y son testimonios históricos que los validan como material científico.

Todos estos documentos presentan un deterioro a través del tiempo, ya sea por el paso del mismo, el uso continuo, el almacenaje o las condiciones climatológicas de su ubicación y estos acervos al ser objetos invaluable e irremplazables se han convertido en objetos que podrían sufrir una desintegración total, provocando que las instituciones que lo resguardan tomen medidas de preservación haciendo que estos documentos se formen inaccesibles para todo público.

El objetivo principal del Puma-Escáner es la preservación de estos documentos por medio de la digitalización con la finalidad de facilitar el acceso al público y reduciendo su vulnerabilidad al maltrato por el uso.

El mercado actual ofrece diversas posibilidades de dispositivos que ofrecen la posibilidad de la digitalización de documentos de diversas maneras pero presentan también varias desventajas como: maltrato del documento, costo y tamaño. Este proyecto es una alternativa eficiente y accesible.

La eficiencia en la protección del documento radica en el escaneo aéreo, lo que minimiza el desgaste y en cuanto a la accesibilidad, ya que este dispositivo fue pensado en partes y las piezas adquiridas por separado, brinda la oportunidad de elegir la mejor opción en cuanto a costo y funcionalidad.

En esta tesis se planteará el diseño del escáner por sus partes fundamentales:

- Óptica
- Adquisición
- Iluminación
- Estructura Mecánica
- Procesamiento digital de imágenes

1.1 OBJETIVOS

- Diseñar un escáner de gran formato que permita conservar, mediante la digitalización, documentos de gran valor histórico.
- Implementar un método de escaneo que minimice el maltrato de los documentos a digitalizar.
- Facilitar la accesibilidad y difusión de dichos documentos a través del formato digital.
- Diseñar un escáner competitivo ante los modelos comercial.

CAPÍTULO 02

CONCEPTOS BÁSICOS DEL ESCANEO

El principio de funcionamiento de un escáner es la digitalización, es decir, convertir un documento o imagen en un formato tratable por un sistema informático. Para ello se necesita de una serie de componentes que posibiliten este objetivo, básicamente se necesita una fuente de luz, la imagen o documento en cuestión, un transductor de reconocimiento óptico y un mecanismo de avance.

La fuente de luz ilumina la imagen a escanear, lo cual emite un haz de luz hacia el transductor de reconocimiento óptico el cual lo convierte en señales eléctricas y éstas a su vez se transforman en un formato digital mediante un convertidor analógico digital (ADC). El resultado obtenido son normalmente archivos digitales a las cuales se les aplica un algoritmo para generar la imagen y se envían a la computadora mediante una interfaz.

2.1 PARÁMETROS DE UN ESCÁNER

2.1.1 Resolución óptica

Número de sensores (píxeles reales) situados en la cabeza de lectura horizontal del escáner por cada pulgada (2,54 cm). Esta resolución óptica implica los límites físicos de calidad del escáner.

2.1.2 Resolución interpolada

Consiste en superar los límites que impone la resolución óptica, mediante una estimación matemática (interpolación), la cual permite calcular los valores intermedios de la imagen. Mientras que las resoluciones ópticas están acotadas normalmente en un margen de 300 a 2,400 ppp, existen en el mercado escáneres que permiten alcanzar resoluciones interpoladas de hasta 24,000 ppp.

2.1.3 Resolución de escaneado

Es aquella que seleccionamos en el momento de la digitalización para capturar una imagen concreta. Esta resolución tiene que ser la adecuada al medio de reproducción a la que esté destinada, por ejemplo, una fotografía a color que se va a publicar en la web, será suficiente con una resolución de 72 ppp, pero si debe imprimirse, se necesitará una resolución de al menos 150 ppp.

2.1.4 Velocidad de exploración

Tiempo requerido para digitalizar la imagen. Depende directamente del tipo de exploración (binaria, grises, color) y de la resolución. Podemos encontrar escáneres con una velocidad de exploración entre 0.4 y 120 segundos/página (s/pág.). En el Sistema de Gestión Electrónica Digital son normales velocidades de 1 a 5 s/pag.

2.1.5 Formatos de archivo

Los formatos más comunes, proporcionados directamente por un escáner son: Bitmap, GIF, JPEG y TIFF. Su selección dependerá del tipo de documento y destino de visualización/impresión del mismo.

2.2 ESTRUCTURA BÁSICA DE UN ESCÁNER

Un escáner se compone de cuatro elementos básicos: el primero es un transductor de reconocimiento óptico, el segundo es un mecanismo de avance para barrer el documento a escanear, el tercero es la iluminación y el cuarto, una interfaz transductor-ordenador.

2.2.1 Transductor de reconocimiento óptico

El transductor realiza el reconocimiento de un determinado número de puntos por pulgada, asignándole, a cada uno, un valor en función del número de bits del proceso: 1 bit sería un color (negro o blanco), 2 bits serían 4 colores, 8 bits serían 256 colores y así sucesivamente hasta llegar a los 32 bits (color verdadero). A mayor número de bits será mayor la capacidad para representar el color con más precisión pero con la desventaja de

tener un documento o imagen resultante de mayor tamaño. Por lo general, este transductor es una cámara digital con un sensor de tecnología CMOS o CCD.

2.2.2 Interfaz (Frame Grabber)

Su función es enviar, en un formato digital, los cuadros individuales de una señal de vídeo analógica, proveniente del transductor óptico a la memoria del ordenador con el fin de procesarlos, analizarlos y/o visualizarlos. Los Frame Grabber se utilizan para capturar imágenes a una gran velocidad.

2.2.3 Sistema de Iluminación

Es uno de los elementos más importantes en la estructura del escáner, pues de él depende que el transductor de reconocimiento óptico reaccione de manera óptima para obtener el mejor resultado en la imagen o documento que se desea digitalizar.

2.2.4 Mecanismo de avance

Es un sistema mecánico que proporciona el movimiento lineal al transductor de reconocimiento óptico, para que barra completamente el documento o imagen a digitalizar, la velocidad de este sistema estará en función de la resolución que se desea obtener.

2.3 TIPOS DE ESCÁNER

2.3.1 El escáner plano

Dispone de una ranura iluminada con motor, la cual escanea el documento línea por línea bajo un panel de vidrio transparente sobre el cual se coloca el documento, con la cara que se escaneará hacia abajo. La luz de alta intensidad emitida se refleja en el documento y converge hacia una serie de capturadores, mediante un sistema de lentes y espejos. Los capturadores convierten las intensidades de luz recibidas en señales eléctricas, las cuales a su vez son convertidas en información digital, gracias a un conversor analógico-digital.

2.3.2 Escáner óptico

Dispositivo de entrada para ordenador o computadora que utiliza un haz luminoso para detectar los patrones de luz y oscuridad (o los colores) de la superficie del papel, convirtiendo la imagen en señales digitales que se pueden manipular por medio de un software de tratamiento de imágenes o con reconocimiento óptico de caracteres. Un tipo de escáner utilizado con frecuencia es el flatbed, que significa que el dispositivo de barrido se desplaza a lo largo de un documento fijo. En este tipo de escáneres, como las

fotocopiadoras de oficina, los objetos se colocan boca abajo sobre una superficie lisa de cristal y son barridos por un mecanismo que pasa por debajo de ellos.

2.3.3 El escáner de mano

El usuario es quien mueve el escáner sobre la imagen o documento a digitalizar. La ventaja económica y de ahorro de espacio tiene su contrapartida en la poca fiabilidad del proceso, ya que depende de la habilidad y el pulso del usuario, y mover el escáner de forma demasiado lenta o rápida puede afectar al resultado final. Asimismo, puede ser complicado digitalizar una página de un libro, con un escáner de mano.

2.3.4 El escáner de sobremesa

Representa una alternativa más profesional y de calidad, aunque también más cara, y realmente son los que más se están extendiendo. A modo de pequeñas fotocopiadoras, el documento o imagen se coloca sobre un cristal bajo el cual la lente luminosa se desplaza, digitalizando el documento. La mayor complejidad del dispositivo, así como el sistema de escaneado, le permiten obtener una gran calidad y fiabilidad, aunque como inconvenientes podemos citar su mayor tamaño y precio.

2.3.5 El escáner de rodillo

Es una interesante alternativa, a medio camino entre los dos anteriores; como su nombre indica, el escáner utiliza como mecanismo de tracción un rodillo que recoge automáticamente el documento y lo digitaliza. La calidad obtenida no es tanta como en los modelos de sobremesa, pero es una excelente opción para usuarios con determinadas necesidades.

2.3.4 Escáner aéreo

El original se digitaliza desde una posición superior, situada a cierta distancia del documento. En algunos escáneres aéreos la cabeza de lectura y la fuente de luz viajan a través de la longitud del documento. En otros ésta es fija y puede utilizarse una fuente de luz externa. Su tamaño normal es Din A4. Este escáner permite la digitalización de todo tipo de originales (libros, revistas, incunables, etc.) e incluso objetos 3D (tridimensionales). Su desventaja es la manipulación manual de los originales, es muy lento.

2.4 DIGITALIZACIÓN

Es el proceso de transformar algo analógico en algo digital (un conjunto finito de unidades binarias). Es decir, se trata de tomar una imagen y convertirla en un formato que permita su manipulación a través de una computadora. Una parte importante de los escáneres, son los transductores de reconocimiento óptico, los más comunes son:

- CCD: Dispositivo Acoplado de Carga - eléctrica - (Charge Coupled Device), utilizado en la mayoría de escáneres de documentación.
- PMT: Tubo Fotomultiplicador (Photo-Multiplier Tube), utilizado en escáneres de tambor.
- CMOS: Chip de estado sólido (Complementary Metal Oxide Semiconductor), utilizado en escáneres planos de muy bajo costo.

De estos tres transductores de reconocimiento óptico CCD es el más utilizado en los escáneres de documentos y cámaras digitales. Un CCD es un elemento electrónico que reacciona ante la luz, transmitiendo más o menos electricidad, según sea la intensidad y el color de la luz que recibe.

CAPÍTULO 03

CÁMARA (TRANSDUCTOR)

En este capítulo se comenzará con la explicación de conceptos y puntos clave para la correcta elección de la cámara, ya que este elemento es esencial para el diseño del escáner, ya que de este dependen muchos parámetros del diseño mecánico y computacional.

3.1 CÁMARA DIGITAL

Existen dos tipos de cámara principalmente, de área y lineales. Como su nombre lo indican las cámaras de área están dotadas de un sensor de captura de imagen capaz de capturar múltiples líneas, lo que entrega un área, mientras que la cámara lineal contiene un sensor que sólo captura una sola línea.

3.2 CÁMARA DE ÁREA

Las cámaras de área poseen un sensor de $m \times n$ píxeles por lo que cubren una superficie dando como resultado una matriz de celdas fotosensibles, lo que permite capturar un área en un solo paso.

Tabla 3.1 Ventajas y desventajas de las cámaras de área.

Ventajas	Desventajas
El movimiento del objeto puede no ser necesario.	Menor resolución.
Puede hacer capturas en una sola toma.	Efecto de ojo de pez en documentos grandes. (Esto depende de la óptica utilizada)
El ancho y longitud se ven limitadas sin movimiento del objetivo o de la cámara.	La iluminación debe ser homogénea sobre toda el área.

3.3 CÁMARA LINEAL

Las cámaras lineales poseen una o más líneas de celdas fotosensibles. Cuando poseen varias líneas se debe a que tienen características específicas para el color, pero al momento de hacer el procesamiento lo integran en una sola línea. Estas cámaras tienen una gran resolución, y es esta característica la que las hace presentes en casi todos los modelos de escáneres de cama plana. Una de las aplicaciones más concurridas de estos equipos es para objetos en movimiento.

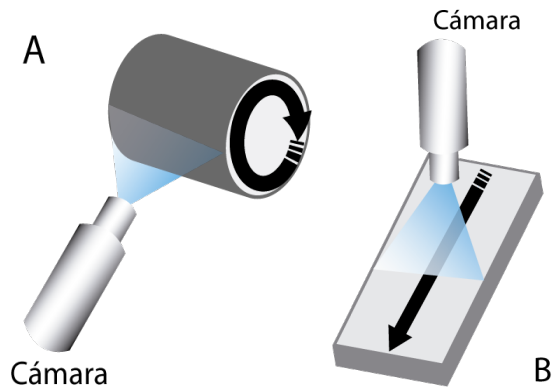


Figura 3.1 Aplicaciones de una cámara lineal, A) objetos en movimiento B) objetos grandes.

La longitud del sensor y la frecuencia del reloj de píxel son las características que marcan a una cámara lineal. El tamaño físico está dado por la cantidad de píxeles o celdas fotosensibles que contiene, y es justamente este parámetro el que determina el tipo de lente, tamaño y forma, que debe usarse para la cámara. La lente puede afectar de manera severa el desempeño de nuestro sensor ya que puede afectar la lectura de los valores que recibe. La frecuencia de reloj de píxel es la cantidad de veces que son leídas las celdas

fotosensibles. Las cámaras lineales tienen una frecuencia mucho mayor a las cámaras de área, siendo así que algunas de estos dispositivos llegan a superar los 100MHz.

Tabla 3.2 Ventajas y desventajas de las cámaras lineales.

Ventajas	Desventajas
Alta resolución	Se requiere de mucha precisión en la óptica.
Útil con objetos largos	Es necesario el desplazamiento del objeto o cámara
Frecuencia de píxel alta	Son necesarias varias capturas para formar una imagen
Longitud de captura ilimitada	Requiere de procesamiento para tratar los datos
Iluminación en una sola línea del documento	Requiere sincronía entre el movimiento y la captura

3.4 SENSORES DIGITALES

En la cámara analógica el negativo fotográfico es nuestro sensor, es el material sensible sobre el cual incide la luz para producir la imagen, mientras que en nuestra cámara digital son las celdas fotosensibles. El sensor digital es un transductor de luz a voltaje. Esto se realiza mediante un circuito electrónico mientras que en el negativo lo hace mediante una reacción química.

El sensor está compuesto por miles de elementos fotosensibles que responden a la luz. Estas celdas, por lo general, poseen un filtro que los hace responder a una gama limitada de longitudes de onda, esto es para poder capturar los colores primarios para formar el color digitalmente. Para lograrlo se usa un algoritmo llamado “demosaicing” e interpolación para unir cada una de las capas de color formando así un elemento en RGB.

En la actualidad existen dos tipos de sensores muy utilizados:

- Dispositivo de carga acoplada (CCD por sus siglas en inglés)
- Semiconductor complementario de óxido-metal (CMOS por sus siglas en inglés)

Ambas tecnologías son usadas para detectar fotones, los dos tipos de sensores se conforman de arreglos de elementos fotosensibles transduciendo la energía de los fotones recibidos a señales eléctricas, CCD y CMOS usan el efecto fotoeléctrico en el silicio, para realizar esta operación.

Cabe destacar que todos los sensores son monocromáticos ya que sólo detectan la intensidad de la luz. Los colores se obtienen mediante el uso de los filtros para las longitudes de onda, lo que da a cada píxel un solo color que lo excitará, y mediante programación se hace la mezcla de los diferentes cuadros RGB y se crea el color en la imagen.

3.4.1 CCD

El dispositivo CCD (charged coupled device por sus siglas en inglés), es un sistema de conversión de intensidad luminosa en carga eléctrica. Su funcionamiento es el siguiente: Cuando una imagen es proyectada a través del lente hacia el arreglo de capacitores (Región fotoactiva), causando que cada capacitor acumule una carga eléctrica proporcional a la intensidad luminosa en esa región de la imagen. El arreglo unidimensional, en el caso de una cámara lineal, una vez expuesto un circuito de control provoca que cada capacitor transmita su carga al condensador vecino, el último capacitor del arreglo deposita su carga en un amplificador, que convierte la carga en voltaje, repitiendo n veces este proceso se puede obtener la carga de cada uno de los píxeles de nuestro sensor. Estos voltajes con ayuda de un convertidor analógico digital, nos permite leer los valores desde un ordenador.

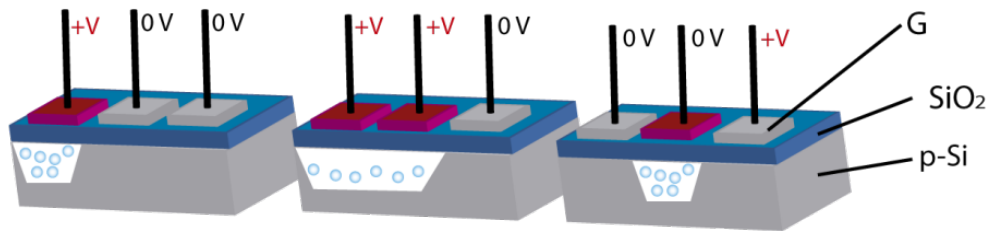


Figura 3.2 Funcionamiento de la región fotoactiva de un CCD.

3.4.2 CMOS

El dispositivo CMOS (Complementary metal oxide semiconductor por sus siglas en inglés) su funcionamiento es el siguiente: Trabaja igual que un dispositivo CCD, la diferencia notable es que la tecnología CMOS nos permite incorporar un amplificador de la señal eléctrica en cada fotosito y también incluir el convertidor análogo digital en el propio chip del sensor.

3.4.3 CCD vs CMOS

La tecnología CMOS se ha perfeccionado en los últimos años obteniendo una mejor calidad de imagen con un costo mucho menor que el del CCD, además que el sensor CMOS incorpora funciones como la conversión de datos analógicos a digitales en el mismo dispositivo y el CCD no posee esta cualidad.

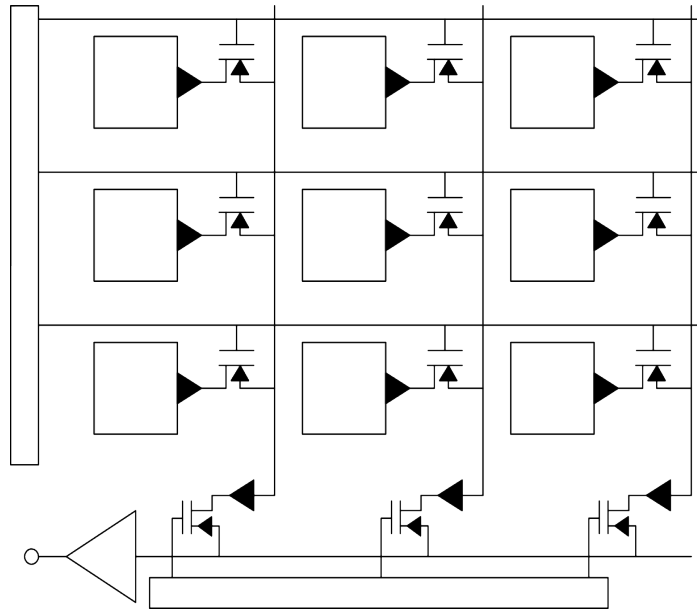


Figura 3.3 Esquemático de un sensor CMOS, la amplificación y conversión A/D se hace en cada píxel.

En calidad de imagen el CCD tiene una menor distorsión, esto se debe a que el CCD necesita un convertidor analógico digital externo, como estos dos elementos están separados permite eliminar distorsiones en las imágenes derivadas de las interferencias electromagnética de los diferentes circuitos.

3.5 RESPONSABILIDAD

Es la característica que señala el nivel de señal que es capaz de ofrecer el sensor por cada unidad de intensidad de luz incidente en energía eléctrica, los sensores CMOS tienen un sistema que integra elementos de ganancia por celda, por lo que se tienen amplificaciones de alta ganancia, mientras que un CCD la amplificación externa supone menor nivel de señal.

3.6 RANGO DINÁMICO

Es la variable que marca el nivel más bajo que permita captar una señal hasta el nivel más alto que sature a nuestro elemento fotosensible. En la actualidad el CCD tiene un rango del doble que el CMOS, por esto se debe agregar un amplificador a cada píxel.

3.7 UNIFORMIDAD

Es la consistencia de respuesta de cada píxel bajo las mismas condiciones de prueba e iluminación. Por esto el CMOS al ser individual cada sensor tiende a tener fallas ya que cada uno responde de manera independiente, esto es posible arreglarlo mediante realimentación, el CCD no responde de la misma forma por lo que siguen tendiendo una ventaja.

3.8 OBTURACIÓN

Característica que indica la capacidad para iniciar y detener la exposición de manera arbitraria. El CCD posee mayor velocidad.

3.9 ANTIBLOOMING

Es la capacidad del dispositivo que impide que los electrones de un píxel saturado se derrame sobre un píxel vecino. La tecnología CMOS es inmune naturalmente, pero un dispositivo CCD necesita de un diseño de ingeniería externa que evite el "bloom". La siguiente tabla nos da una comparación entre ambas tecnologías.

Tabla 3.3 Comparación de características y desempeño entre CCD y CMOS.

	CCD	CMOS
Respuesta	Moderado	Ligeramente mayor
Rango Dinámico	Elevado	Moderado
Uniformidad	Elevado	Bajo a moderado
Obturación	Rápido	Limitado
Velocidad	Moderado a elevado	Mayor
Ventaneo	Limitado	Extenso
Antiblooming	Elevado a nada	Elevado
Señal de salida del píxel	Paquete de electrones	Voltaje
Señal de salida del chip	Voltaje (Análogo)	Bits (Digital)
Señal de salida de la cámara	Bits (Digital)	Bits (Digital)
Factor de relleno	Elevado	Moderado
Desacople de amplificación	N/A	Moderado
Sistema de Ruido	Bajo	Moderado
Complejidad del sistema	Elevado	Bajo
Complejidad del sensor	Bajo	Elevado
Componentes de la cámara	Sensor, Chips de soporte y lentes	Sensor, posible lente
Costo de investigación y desarrollo	Generalmente bajo	Generalmente alto
Costo del sistema	Depende de la aplicación	Depende de la aplicación

3.10 ELECCIÓN DE LA CÁMARA

Una de las características más importantes para la elección de una cámara es la resolución que puede alcanzar, mientras que una cámara de área puede alcanzar 30 Megapíxeles con 6576 líneas de 4576 píxeles, una cámara lineal puede tener hasta 8 kilopíxeles en una sola línea, esta cámara requiere de movimiento ya sea del objeto o de la cámara pero llegando a tener una resolución mucho mayor que una cámara de área. Las cámaras lineales permiten una mayor flexibilidad en las aplicaciones, ya que al sólo estar limitadas en un solo eje, nos permite escanear objetos muy grandes y alargados, a diferencia de una cámara de área que está limitada en sus dos ejes.

El tipo de sensor de la cámara será resuelto por su disponibilidad en el mercado. Existen varias cámaras lineales en el mercado, la siguiente tabla nos dará algunos ejemplos:

Tabla 3.4 Comparativa de cámaras lineales.

Basler L300 CCD series	L304k	L304Kc	L301k	L301kc
Resolución	3 líneas x 4080 píxeles	3 líneas x 4080 píxeles	3 líneas x 2098 píxeles	3 líneas x 2098 píxeles
Basler Sprint CMOS	spL4096-39km	spL4096-39kc	spL4096-70kc	spL4096-140kc
Resolución	4080 píxeles Dual Line	4080 píxeles Dual Line	4080 píxeles Dual Line	4080 píxeles Dual Line
DALSA	Piranha Color 4K			
Resolución	3 líneas x 4096 píxeles			

Al tener como objetivo una mejor resolución que una cámara de área con un área de interés (AOI) de 900 mm (33.11 in) podemos calcular la primera aproximación:

$$\text{resolución} = \frac{\# \text{ píxeles}}{\text{Área de interés [in]}} = \frac{4000}{33.11} \approx 120 \text{ ppi}$$

Mientras que para una cámara de área de 30 Megapíxeles:

$$\text{resolución} = \frac{\# \text{ píxeles}}{\text{Área de interés [in]}} = \frac{6576}{33.11} \approx 198 \text{ ppi}$$

Un modelo de Basler posee una línea de 8 kilopíxeles con tecnología CMOS, haciendo una primera aproximación:

$$resolución = \frac{\# \text{ píxeles}}{\text{Área de interés [in]}} = \frac{8192}{33.11} \approx 247 \text{ ppi}$$

Por lo que esta cámara nos otorga la resolución deseada, además de que al poseer una doble línea de captura con filtros Bayer nos permite obtener una mejor calidad de imagen.

3.10.1 Basler Sprint spL8192-39kc

Es una cámara lineal con sensor dual CMOS de 8192 píxeles y la implementación de un filtro Bayer para la creación de color.

Tabla 3.5 Características de la cámara Basler Sprint spL8192-39kc.

Camera Basler Sprint spL8192-39kc	
Tamaño del sensor (píxeles por línea)	8192
Tipo de sensor	CMOS de doble línea
Captura	Color
Tamaño de pixel	10.0 μm x 10.0 μm
Camera Link Pixel Clock	40/80 MHz
Máxima velocidad de información	640 MHz
Máxima velocidad de línea	38.6 kHz
Profundidad de pixel	Seleccionable a 8 bit, 10 bit, or 12 bit
Formato de salida de video	2/3/4/6/8
Sincronización	Vía señal externa o corrida libre
Requerimientos eléctricos	12 VDC (±10%), max 13.5 W @ 12 VDC
Interfase del adaptador para la montura del lente	V-92 mount for specific lens mount adapter
Adaptador para la montura del lente	Unifoc 100/95/V-Basler helical mount, M58 x 0.75/V-Basler
Peso	580 g

3. 11 CREACIÓN DE COLOR

3.11.1 Profundidad de muestreo

Para producir una imagen a color son necesarios de 0 a 255 valores, lo que se pueden representar con 8 bits, esto para cada componente de RGB, se pueden lograr profundidades de color de 10,12,14,16 bits, pero esto no mejorará la calidad de la imagen de manera radical, con lo cual podemos obtener un procesamiento de la imagen a fondo sin producir pérdidas.

3.11.2 Filtros Bayer

Al iniciar la exposición cada fotosito de los píxeles recolectan fotones en su cavidad, estos fotones son medidos y la cantidad de fotones se representa con un nivel de intensidad, cuya precisión es determinada por los bits de profundidad. Los fotositos son incapaces de distinguir los colores de las partículas que han recibido, por lo que un sensor sin filtros de color sólo puede producir imágenes en escala de grises. Para poder adquirir colores se implementa un filtro que permita que sólo un color penetre en la cavidad del fotosito, de esta manera haciendo una superposición de las 3 capas RGB podemos hacer una aproximación del color.

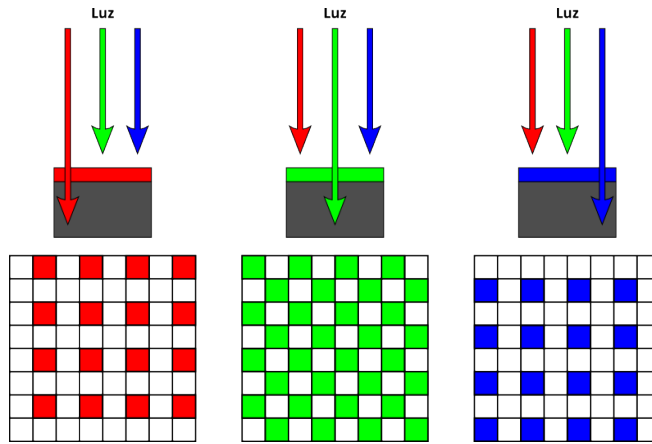


Figura 3.6 Cavidades luminosas donde se reciben los fotones.

Un arreglo Bayer consiste en alternar filas de filtros rojo-verde y verde-azul. Se repite el verde en ambas filas ya que al ser una frecuencia central dentro del espectro de colores que vemos, y lo que tratamos de hacer con este sistema es emular lo más posible la vista humana, y el rojo y el azul al estar al extremo de las bandas son los que percibimos en menor cantidad. El filtro Bayer por si solo crea una imagen en forma de mosaico.

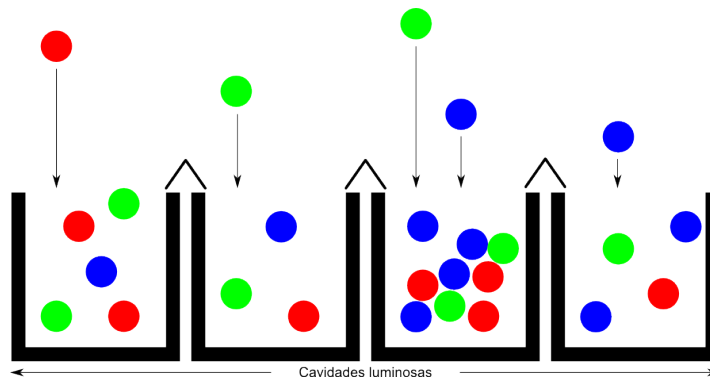


Figura 3.7 Filtros Bayer, disposición de los filtros por cada color en un sensor de área.

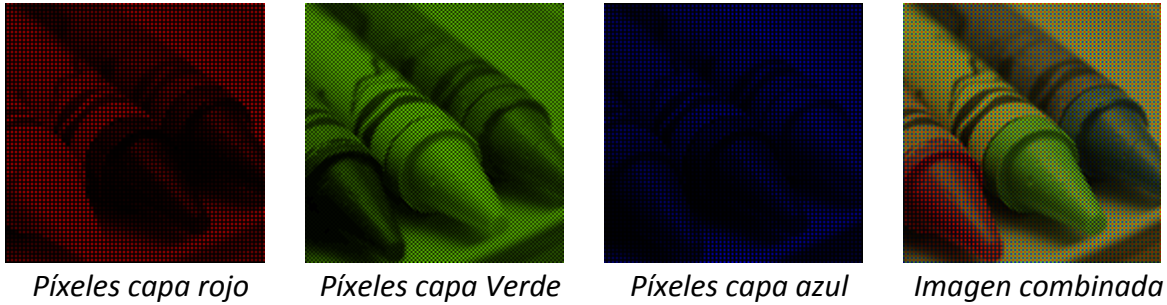


Figura 3.8 Capas RGB y su combinación.

Al combinar las 3 capas vemos que no es de muy buena calidad, aunque ya es suficiente para distinguir los colores de cada objeto es necesario eliminar el patrón de mosaico que presenta.

Los píxeles faltantes de cada capa de color son calculados o estimados con respecto a los píxeles adyacentes mediante la técnica de “demosaijing” en la cámara. Al mezclar estas tres capas completas, se produce una imagen con mayor calidad.

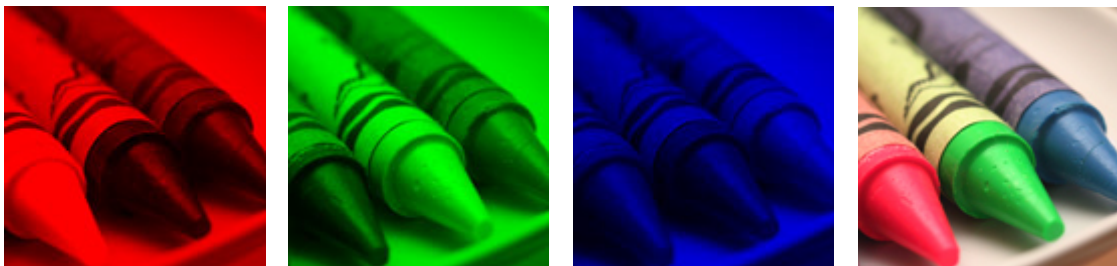


Figura 3.9 Capas RGB completas (parcialmente calculadas) y su combinación.

3.12 MODOS DE ADQUISICIÓN DE LÍNEA

Para esta cámara se cuentan con varias formas para la captura de línea y son los siguientes:

- RGB
- RAW crudo
- RAW mejorado

La arquitectura del sensor nos da las bases para entender cada tipo de captura, el filtro Bayer en específico.

3.12.1 Modo de adquisición RGB

Por la forma de operación de este método de adquisición aunque nuestro sensor sea de 8192 píxeles sólo podremos tener imágenes de 4096 píxeles ya que forma píxeles virtuales, por lo que los dos primeros píxeles de cada línea de nuestro sensor, los convierte en un solo píxel virtual para poder obtener la información necesaria de cada uno de los colores, y así generar las tres capas del sistema RGB.

Se organizan los valores de los píxeles de la siguiente manera:

El primer valor de “rojo” del píxel virtual 1 (R1), el primer valor del “verde”, que es el promedio de los dos primeros valores de verde en nuestro píxel virtual (GAV1), primer valor del píxel “azul” (B1), y así sucesivamente con los siguientes píxeles. Transmisión de los valores del píxel para el modo de adquisición RGB.

Para el modo de adquisición RGB se pueden seleccionar varios modos de salida de video con 2, 3, 4, 6, 8 taps y con profundidades de 8, 10 y 12 bits.

Tabla 3.6 Número de taps y bit de profundidad de la cámara spL8192-39kc.

spL8192-39kc	2 tap - 8 bit / 2 tap - 10 bit / 2 tap - 12 bit 3 tap - 8 bit / 3 tap - 10 bit 4 tap - 8 bit / 4 tap - 10 bit / 4 tap - 12 bit 6 tap - 8 bit 8 tap - 8 bit	40 MHz or 80 MHz
--------------	--	------------------

3.12.2 Modo de adquisición RAW crudo

En este modo ambas líneas del sensor son expuestas al mismo tiempo, con cada ciclo de reloj ExSync se envía una de las líneas por lo que son necesarios dos ciclos EnSync para enviar ambas líneas.

Los pasos que sigue este proceso son los siguientes:

- Primer ciclo ExSync

Dispara la adquisición de imagen de ambas líneas, el tiempo de exposición es igual para ambas líneas.

Inicia la lectura de valores de cada píxel en ambas líneas.

Inicia la transmisión de la información de los píxeles de la línea A. Los valores de la línea B se almacenan en el buffer de la cámara.

- Segundo ciclo ExSync

Inicia la transmisión de los valores de la línea B. En este ciclo no ocurre ninguna exposición.

- Tercer ciclo ExSync

Ocurre lo mismo que en el primer ciclo.

- Cuarto ciclo ExSync

Ocurre lo mismo que en el segundo ciclo.

Y así sucesivamente.

3.12.3 Modo de adquisición RAW mejorado

Este modo de adquisición entrega un valor de píxel verde para todos los puntos del objeto escaneado y uno intercalado rojo y azul. Esto nos indica que cada punto del objeto es escaneado dos veces, una vez por la línea de píxeles A y luego otra vez por la línea de píxeles B. Cada línea del sensor está expuesta el mismo tiempo, con cada ciclo de reloj ExSync sólo se transmite la información de una línea y por lo tanto son necesarios dos ciclos para transmitir la información de cada exposición.

- Primer ciclo de señal ExSync

Dispara la adquisición de la imagen en ambas líneas. El tiempo de exposición de ambas líneas es el mismo.

- Inicia la lectura de la información de ambas líneas.

Inicia transmisión de la información de la línea A. Esta información es inútil ya que no contará con la información asociada de la línea B. Los valores de la línea B serán retenidos en buffer de la cámara. Su salida será hasta el cuarto ciclo de la señal ExSync.

- Segundo ciclo ExSync

Transmisión de la información de la línea B. Esta información es inútil por estar antes de que iniciara el modo.

- Tercer ciclo ExSync

Dispara la adquisición en ambas líneas.

3.13 COMPARATIVA DE LOS MODOS DE ADQUISICIÓN DE LÍNEA

3.13.1 RGB

- Si bien el modo RGB ya provee pixeles virtuales con valores RGB, provoca que la máxima resolución alcanzable para el sensor de 8k sea de 4096 pixeles.
- Las líneas del sensor se exponen al mismo tiempo y se debe mover la cámara 20 μ m entre cada exposición.
- El sensor puede digitalizar en cualquier sentido, ya sea que el objeto cruce primero la línea.

3.13.2 RAW crudo

- Provee valores RAW de las componentes verde, roja y azul.
- Las líneas del sensor se exponen al mismo tiempo, Para una digitalización completa y sin traslapes se debe mover la cámara 20 μ m entre cada exposición
- Se necesitan dos ciclos ExSync para transmitir en cada exposición, la información de un pixel.

3.13.3 RAW mejorado

- Este modo cada punto es capturado por las líneas , arrojando valores rojo-verde o azul-verde.
- Se necesitan dos ciclos ExSync para transmitir en cada exposición, la información de un pixel.
- Las líneas del sensor se exponen al mismo tiempo y se debe de mover la cámara 10 μ m entre cada exposición.

CAPÍTULO 04

ÓPTICA

En este apartado nos enfocaremos en definir las características necesarias para poder elegir y entender un sistema óptico, dichas características son:

- Rango de áreas de interés (AOI)
- La magnificación (β)
- La distancia focal (f)
- La distancia de trabajo (WD)
- La distancia a la imagen (ID)

Así como el modelo de la lente e interfaz que cumplan con estas características y poder entender y aplicar los parámetros mencionados, además de entender algunos conceptos básicos de óptica.

4.1 SISTEMA ÓPTICO

La función de un sistema óptico es la de coleccionar y cambiar la forma de una porción del frente de onda de luz incidente con el objetivo de formar la imagen de un objeto.

4.2 LENTES SIMPLES

Una lente es un sistema óptico formado por dos o más interfaces refractoras donde al menos una de éstas está curvada. Generalmente las superficies no planas están centradas en un eje común. Estas superficies son regularmente esféricas y frecuentemente están recubiertas con películas dieléctricas delgadas para controlar sus propiedades de transmisión. Cuando una lente esta formada por un elemento, es decir, cuando tiene solo dos superficies refractoras, es una lente simple. La presencia de más de un elemento la hace una lente compuesta. Una lente se puede clasificar también en delgada o gruesa.

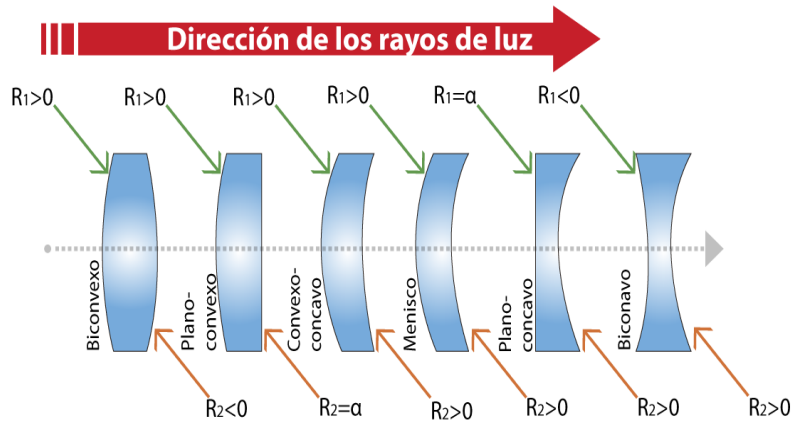


Figura 4.1 Secciones transversales, lentes simples esféricas centradas con sus respectivos radios R .

Las lentes que se conocen como convexas, convergentes o positivas son más gruesas en el centro y así tienden a disminuir el radio de curvatura de los frentes de onda, es decir, la onda se hace más convergente conforme atraviesa la lente. Esto es, suponiendo que el índice de la lente es mayor que el del medio en el que está sumergida. Por otro lado las lentes cóncavas, divergentes o negativas, son más delgadas en el centro y tienden a avanzar en porción del frente de onda haciéndola más divergente de lo que era al entrar.

4.3 ECUACIONES DE LENTES DELGADAS

Del análisis que se desprende de la refracción sobre una lente esférica delgada (considerando $d \rightarrow 0$ que es la distancia entre los planos principales, lo cual se verá más adelante) para una fuente puntual única como se muestra en la FIGURA 4.2, se puede obtener:

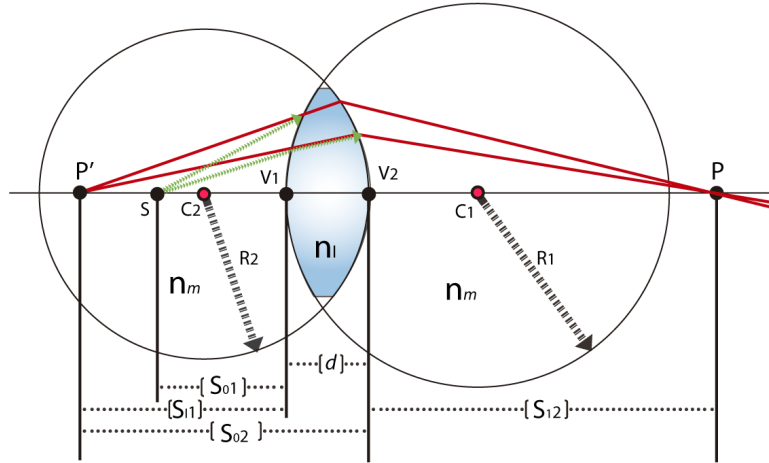


Figura 4.2 Diagrama de una lente esférica.

La fórmula del fabricante de lentes, donde n representa los índices de refracción del medio.

$$\frac{1}{f} = (n_l - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (1)$$

y la fórmula gaussiana según Hecht Optics para la lente.

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_1} = \frac{1}{f} \quad (2)$$

Para el procedimiento completo consultar Hecht Optics Capítulo 5

Ahora supongamos que existen una gran cantidad de puntos combinándose para formar un objeto finito y no sólo una fuente puntual única como se muestra en la FIGURA 4.3.

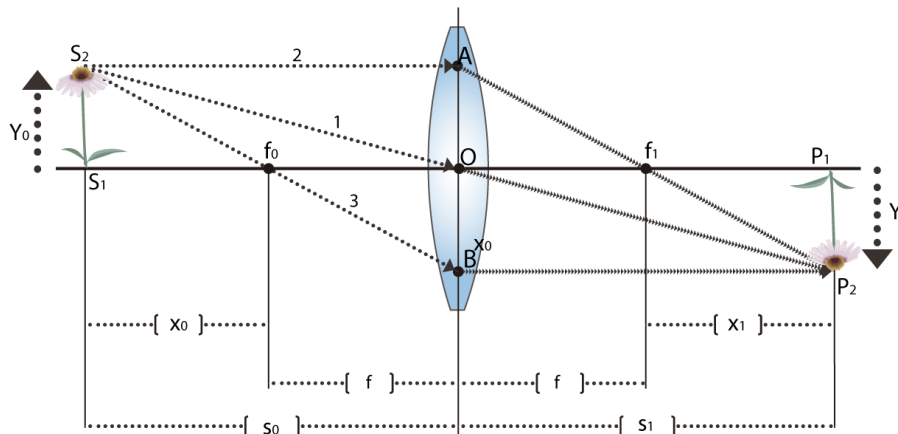


Figura 4.3 Ubicación del objeto y su imagen para una lente delgada.

Tomando un par de lentes con una sección plana entre ellas, suponiendo que extendiéramos cada rayo de luz que entra a la lente hacia adelante y cada rayo que sale hacia atrás, cada par de rayos se encontrarían en este plano. Adoptaremos la convención en la que las distancias por arriba del eje óptico serán tomadas como cantidades positivas, y aquellas por debajo estarán dadas por valores numéricos negativos. Por lo tanto si $y_o > 0$ y $y_1 < 0$ la imagen está invertida mientras que si $y_1 > 0$ cuando $y_o > 0$ la imagen está derecha.

Los triángulos AOF_1 y $P_2P_1F_1$ son similares, por tanto:

$$\frac{y_o}{|y_1|} = \frac{f}{(s_1-f)} \quad (3)$$

Análogamente al paso anterior, los triángulos S_2S_1O y P_2P_1O son similares y por lo tanto:

$$\frac{y_o}{|y_1|} = \frac{s_o}{s_1} \quad (4)$$

donde todas las cantidades excepto y_1 son positivas, de ahí que:

$$\frac{s_o}{s_1} = \frac{f}{(s_1-f)} \quad (5)$$

Para los triángulos $S_1S_2F_o$ y BOF_o se tiene:

$$\frac{f}{(s_o-f)} = \frac{|y_1|}{y_o} \quad (6)$$

La razón de las dimensiones transversales de la imagen final formada por cualquier sistema óptico a la de la dimensión correspondiente del objeto se define como la magnificación lateral o transversal β , es decir:

$$\beta \equiv \frac{y_1}{y_o} \quad (7)$$

de (4) se puede obtener

$$\beta = -\frac{s_1}{s_o} \quad (8)$$

y de la fórmula gaussiana de la lente delgada (2)

$$\beta = \frac{y_1}{y_o} \quad (9)$$

Poniendo (5) en términos de β

$$\frac{1}{\beta} = \frac{f}{(\beta s_o - f)} \quad (10)$$

y despejando f

$$f = \frac{s_o}{\frac{1}{\beta} + 1} \quad (11)$$

Para obtener una mejor aproximación, examinaremos el caso de la lente gruesa.

4.4 ECUACIONES DE UNALENTE GRUESA

La FIGURA 4.4 describe una lente gruesa, es decir, una cuyo espesor en ningún caso es despreciable. Como se verá también puede enfocarse en forma más general como un sistema óptico, permitiendo con ello la posibilidad de que esté formada por varias lentes simples, y no solamente por una. Los puntos focales primero y segundo, o si se quiere, los focos objeto e imagen F_o y F_i , pueden ser medidos convenientemente desde los dos vértices externos.

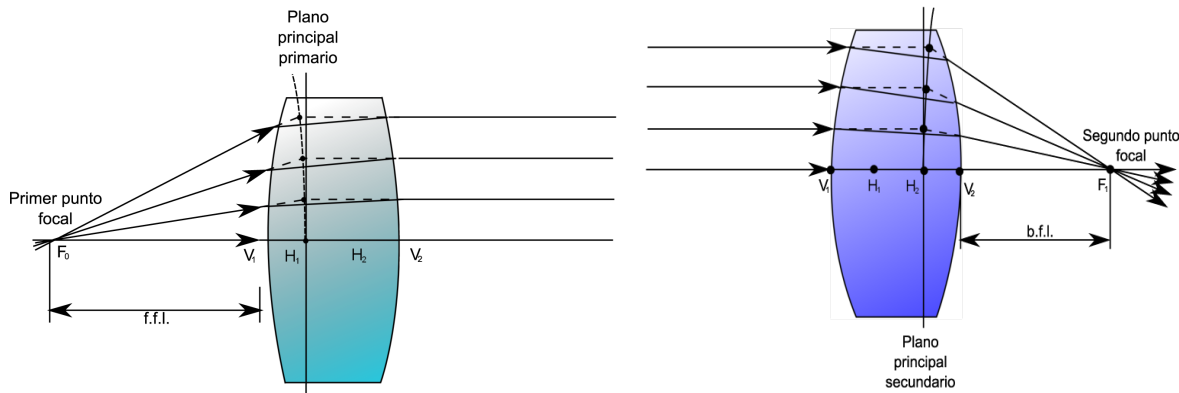


Figura 4.4 Diagramas de una lente gruesa.

En ese caso tendremos las longitudes focales frontal y posterior, denotadas por $f.f.l.$ y $b.f.l.$. Cuando se prolongan los rayos de entrada y salida estos se cruzaran en algunos puntos, y sus intersecciones formaran una superficie curva que puede estar dentro o fuera de la lente. La superficie, aproximadamente un plano en la región paraxial, se llama plano principal. Los puntos donde los planos principales primario y secundario cruzan el eje óptico, son conocidos como el primero y segundo punto principal H_1 y H_2 respectivamente. Ellos constituyen un conjunto de referencia muy útil, a partir de los cuales se pueden medir varios parámetros. Sabemos que un rayo atravesando una lente por su centro óptico sale paralelo a su dirección de incidencia.

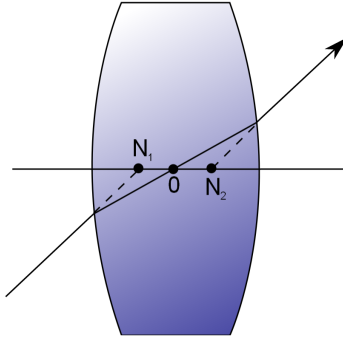


Figura 4.5 Puntos nodales.

Extendiendo ambos rayos de entrada y salida hasta cruzar el eje óptico, se localizan los llamados puntos nodales N_1 y N_2 . Cuando la lente está rodeada por ambos lados por el mismo medio, generalmente aire, los puntos nodal y principal coinciden. Los seis puntos, dos focales, dos principales y dos nodales, constituyen los puntos cardinales del sistema.

La lente gruesa puede ser considerada como formada de dos superficies refractoras esféricas separadas por una distancia d entre sus vértices, de la misma manera en la que se deduce la ecuación para una lente delgada. Después de un laborioso trabajo algebraico, donde d no es ahora despreciable, se llega a un resultado interesante para las lentes gruesas sumergidas en aire. La expresión para los puntos conjugados puede, una vez más, ser puesta en la forma gaussiana.

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f} \quad (2)$$

Siempre y cuando las distancias del objeto y la imagen estén medidas desde el primero y segundo plano principal, respectivamente. A diferencia del análisis de una lente delgada s_o representa la distancia del objeto al plano principal primario que también puede ser representada como la distancia de trabajo WD sumada con $\overline{V_1H_1}$

$$s_o = WD + \overline{V_1H_1} \quad (12)$$

De manera similar y con respecto al plano principal secundario s_i es representada como la distancia a la imagen ID sumada con $\overline{V_2H_2}$

$$s_i = ID + \overline{V_2H_2} \quad (13)$$

La distancia focal f también se mide con respecto a los planos principales y está dada por:

$$\frac{1}{f} = (n_l - 1) \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{(n_l - 1)d}{n_l R_1 R_2} \right] \quad (14)$$

Los planos principales están localizados a distancias $\overline{V_1H_1} = h_1$ y $\overline{V_2H_2} = h_2$, las cuales son positivas cuando los planos caen a la derecha de sus respectivos vértices. La figura 6.4 ilustra la disposición de varias cantidades. Los valores h_1 y h_2 están dados por:

$$h_1 = \frac{f(n_l - 1)d}{n_l R_2} \quad (15)$$

$$h_2 = \frac{f(n_l - 1)d}{n_l R_1} \quad (16)$$

De los triángulos similares, siempre que f mantenga la interpretación presente.

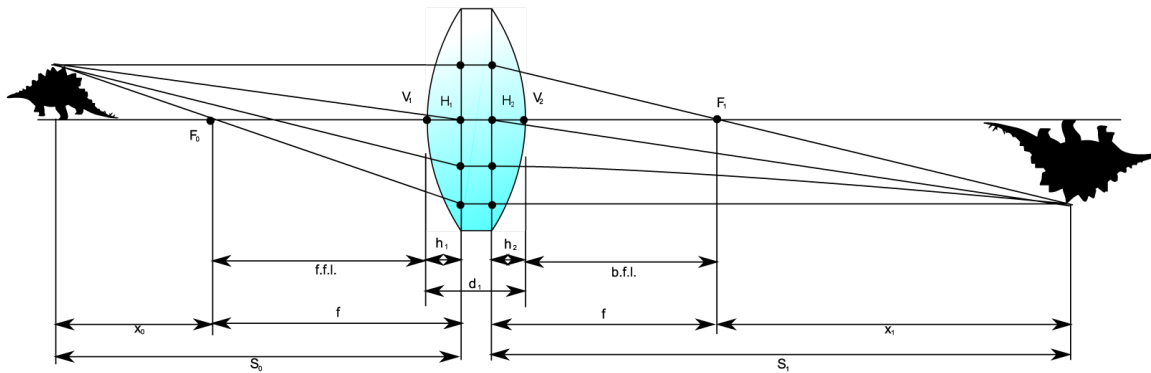


Figura 4.6 Geometría de una lente gruesa (aquí toma en cuenta que f.f.l. es d.f.f. y que b.f.l. es d.f.p.)

$$\beta = \frac{y_1}{y_o} = -\frac{x_1}{f} = -\frac{f}{x_o} \quad (17)$$

Obviamente si $d \rightarrow 0$, las ecuaciones anteriores se transforman en las ecuaciones de lentes delgadas. Una vez hecho el análisis de la lente gruesa podemos empezar a definir los parámetros característicos del escáner.

4.5 PARÁMETROS BASE

De las ecuaciones de la lente gruesa nuevamente definiremos s_o como la distancia que existe del objeto a escanear al primer plano principal de la lente y a la distancia s_1 como distancia que existe del segundo plano principal de la lente a la imagen. A partir de estas distancias determinaremos la distancia focal f y la magnificación β .

Para la distancia focal necesaria para tomar una imagen de tamaño y_o a la distancia s_o y generar una imagen de tamaño y_1 en el sensor, es necesario relacionar la distancia s_o y la distancia s_1 .

Basándonos en el análisis de la sección anterior, para nuestro caso podemos definir la magnificación transversal β como la relación entre el tamaño del sensor y el área de interés.

El área de interés (*AOI*) es uno de los parámetros base para el diseño del escáner, por lo que su definición afectara las características del mismo. Tomando en cuenta esto y relacionándolo con los objetivos del proyecto, nos basaremos en los formatos estándares de tamaños de papel para definirlo.

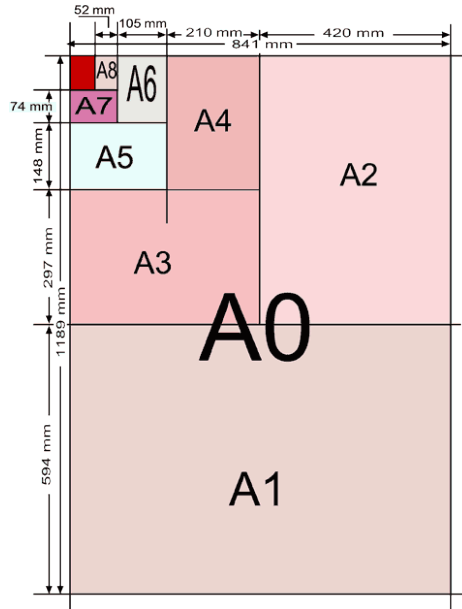


Figura 4.7 Formatos estandarizados para el tamaño del papel.

Observamos que el A0 es el tamaño mayor de este estándar, por lo que definiremos $AOI = 841[\text{mm}]$

$$\beta = \frac{y_1}{y_o} = \frac{\text{Tamaño del sensor}}{\text{Areaa de interes (AOI)}} \quad (18)$$

Entonces

$$\beta = \frac{81.92}{841} = 0.0974 \text{ mm} \quad (19)$$

Con la β obtenida y deseando una distancia de trabajo de $1000[\text{mm}]$

$$f = \frac{s_o}{\frac{1}{\beta} + 1} = \frac{1000}{\frac{1}{0.0974} + 1} = 88.75 \text{ mm} \quad (20)$$

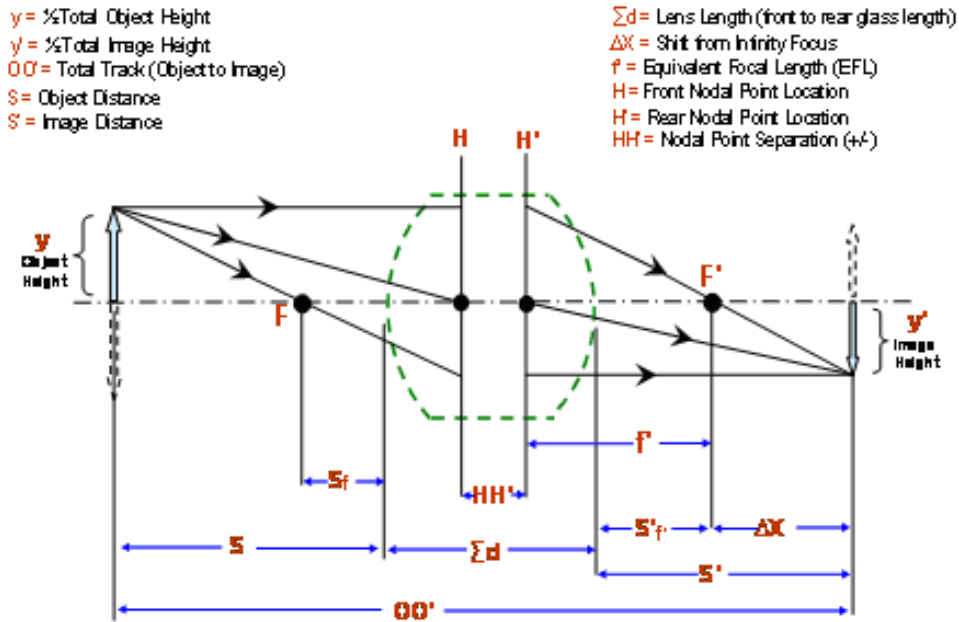
Obtenemos una distancia focal cercana a los $90[\text{mm}]$, que es un valor de distancia focal existente en lentes comerciales.

4.6 ELECCIÓN DE LA LENTE

Para la cámara Basler Sprint 8K, que escogimos en el capítulo anterior, existe la lente Schneider Macro Apo- Componon 4.5/90mm la cual revisaremos a continuación.

4.6.1 Lente Schneider Macro Apo- Componon 4.5/90mm

Las características físicas de esta lente son:



APO-COMPONON 4.5/90

f'	=	89.8 mm	β_p	=	1.016
s_F	=	-66.0 mm	s_{EP}	=	22.4 mm
$s_{F'}$	=	66.7 mm	s_{AP}	=	-24.5 mm
HH'	=	-3.5 mm	Σd	=	43.4 mm

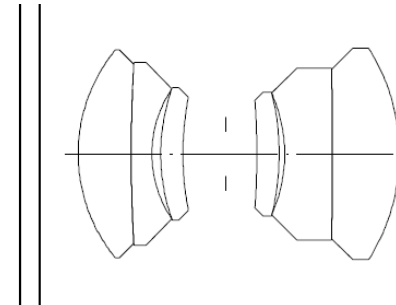


Figura 4.8 Datos del fabricante de la lente Macro Apo- Componon 4.5/90mm.

Para definir la distancia a la imagen ID para un objeto a una $WD = 1000$ mm necesitamos obtener h_2 y h_1 a partir de los datos proporcionados por el fabricante.

Del esquema de la lente Macro Apo- Componon 4.5/90mm observamos que:

$$h_2 = f' - S'_{f1} \quad (21)$$

$$h_2 = (89.8) - (66.7)$$

$$h_2 = -23.1 \text{ mm}$$

Entonces,

$$h_1 = \sum d - HH' - h_2 = (43.4) - (3.5) - (23.1) = 16.8 \text{ mm} \quad (22)$$

por lo tanto,

$$s_o = WD + h_1 = 1000 + 16.8 = 1016.8 \text{ mm} \quad (23)$$

usando la formula gaussiana (2) obtenemos s_1

$$\frac{1}{1016.8} + \frac{1}{s_1} = \frac{1}{89.8}$$

$$s_1 = 98.49 \text{ mm}$$

y finalmente obteniendo ID

$$ID = s_1 - |h_2| \quad (24)$$

$$ID = 75.30 \text{ mm}$$

Esto implica que debemos utilizar adaptador mecánico que mantenga la cara trasera de la lente a una distancia de alrededor de 75.30mm del sensor, para esto debemos considerar un adaptador que sea compatible tanto con la cámara como con la lente.

La cámara Basler Sprint 8K, que elegimos, tiene una interfaz V-Basler que sólo permite conectarse a dos adaptadores de dicha marca.

4.6.2 Adaptador UNIFOC100/95_/V-Basler Helical Mount

Como se aprecia en la FIGURA 4.9, la distancia mínima a la que se puede posicionar la parte trasera de la lente al sensor es de 235mm , por lo tanto esta montura no es útil para nuestra necesidad.

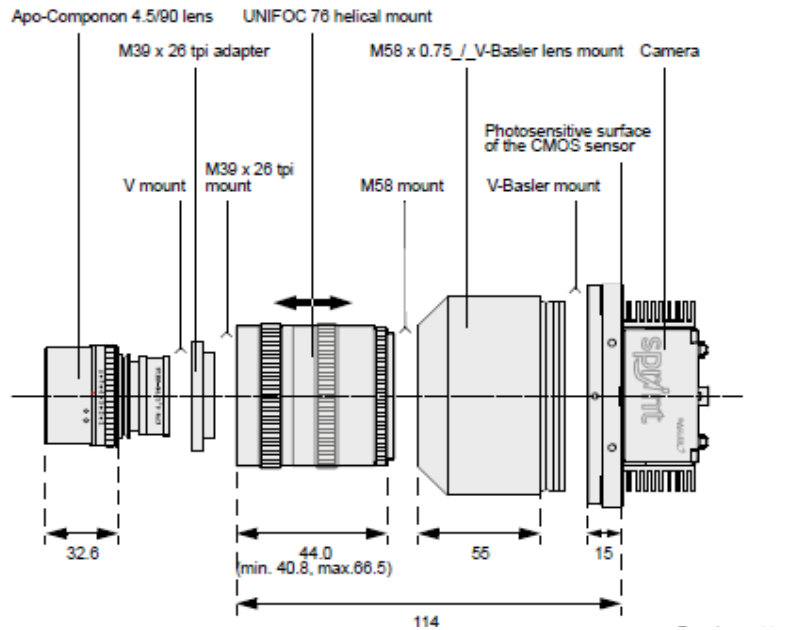


Figura 4.9 Adaptador UNIFOC 100/95_V-Basler Helical Mount, distancias en milímetros.

4.6.3 Adaptador M58 x 0.75 V-Basler Lens Mount

Con este adaptador, la distancia mínima desde el extremo del sensor hasta la lente es de 83mm, haciendo imposible con una lente de 90mm enfocar para la WD deseada

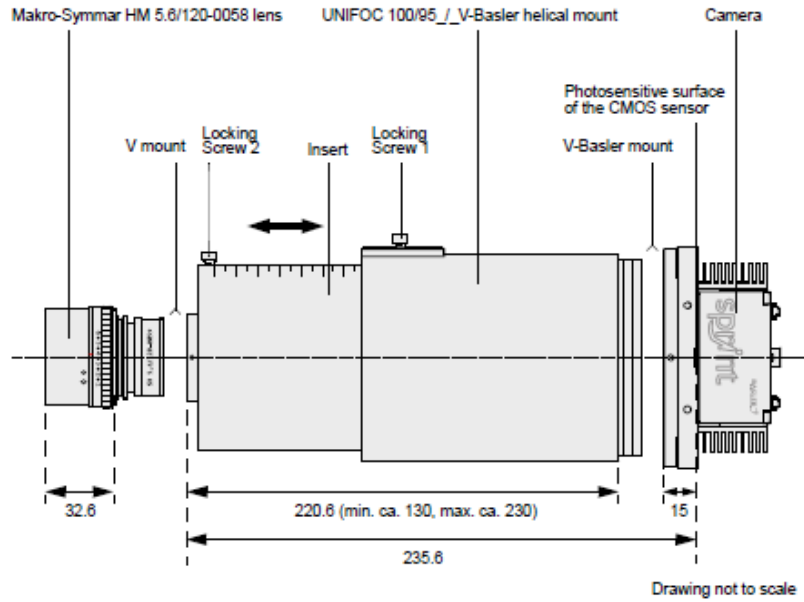


Figura 4.10 M58 x 0.75 V-Basler Lens Mount, distancias en [mm].

Al agotar las opciones de adaptador para la lente Macro Apo- Componon 4.5/90mm ajustamos nuestros cálculos para obtener una lente con distancia focal de 100mm que es el siguiente valor comercial que nos permitiría tener una s_i mayor haciendo posible utilizar alguno de los adaptadores existentes para la cámara.

Para realizar esto propondremos una nueva distancia de trabajo de 1150mm y nuevamente:

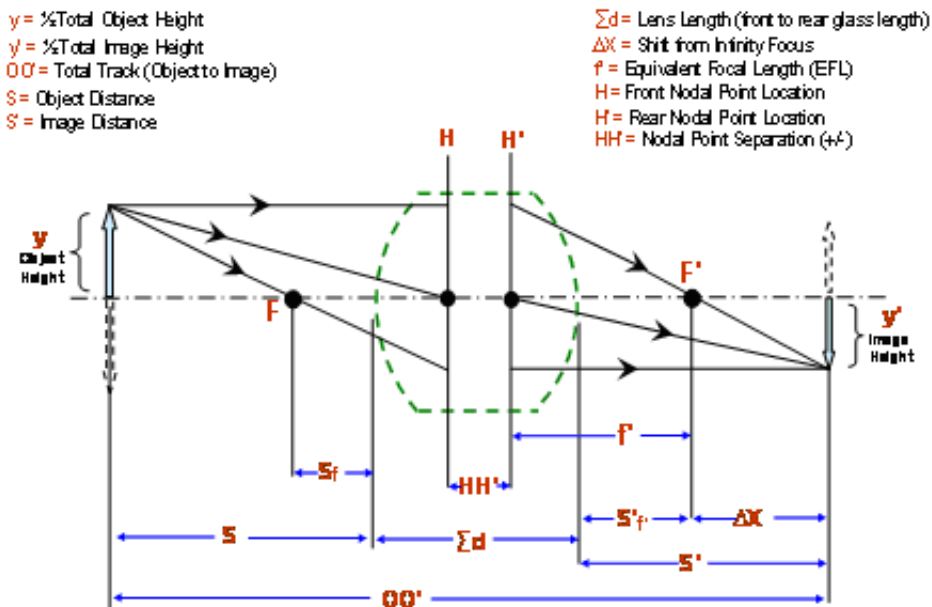
$$f = \frac{s_o}{\frac{1}{\beta} + 1} = \frac{1150}{\frac{1}{0.0974} + 1} = 102.06 \text{ mm} \quad (25)$$

Distancia focal cercana a 100mm por lo que ahora es necesario definir un modelo comercial de lente con una $f = 100 \text{ mm}$.

Enfrentando nuevamente las opciones comerciales, se encontraron lentes con una distancia focal de 100m pero sin una montura adecuada para el adaptador UNIFOC 100/95/_V-Basler Helical Mount de la cámara Basler, por lo cual las opciones para lente se reducen.

Se encontró que marcas como Carl-Zeiss y Olympus, no producen lentes con esta montura que pudiesen adaptarse, pero Schneider fabrica una línea para sensores de gran tamaño que pueden ser ajustados a la cámara a través de ciertos adaptadores, tal es el caso del modelo Macro Componon-S 5.6/100mm que cuenta con una $f = 102.3 \text{ m}$, característica que nos lleva a revisarla.

4.6.4 Lente Schneider Macro Componon-S 5.6/100mm



COMPONON-S 5.6/100

$$\begin{aligned} f' &= 102.3 \text{ mm} & \beta_p &= 0.988 \\ s_F &= -81.8 \text{ mm} & s_{EP} &= 21.8 \text{ mm} \\ s_{F'} &= 84.9 \text{ mm} & s_{AP} &= -16.2 \text{ mm} \\ HH' &= -2.4 \text{ mm} & \Sigma d &= 35.6 \text{ mm} \end{aligned}$$

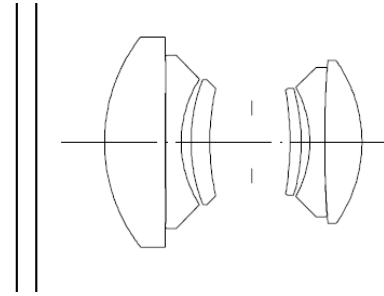


Figura 4.11 Esquema de Schneider Macro Componon-S 5.6/100mm.

Para el modelo Macro Componon-S 5.6/100mm, observaremos las características ópticas proporcionadas por el fabricante.

Para definir la distancia a la imagen ID para un objeto a una $WD = 1150$ [mm] necesitamos obtener h_2 y h_1 a partir de los datos proporcionados por el fabricante.

Del esquema de la lente Macro Apo- Componon 4.5/90mm observamos que:

$$h_2 = f' - S'_{f'}$$

$$h_2 = (102.3) - (84.9)$$

$$h_2 = -17.4 \text{ mm}$$

Entonces,

$$h_1 = \Sigma d - HH' - h_2 = (35.6) - (2.4) - (17.4) = 15.8 \text{ mm}$$

por lo tanto,

$$s_o = WD + h_1 = 1150 + 15.8 = 1165.8 \text{ mm}$$

usando la formula gaussiana obtenemos s_1

$$\frac{1}{1165.8[\text{mm}]} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{102.3[\text{mm}]}$$

$$s_1 = 112.14$$

y finalmente obteniendo ID

$$ID = s_1 - |h_2|$$

$$ID = 94.74[\text{mm}]$$

Recordando que:

$$\beta = 0.0974$$

Utilizando la relación entre el tamaño del pixel y el tamaño del punto en la imagen

$$\text{tamaño del punto} = \frac{\text{tamaño del pixel}}{\beta} = \frac{0.010[\text{mm}]}{0.0974} = 0.1026 [\text{mm}]$$

(Debe mencionarse que el tamaño del punto servirá para determinar el paso mecánico en el capítulo siguiente)

Obteniendo la resolución en relación a la magnificación transversal

$$\text{Resolución} = \frac{1 \text{ in}}{\text{tamaño del punto}} = \frac{25.4 \text{ mm}}{0.1026 \text{ mm}} \approx 247 \text{ dpi}$$

Observamos que esta vez utilizamos el término dpi ya que estamos tomando en cuenta el tamaño del punto.

Para los parámetros deseados es factible utilizar el modelo de lente Macro Componon-S 5.6/100mm y el adaptador M58 x 0.75/_/_V-Basler lens mount, con lo que quedan definidos los parámetros ID y WD así como el modelo de la lente y la interfaz cámara/lente cumpliendo los objetivos de éste capítulo.

CAPÍTULO 05

ILUMINACIÓN

En el escaneo de algún documento la habilidad de identificar detalles depende directamente en la capacidad de generar contraste en la imagen que, en cierta medida, depende de los niveles de iluminación. Aunque existen muchas tecnologías de iluminación ninguna posee todos los requerimientos para los complejos sistemas de visión de hoy en día.

Muchas veces los usuarios tienen problemas con la resolución y el contraste y subestiman el poder de una buena iluminación. Una calidad de imagen alta puede alcanzarse con el uso de un sistema de iluminación correcto.

Una iluminación correcta es crítica para un sistema de adquisición de imágenes y una mala iluminación puede acarrear varios problemas: brillos excesivos o grandes puntos luminosos, puede esconder una importante cantidad de la imagen, como lo podrá ser una sombra, aunado a esto, las sombras pueden causar cálculos falsos de contorno en mediciones. Una iluminación pobre puede arrojar una relación a ruido baja, una iluminación no uniforme puede dañar la relación señal a ruido y volver las tareas de umbrales más difíciles.

Para asegurar una iluminación óptima en la integración de un sistema es importante reconocer el papel que juega cada componente pues cada uno afecta en la cantidad de luz incidente en el sensor y por lo tanto la calidad de la imagen. La apertura (f) del diafragma impacta directamente a la cantidad de luz que incide en la cámara. Los lentes de alto poder regularmente requieren de mayor iluminación ya que áreas menores de captura reflejan menos luz hacia el lente. La sensibilidad mínima de la cámara es muy importante para determinar la menor cantidad de luz requerida para el sistema., además de lo anterior algunos parámetros de la cámara tales como: ganancia, velocidad de obturación, etc. pueden afectar la sensibilidad del sensor.

5.1 TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN TRADICIONALES PARA EL ESCANEO LINEAL

5.1.1 Fluorescentes

La iluminación fluorescente consiste en tubos de vapor de mercurio que son excitados por una corriente alterna. Las emisiones UV causan que el fósforo contenido en las paredes del tubo emita luz blanca. A pesar de su intensidad relativamente baja, la iluminación fluorescente sigue siendo una elección popular para las aplicaciones de inspección de aérea difusa debido a su bajo costo y sus tiempos de vida bien definidos. Aún así, las luces fluorescentes sufren de varias desventajas:

- La cromaticidad y la luminancia de los tubos dependen de la temperatura. Se deben considerar los tiempos de calentamiento para algunas aplicaciones y en algunos casos la temperatura debe estabilizarse.
- Los tubos fluorescentes son difíciles de encender a temperaturas bajas.
- La luz no es uniforme a lo largo del tubo. A lo largo del tiempo de vida del tubo, los extremos se desvanecen más rápido que el centro.
- Un solo tubo fluorescente está limitado a una distancia de 8 ft.
- El diseño debe considerar que las frecuencias del balastro del tubo no interfieran con la cámara lineal causando modulación en las imágenes
- El espectro de los tubos fluorescentes es difícil de controlar. Cambios espectrales en los tubos puede resultar en cambios de color y por lo tanto en cambios en la imagen.

5.1.2 Halógeno transmitido por fibra (FDH)

Esta es la solución de iluminación más comúnmente usada en aplicaciones de escaneo lineal de alta velocidad donde es requerido un incremento de intensidad. En general la iluminación por FDH consiste de un poderoso bulbo de halógeno (50 – 200W) que emite el

ancho de banda de la radiación del cuerpo negro. El bulbo está montado en un reflector direccionado a un paquete de fibras ópticas que es distribuido en una línea delgada. En los extremos del paquete de fibras se pueden generar intensidades muy altas. Las principales ventajas de este esquema son que el “extremo de negocio” en el dispositivo de iluminación está hecho de fibra de vidrio robusta y que la temperatura del bulbo se mantiene lejos del objetivo a iluminar. Por otro lado tenemos debilidades como:

- Los bulbos típicamente tienen una vida corta (< 3000 horas) en uso rudo.
- Los bulbos se desvanecen y cambian de color antes de fallar completamente.
- Se debe tener mucho cuidado al mezclar las fibras en la manufactura del dispositivo para maximizar la uniformidad de la luz a lo largo de la línea bajo cualquier condición.

5.1.3 Haluro Metálico transmitido por fibra (FDMH)

Las fuentes de haluro metálico transmitido por fibra son similares en construcción a las FDH pero éstos tienen una eficiencia eléctrica mayor (menor emisión de calor), tiempo de vida mayor (hasta cinco veces) y también un espectro blanco construido por bandas discretas de emisiones estrechas. Al parecer estos beneficios los harían una elección más obvia para un sistema de visión, sin embargo la intensidad es muy difícil de controlar y su replazo es mucho más caro que el de los bulbos de halógeno.

5.1.4 Diodos emisores de luz

Los diodos emisores de luz mejor conocidos como leds, son dispositivos semiconductores que están usualmente empaquetados de una manera que optimiza su uso en aplicaciones de despliegue. En el centro de estos dispositivos hay un pequeño dado (250 μm x 250 μm) de material semiconductor emisor de luz. Estos dispositivos individualmente empaquetados son fáciles de montar y de conectar entre si usando técnicas comunes de circuitos impresos. Más aún, generalmente son muy confiables y sus arreglos no son lo suficientemente densos como para que el sobrecalentamiento se presente como un problema.

En cuanto a la eficiencia, los leds en el espectro visible pueden ser comparados a los bulbos de halógeno. El empaquetado estándar del led suele ser compacto pero no muy poderoso por lo que para tener una cantidad suficiente de luz para fines de la captura, son necesarios arreglos de cientos de leds. Aunque el empaquetado estándar del led ofrece una iluminación confiable y fácilmente controlable tiene ciertas limitaciones al usarse en aplicaciones de escaneo lineal como:

- La intensidad alcanzable de circuitos construidos usando empaquetados estándares de Led está severamente limitada por su diseño óptico y térmico.

- La radiancia espectral del empaquetado estándar del led es muy baja y no hay óptica que pueda mejorarla.

Tabla 5.1 Comparación entre las diferentes tecnologías de iluminación.

	Fluorescentes	FDH	FDMH	Led
Contraste	●	●●	●●	●●●●
Potencia	●●●	●●●●	●●	●●
Uniformidad	●●●	●●●	●●●●	●●
Tiempo de vida	●●●	●●	●●●	●●●●
Estabilidad	●	●	●	●●●
Control	●●	●●●	●	●●●●
Costo	Bajo	Alto	Alto	Bajo

Deficiente=● Excelente=●●●●

5.2 TÉCNICAS DE ILUMINACIÓN CON LEDS

5.2.1 Iluminación a un ángulo pequeño y horizontal

Iluminación similar a la direccional excepto que esta tiene un ángulo agudo de incidencia. Una luz a un ángulo muy pequeño enfatiza hasta las más pequeñas desviaciones de la superficie del objetivo. Esta técnica es muy útil para detectar imperfecciones en partes reflectivas.

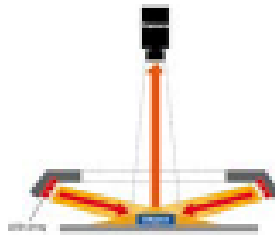


Figura 5.1 Diagrama de Iluminación a ángulo.

5.2.2 Iluminación de anillo

Iluminación direccional en línea con la lente, la cámara ve a través de una apertura circular en el centro de la guía de iluminación. Esta técnica provee mayor intensidad y menos difusión.

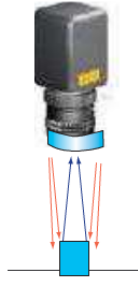


Figura 5.2 Diagrama Iluminación anillo.

5.2.3 Iluminación de fondo

La iluminación de fondo logra un campo lumínico altamente homogéneo en una superficie larga. Este tipo de técnica se puede usar tanto para medir precisamente el contorno de un objeto como para inspeccionar partes transparentes o semitransparentes.

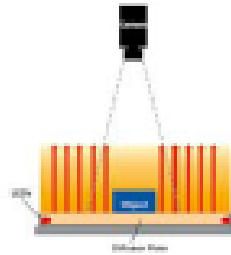


Figura 5.3 Diagrama iluminación de fondo.

5.2.4 Iluminación coaxial

La iluminación coaxial es la mejor solución para objetos altamente reflectivos y para partes cubiertas por materiales transparentes. Existen dos tipos de iluminación coaxial, la de tipo caja, que funciona con casi cualquier lente de visión máquina, y la de iluminación telecéntrica.

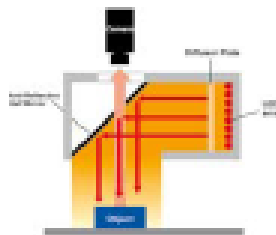


Figura 5.4 Diagrama Iluminación Coaxial.

5.2.5 Domo de Iluminación

El domo de iluminación provee luz homogénea, difusa y sin reflexiones para objetos brillantes esféricos y convexos.

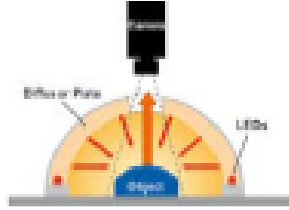


Figura 5.5 Diagrama Domo de iluminación.

Tabla 5.2 Comparación entre las diferentes técnicas de iluminación.

Técnica	Ventajas	Desventajas
Iluminación directa	Luminosa, flexible, adaptable y uniforme	Sombras y reflejos
Iluminación a un ángulo pequeño y horizontal	Muestra la estructura de la superficie y favorece la topografía del objeto	Se tienen puntos luminosos y genera muchas sombras
Iluminación difusa	Reduce el reflejo y provee una luz uniforme	Dificultad para trabajar en espacios reducidos y para distinguir la topografía del objeto
Iluminación de anillo	Reduce las sombras y provee una iluminación uniforme	Se requiere un patrón de reflejo circular por lo que hay cierta dificultad en la montura
Iluminación de fondo	Iluminación homogénea	Dificultad para trabajar en espacios reducidos
Iluminación coaxial	No se tienen sombras, iluminación uniforme y un reflejo casi nulo	Menor intensidad a través del partidor de haz interno
Domo de Iluminación	Luz homogénea, difusa y sin reflexiones	Ideal para objetos esféricos y no planos

Se eligió la iluminación led ya que esta tecnología acepta la alimentación con corriente directa lo que evita el problema de tener que generar un circuito que produzca una frecuencia mucho mayor a la de adquisición de la cámara, además de brindar una iluminación homogénea a todo el documento a escanear.

Para satisfacer la luminosidad requerida por el dispositivo de adquisición son necesarios 200,000Lux, dato que nos ofrece el proveedor de la cámara, que es equivalente a $200,000 \frac{lm}{m^2}$ cada uno de los leds entrega 56 lm con una corriente de 350mA. No se consideran pérdidas ya que la distancia entre documento e iluminación es menor a 5 cm.

Por lo que:

$$1 \text{ lm} = 1 \left[\frac{\text{lux}}{\text{m}^2} \right] \quad (26)$$

$$1 \text{ m}^2 = \frac{200,000 \text{ Lux}}{56 \text{ lm}}$$

$$1 \text{ m}^2 = 3571.42 \text{ led}$$

$$1 \text{ m} = 60 \text{ led}$$

$$1.66 \text{ cm} = 1 \text{ led}$$

5.3 DISEÑO DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO DE ILUMINACIÓN

El circuito diseñado para satisfacer las necesidades de iluminación para el escáner es el siguiente:

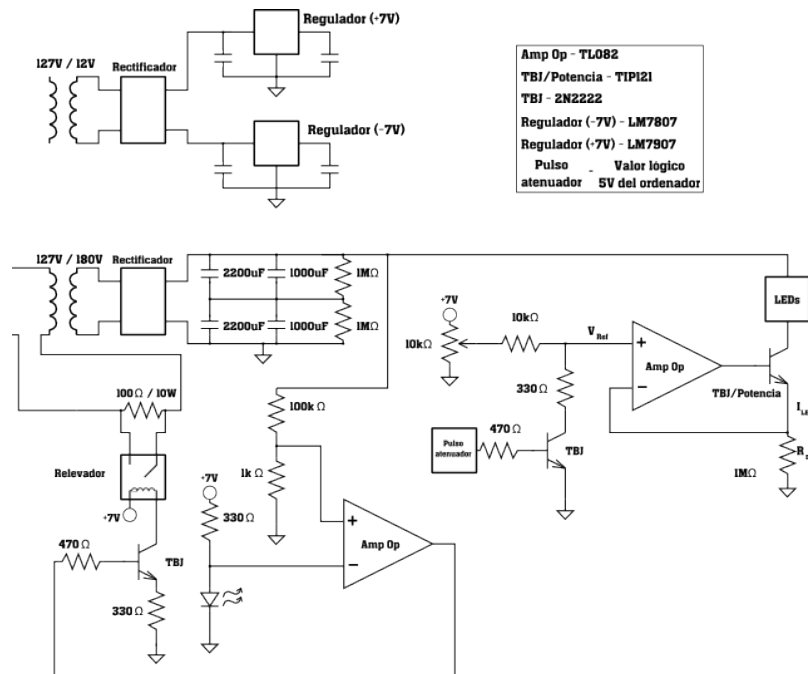


Figura 5.6 Circuito diseñado para satisfacer necesidades de iluminación del escáner.

El circuito de iluminación se compone de cuatro partes principales:

1. Fuente de corriente regulada.
2. Control de corriente.
3. Sistema de seguridad.
4. Leds.

5.3.1 Fuente de corriente regulada

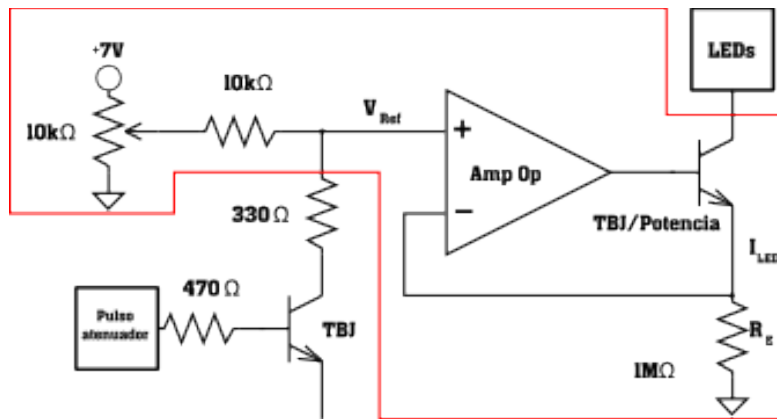


Figura 5.7 Fuente de corriente regulada.

Se encuentra enmarcada por línea roja en la FIGURA 5.6 y se usó un amplificador operacional para tener control de la corriente que circula a través de los leds, este sistema se basa en comparar un voltaje de referencia con el voltaje de la resistencia que se encuentra en el emisor del transistor de potencia que lo une con los leds, esto fuerza a que la corriente se mantenga constante, ya que intenta mantener el mismo voltaje en la entrada no inversora e inversora del amplificador operacional.

De lo anterior se puede obtener la corriente que circulará por los leds

$$I_{LED} = \frac{V_{RE}}{R_E} \quad (27)$$

y el voltaje de referencia para que la corriente en los leds se mantenga constante

$$V_{RE} = V_{REF} \quad (28)$$

5.3.2 Control de corriente

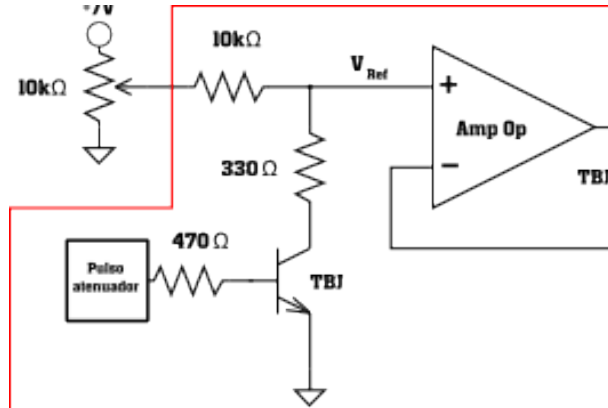


Figura 5.8 Control de corriente.

Con el uso de un transistor se configuró un interruptor que permite disminuir el voltaje de referencia de la entrada no inversora del amplificador operacional y así disminuir la corriente que circula en los leds. Esto permite disminuir la potencia, se prefiere la disminución en lugar del apagado ya que limita el choque térmico en los leds. Este control disminuye el consumo innecesario de energía.

Usando el teorema de Thevenin:

$$V_{REF} = \frac{V_{in}R_C}{R_{in}+R_C} \quad (29)$$

5.3.3 Sistema de Seguridad

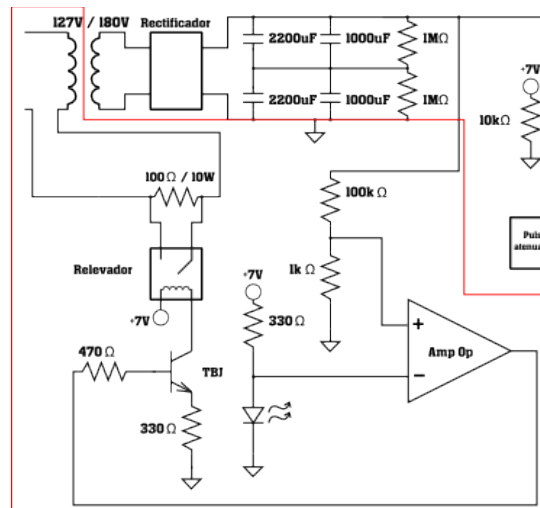


Figura 5.9 Circuito de seguridad.

Se implementó un circuito electrónico de protección para impedir que en el momento de energizar el equipo pueda sufrir una sobrecarga que lo ponga en peligro. Este sistema de protección trabaja de la siguiente manera: Al energizar el equipo se tiene una resistencia en serie con el rectificador de 250V y los leds, lo que evita que la corriente exceda el límite permitido por los componentes, al regularizarse el voltaje después de la rectificación se usa en la entrada no inversora de un amplificador operacional que compara este valor con otro establecido, en este caso el voltaje de un led, y al momento de sobrepasar esa referencia activa un relevador que puentea la resistencia inicial para que no siga operando.

5.3.4 Leds

Contiene 60 LEDs en serie para asegurar una corriente igual en todos ellos y así tengan la misma intensidad luminosa. Esta rama requiere de 250V aproximadamente para ser alimentada ya que cada LED requiere de 3V para ser encendido y son necesarios 60 LEDs separados a 1.5cm ,como se vio en la ecuación (26), de distancia cada uno para entregar la luminosidad necesaria para iluminar el objeto a escanear.

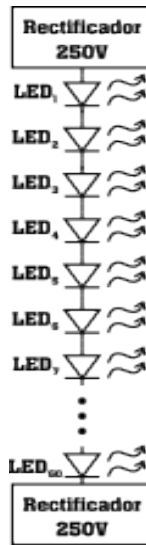


Figura 5.10 Conexión en serie de los leds.

La potencia disipada en cada led se puede obtener:

$$V_{LED} = 3V$$

$$I = 350mA$$

$$P_{LED} = V_{LED}I_{LED} \tag{30}$$

$$P_{LED} = 1.05W$$

Como tenemos 60 leds distribuidos en dos lámparas, entonces

$$P_{Tot} = 126 W$$

Para esto fue necesario elevar el voltaje de 127V hasta 180V mediante el uso de un transformador, ya que al momento de rectificar se tendrán $180\sqrt{2}$, llegando así hasta los 255V de voltaje directo, este voltaje se usa sólo para alimentar a los leds, y es este el voltaje usado para la referencia del circuito de protección.

5.4 COLOR DE TEMPERATURA

Para la selección de los leds nos basamos en diferentes necesidades que hay que cumplir, una es el color de la iluminación, esta debe ser blanca, ya que cualquier otro tipo de color acentuaría una cierta longitud de onda, haciendo que los valores que lee la cámara sean falsos dando un cambio de color a los objetos escaneados, por esto es necesario contar con luz blanca.

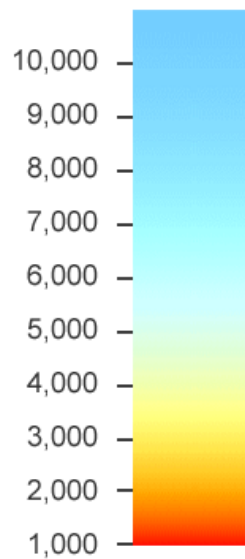


Figura 5.11 Grafica de la temperatura del color en grados kelvin (K).

La temperatura de color es un estándar para describir el uso de colores, según el sistema internacional de medidas se mide en kélvines (K), los colores por encima de los 5,000 K son llamados *colores fríos*, mientras que los colores por debajo son *colores cálidos* la siguiente imagen nos ejemplifica los kélvines con los colores asociados.

El sistema de iluminación al contar con 60 leds cada lámpara y cada uno consumiendo aproximadamente 3 Watts tenemos un total de 180 W que se presentarán como calor, este calor debe ser drenado para que no afecte el funcionamiento de los leds, y que no

dañe el documento. Para esto se construyó la lámpara de manera que todos los thermal pads estuvieran unidos sobre una pista de cobre y entre cada led, sobre esta pista, se tenga la posibilidad de colocar un tornillo que una el circuito impreso a una solera de aluminio, y esta a su vez este unida a todo el cuerpo del escáner brindando así un escape al calor a través de la estructura del sistema. Es importante comprobar que esta pista esté totalmente aislada de lo que es el circuito para que no exista un corto.

5.5 LEDS ELEGIDOS PARA CONFORMAR LA ILUMINACIÓN

El led escogido fue el ASMT – Jx32 de Avago Technologies, que cumple a la perfección con las características de color de temperatura, luminosidad y espacio que cubren con las necesidades del proyecto.

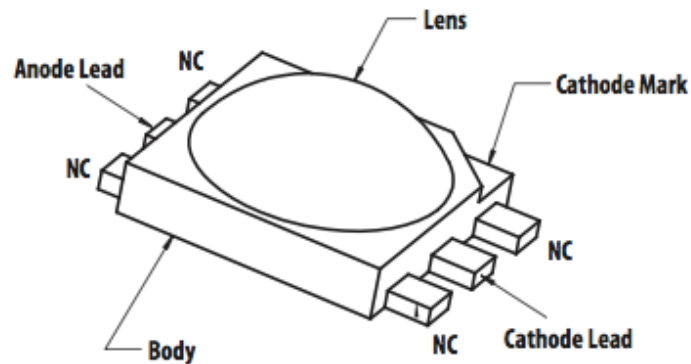


Figura 5.12 Esquema del led ASMT – Jx32 de Avago Technologies.

CAPÍTULO 06

MECANISMO

Una vez seleccionada la cámara y la óptica se tiene que diseñar un sistema mecánico que permita el traslado de la cámara-sistema de captura para la correcta digitalización del documento a escanear, esto mediante la definición de un sistema mecánico, que será la distancia necesaria que debe moverse dicho sistema entre capturas. El sistema será implementado, por un elemento mecánico que transporte la cámara en línea recta para garantizar que en cada línea capture la misma área, un motor que generará el movimiento, el control para el motor y un encóder que, acoplado al motor, controlará el movimiento de la cámara, definirá el paso mecánico y activará la adquisición de la línea.

6.1 EL MOTOR

Para la elección adecuada del motor es importante la búsqueda de uno que brinde un movimiento sin vibraciones, un frenado suave y un control de respuesta rápido, todo esto con el fin de obtener una imagen de la mejor calidad posible. Comercialmente existen varios tipos de motores, entre los más utilizados se encuentran los motores de corriente alterna (CA) tanto monofásicos como trifásicos, los de corriente directa (CD), los motores

a pasos y los servomotores, por lo que, para hacer la mejor elección, se confrontarán ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

6.1.1 Motor de CA

Este tipo de motor es considerado, esencialmente, como un motor de velocidad constante debido a las limitaciones de voltaje y frecuencia fijos, sin embargo, en la actualidad, las técnicas del hardware utilizado en la electrónica de potencia están muy avanzadas, poniendo a disposición fuentes de alimentación de CA que proporcionan una respuesta rápida, variadores de voltaje para modificar la velocidad bajo carga y variadores de frecuencia para cambiar la velocidad síncrona. Si la frecuencia y el voltaje se cambian proporcionalmente, la densidad de flujo magnético podría mantenerse casi constante y obtener un mejor rendimiento.

6.1.2 Motor de CD

El motor de corriente directa es usado en diferentes aplicaciones debido a que las características especiales en sus conexiones satisfacen los requerimientos específicos para velocidad y par que no son comunes en los motores AC.

En un motor de CD, el control del par es simple, ya que el par de salida es proporcional a la intensidad de corriente. Si se limita la corriente, se limita el esfuerzo de torsión que el motor puede alcanzar. Esto hace a este tipo de motor ideal para aplicaciones delicadas como la manufactura textil.

El control de velocidad también es simple en este tipo de motores. Cuanto mayor voltaje de armadura, más rápida es la rotación. Los motores industriales más pequeños se clasifican entre 90 VDC y 180 VDC. Las unidades más grandes requieren de 250 VDC o más. Los motores especiales para aplicaciones móviles se energizan con 12, 24 o 48 VDC. Otros motores más pequeños pueden tener un voltaje de operación 5 VDC.

6.1.3 Motores a pasos

Existen dos diferentes tipos de motores a pasos, los híbridos y los de reluctancia variable. Los primeros tienen la cualidad de tener una longitud de paso pequeño (1.8°), lo cual puede ser una gran ventaja cuando se necesite un posicionamiento de alta resolución. El motor híbrido es una buena opción para aplicaciones que requieren una longitud de paso pequeño y un alto esfuerzo de torsión en un espacio reducido de trabajo.

Con los motores de reluctancia variable se tiene la ventaja de poder mover una carga a distancias considerables, su longitud de paso es mayor a la de un híbrido (15°) por lo que se requiere de menos pasos para recorrer una mayor distancia.

En este tipo de motores se puede presentar un error de posición debido al par de carga, es decir, si el torque de una carga externa actúa sobre un motor a pasos cuando está parado, el motor debe desarrollar un par suficiente para equilibrar el par de la carga y el rotor, por lo tanto, es desplazado por un pequeño ángulo de la posición del paso previsto, ocasionando un error de posición estática.

6.1.3 Servomotor

El servomotor se caracterizan por su capacidad de poder ser llevados a posiciones angulares específicas, al enviar una señal codificada, dentro de un rango de operación. En la práctica, se usa servomotores para posicionar superficies de control como el movimiento de palancas, pequeños ascensores y timones. También se usan en radio control, títeres, y por supuesto, en robots.

Este motor es pequeño. Un servomotor normal o estándar ofrece un par de 3kgf*cm, lo que lo hace bastante fuerte para su tamaño. También, su potencia es proporcional a cargas mecánicas por lo que no consume mucha energía.

Tabla 6.1 Comparativo entre diferentes tipos de motores.

Motor de CA	Motor de CD	Motor a pasos	Servomotor
Ventajas: - Mecánicamente simples. - No requieren mantenimiento interno, salvo algunos engrases de los cojinetes - No es necesario el cambio de escobillas ni la limpieza interior - Mayor eficiencia energética - Bajo costo	Ventajas: - Diseño fácil de entender - Control de velocidad sencillo - Control de par sencillo	Ventajas: - Larga vida - Fácil de usar - Funcionamiento síncrono bidireccional	Ventajas: - Es sumamente poderoso para su tamaño (mucho par). - Potencia proporcional a la carga mecánica - No consume mucha energía - Mayor precisión.
Desventajas: - Control de velocidad caro	Desventajas: - En velocidades bajas es difícil controlarlo de manera fiable - Necesita un nivel de mantenimiento alto - Le entra mucho polvo	Desventajas: - Error de posición debido al torque de la carga - Ruidoso a velocidades medias o altas - Para moverse suavemente requiere de micro pasos (de difícil adquisición)	Desventajas: - No es posible cambiar las características eléctricas del motor por tanto no se puede cambiar la velocidad del mismo. - Costoso.

Para decidir qué motor se utilizará, se hace un balance entre las ventajas y desventajas de cada uno. Se eligió un motor de corriente alterna, porque satisface de la manera más adecuada las necesidades para el desarrollo del proyecto. Definido el tipo de motor, es importante caracterizarlo de acuerdo a la velocidad, par y potencia requeridos.

6.2 VELOCIDAD

Este parámetro está posiblemente limitado por la velocidad de captura por línea de la cámara. La máxima velocidad, definida en las especificaciones técnicas de la cámara, es de 38.6 kHz, es decir, la cámara puede tomar 38600 fotos en un segundo. Si se capturan 10 μm de un área a escanear, se tiene una velocidad lineal de 38.6 cm/s.

En el Sistema de Gestión Electrónica de Documentos (SGED) son normales velocidades de 1 a 5 s/pag, es decir de 29.7 a 5.94 cm/s, respectivamente. Sin embargo también se investigó la velocidad de escaneo de diferentes escáneres comerciales a la resolución deseada. En la siguiente tabla se muestra lo recopilado.

*Tabla 6.2 Velocidades de escaneo para diferentes escáneres comerciales.
ppm: páginas por minuto.*

Escáner	Velocidad
Escáner Fujitsu SS-S1300	4 ppm (A4, vertical, color, 300 dpi) \approx 2 cm/s
Canon CanoScan LiDE 210	6 ppm (A4, vertical, color, 300 dpi) \approx 3 cm/s
Escáner cama plana HP Scanjet N6350 de documentos en red	2 ppm (A4, vertical, color, 300 dpi) \approx 1 cm/s

Se eligió basándose en la tabla, una velocidad de escaneo de 3 cm/s. Este valor será la velocidad tangencial del elemento mecánico para el movimiento lineal que, para diseño será el conjunto de banda dentada y poleas que después se describirán. Esta velocidad tangencial está definida como:

$$V_T = wr \quad (31)$$

Donde

V_T : velocidad tangencial en m/s

w : velocidad angular en rad/s

r : radio.

Si se proponen, en primera instancia, poleas de radio $r = 2\text{in}$ (5.08 cm), la velocidad angular, es decir, la velocidad a la que debe girar el motor para lograr la velocidad de escaneo deseado, se calcula de la siguiente manera:

$$w = \frac{V_T}{r}$$

$$\alpha = \frac{3}{5.08} = 0.6 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\alpha = 0.6 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} \approx 6 \text{ rpm}$$

La velocidad angular resultante es de alrededor de los 6 rpm, mucho menor en comparación a la que proporcionan los motores existentes que son de 3600 o 1800 rpm, por lo que se requiere de un motor reductor, con una relación de reducción de 250:1 o más, para tener la velocidad más cercana a la deseada y después, mediante un variador de frecuencia, ajustarla. Una polea de mayor radio implicaría una velocidad angular menor y por lo tanto una mayor relación de reducción, el cual sería más difícil de conseguir.

6.3 PAR

Par = fuerza x radio (31) Para calcularlo requerimos conocer la fuerza necesaria para trasladar de un lado a otro la cámara, óptica e iluminación y conocer el radio de la polea. Debido a que las características técnicas de los motores se especifican en unidades inglesas, se manejará a la fuerza en unidades de libras y el radio en pies.

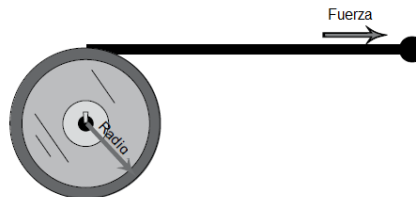


Figura 6.1 Diagrama básico de polea.

Para calcular la fuerza hay que conocer la cantidad de masa a mover, para esto, se estima el peso del conjunto carrito, soporte de la cámara (brazo), cámara, óptica e iluminación.

Tabla 6.3 Masa de los componentes para cálculo de fuerza.

Componente	Masa slug	Masa kg
Plataforma móvil	0.685	10
Brazo	1.027	15
Cámara	0.041	0.598
Óptica	0.205	3
Iluminación	0.685	10

Tornillería y de más	0.063	0.911
Masa Total	2.706	39.52

De acuerdo a la definición de peso, tenemos que:

$$W = mg \quad (32)$$

$$W = 87.13 \text{ lb}$$

Obtenido el peso a trasladar, se analizan las fuerzas que actúan sobre él para calcular la fuerza F necesaria para empujarlo. Es importante mencionar que este peso se trasladará a través de una guía lineal la cual se describirá más adelante. Las guías lineales que se utilizarán en este diseño son guías embaladas que presentan coeficientes de fricción μ entre 0.0005 y 0.005 según la carga a la cual se vayan a someter.

Un menor coeficiente de fricción significará menor fuerza necesaria para el accionamiento, es decir un motor menor y un consumo más bajo. En este caso tomaremos el valor máximo para saber el caso extremo ($\mu = 0.005$).

A partir de este coeficiente podemos evaluar la fuerza F necesaria para vencer el esfuerzo de fricción F_r , mediante la siguiente expresión.

$$F_r = N\mu \quad (33)$$

De la FIGURA 6.2 se deduce que $F_r = F$, por lo que

$$F = N\mu \quad (34)$$

Donde N es la componente normal.

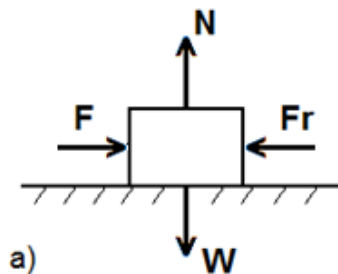


Figura 6.2 Diagrama de las fuerzas que actúan sobre el bloque a mover N : normal, F : fuerza, F_r : fuerza de fricción, W : peso.

De acuerdo a los diagramas anteriores se puede observar que la componente normal N es equivalente al peso por lo que:

$$F = \mu W \quad (35)$$

$$F = (87.13)(0.005)$$

$$F = 0.436 \text{ lb}$$

Con la fuerza obtenida, se calcula el par con la polea propuesta de radio $r = 2 \text{ in}$

$$\text{Par} = \text{fuerza} \times \text{radio}$$

$$\text{Par} = (0.436)(2)$$

$$\text{Par} = 0.8723 \text{ lbin}$$

$$\text{Par} = 0.0726 \text{ lbft}$$

6.4 Potencia

La potencia es la razón de la cantidad de trabajo realizado en un periodo de tiempo y puede ser expresada en libras pie por segundo o, como en la mayoría de los motores, en caballos de fuerza (hp). Esta unidad se definió en el siglo XIX por James Watt cuando encontró que un caballo, en promedio, genera alrededor de 550 libras pie de trabajo por segundo. Por lo tanto un caballo de fuerza es igual a 550 pies-libras por segundo o 33000 libras pie por minuto.

Este concepto se aplica a los motores para determinar la cantidad de caballos de fuerza necesarios para una determinada cantidad de par y velocidad, ya que un aumento de par, velocidad o ambos requerirán de mayor potencia. El par se expresa en libras pies y la velocidad en rpm y para calcular los caballos de fuerza se utiliza la siguiente fórmula.

$$\left[\text{Potencia} = \frac{\text{Par} \times \text{Velocidad}}{5252} \right] \quad (36)$$

Donde 5252 es una constante que se obtiene al dividir 33000 entre 2π .

Para nuestro par y velocidad calculados tenemos que

$$P = \frac{0.0726 \text{ lbft} \times 6 \text{ rpm}}{5252}$$

$$P = 82.94 \times 10^{-6} \text{ hp}$$

Después de haber calculado cada parámetro que caracteriza al motor, se necesita buscar uno que, se ajuste a nuestras necesidades, es decir, un motor reductor trifásico de 6 rpm por mínimo de 0.8713 lbin y potencia mínima de 82.94×10^{-6} hp .

6.5 ELECCIÓN DEL MOTOR

Se encontró un motor trifásico marca Baldor modelo GM25280 con las siguientes características:

Tabla 6.4 Especificaciones del motor BALDOR GM25280.

Velocidad de salida rpm	4.9-5.9
Relación de reducción	280:1
Máximo par lbin	400
Potencia de entrada hp	1/6

De acuerdo a sus características, se encontró que es un motor que supera a nuestros requerimientos, sin embargo el que más se ajusta a ellos, debido a que no son tan comunes los motores trifásicos fraccionarios (menores a 1 hp) y con reducciones tan grandes, además de que fue de los motores más pequeños de tamaño y peso encontrados.



Figura 6.3 Motor BALDOR GM25280.

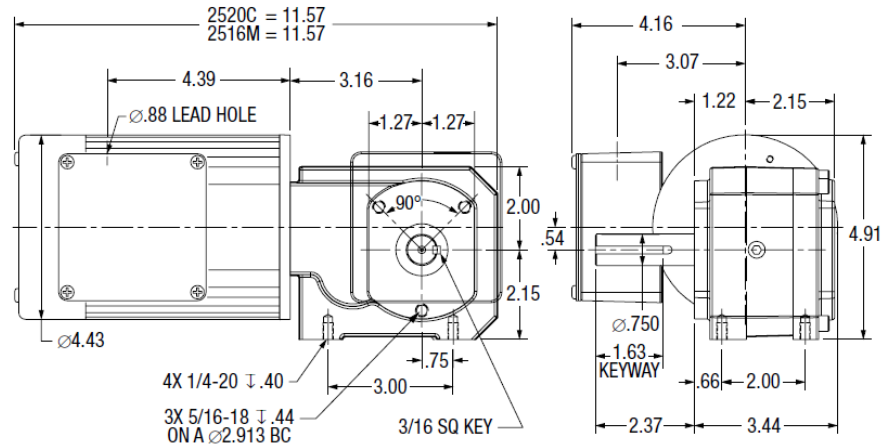


Figura 6.4 Especificaciones mecánicas, dimensiones en pulgadas, motor BALDOR GM25280.

6.6 CONTROL PARA EL MOTOR

Como ya se mencionó, se requiere de un dispositivo para ajustar la velocidad angular del motor y a su vez la velocidad de escaneo. La velocidad de un motor de CA es controlada por el número de polos, la frecuencia de alimentación, el voltaje de línea y, en algunos casos, por medio de la resistencia del rotor, sin embargo, las más utilizadas son las dos primeras.

El cambio del número de polos se puede hacer de dos maneras, la primera teniendo dos o más embobinados independientes en el motor que proveen, cada uno, de una velocidad de operación. La segunda, teniendo conexiones en los devanados del motor para cambiar los polos con una relación 2:1 para poder seleccionar una de las dos velocidades. Sin embargo, en ambos casos, la velocidad no es continuamente variable. Por ejemplo, un motor de 2 y 4 polos conectado a voltaje nominal y frecuencia de 60 Hz tiene dos velocidades síncronas, 3600 y 1800 rpm respectivamente, pero no alguna intermedia.

Por su parte, el control de frecuencia se efectúa por medio de dispositivos electrónicos de potencia llamados variadores de frecuencia, los cuales proveen las siguientes ventajas:

- Alta eficiencia a través del rango de velocidades
- Control de velocidad continuo
- El par del motor se mantiene, aún a bajas velocidades
- Se puede lograr velocidades mayores que la velocidad nominal pero con el costo de una reducción del par total disponible.

6.6.1 Variador de frecuencia

En general un variador de frecuencia consta de un rectificador, un filtro LC, un inversor alimentado por corriente continua pero al voltaje y frecuencia necesarias para hacer funcionar al motor a la velocidad deseada.

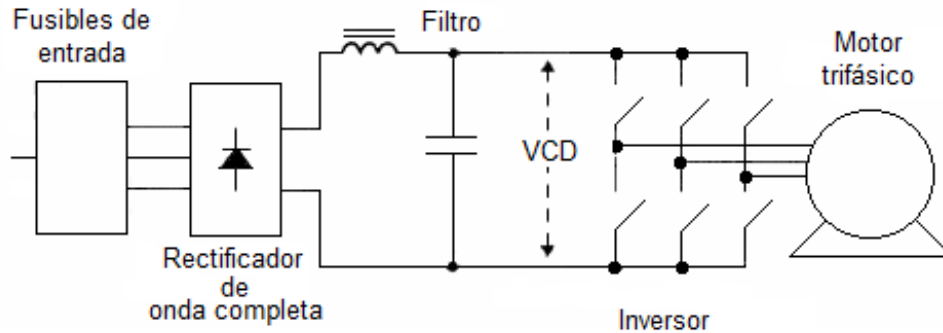


Figura 6.5 Diagrama básico de un variador de frecuencia.

6.6.1.1 Circuito de rectificado y filtrado

La entrada que puede ser una red trifásica o monofásica, es rectificada por un puente de diodos y es filtrada por un circuito LC, produciendo una onda de intensidad de corriente continua filtrada.

6.6.1.2 Circuito inversor

En la FIGURA 6.5 se muestran seis interruptores electrónicos, ya sean SCR's de alta velocidad con componentes de conmutación, transistores bipolares Darlington o transistores bipolares de compuerta aislada (IGBTs).

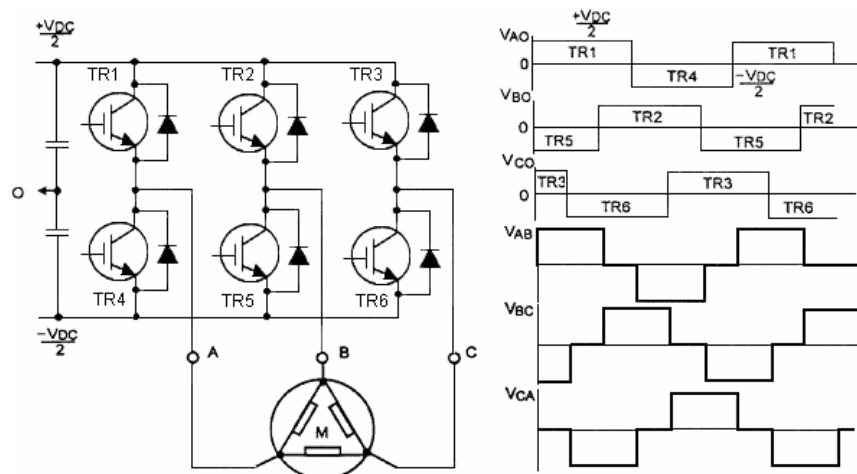


Figura 6.6 Circuito inversor, conmutaciones y formas de onda del inversor.

La conmutación de los transistores está arreglada de manera tal que cuando el transistor superior de cada rama es saturado, el inferior no lo está, y viceversa. Entonces, los puntos centrales (A, B y C) conmutan periódicamente a la frecuencia de salida requerida, entre los polos positivos y negativo obtenidos de la rectificación.

Si la conmutación en cada punto está retrasada 120 grados del punto previo, las tres formas de onda de estos puntos centrales (V_{A0} , V_{B0} y V_{C0}) son las mostradas en la FIGURA 6.6. Si se mide el voltaje entre dos puntos, por ejemplo V_{AB} , el resultado es una onda casi cuadrada, que tiende a ser una onda sinusoidal pero con un alto contenido armónico, V_{BC} y V_{CA} , son iguales pero desplazadas en fase 120 grados una de otra.

La distorsión armónica de esta forma de onda puede causar calentamiento excesivo en los embobinados del motor por lo que se requiere hacer las ondas de salida del inversor más cercanas a una onda sinusoidal y permitir el ajuste de la tensión de salida eficaz (rms), para esto se utiliza algún tipo de modulación, en varios casos, la modulación sinusoidal.

La modulación sinusoidal consiste en comparar una onda triangular con una onda sinusoidal, cuando la onda sinusoidal excede la onda triangular, el interruptor superior de la fase del inversor es energizado. Cuando la onda triangular excede la onda sinusoidal, el interruptor inferior es energizado. La forma de onda de la corriente resultante en el motor es más cercana a una onda sinusoidal, sin embargo sigue teniendo cierta distorsión a consecuencia de la señal triangular (portadora).

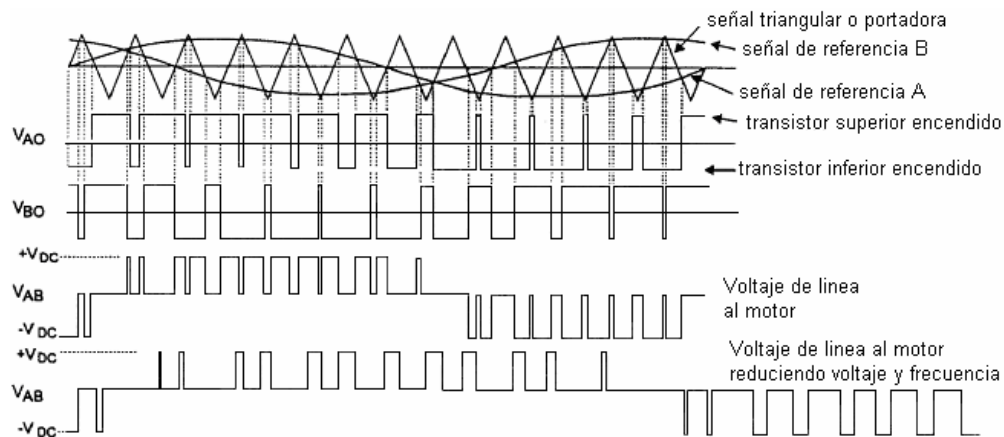


Figura 6.7 Modulación sinusoidal.

Para tener la menor distorsión posible, la frecuencia de la portadora debe ser al menos 20 veces la frecuencia de salida y un múltiplo de tres veces la frecuencia de salida para asegurar la simetría de tres fases. La frecuencia de modulación máxima está limitada por las pérdidas de los dispositivos de conmutación.

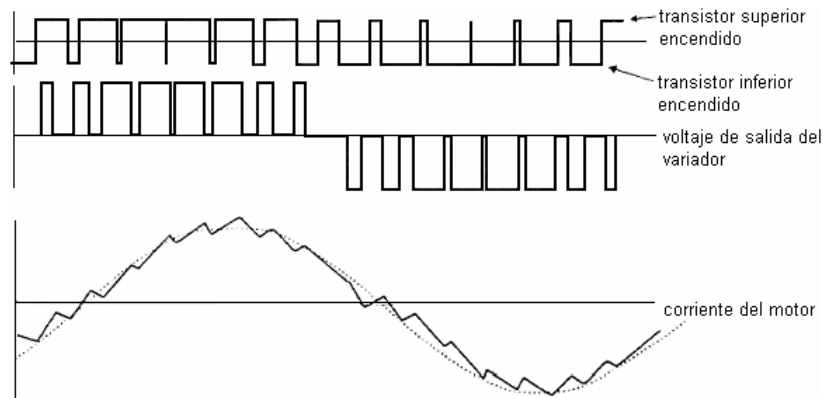


Figura 6.8 Forma de onda de intensidad de corriente del motor como resultado de la modulación sinusoidal.

Para que la intensidad de corriente que circula por el motor sea lo más sinusoidal posible, la conmutación de los interruptores debe ser de 2 a 20 kHz, de forma que la propia inductancia del motor atenúe las componentes armónicas.

Basándose en el principio de funcionamiento del variador de frecuencia, y de acuerdo al motor seleccionado, se requiere de un variador de frecuencia con entrada monofásica (120 V) para conectarla a la línea directamente y salida trifásica para alimentar al motor con una potencia de $1/6 \text{ hp} = 0.124 \text{ kW}$.

En el mercado, encontramos el variador de frecuencia Altivar ATV12H018F1 de 0.18kW, alimentación monofásica de 120 V y salida trifásica de 240 V. Este variador integra de forma estándar el protocolo de comunicación MODBUS, al que se puede acceder a través del conector RJ45. El variador tiene la ventaja de tener una placa para montarlo en la superficie de cualquier marco de la máquina en donde se vaya a ocupar, además de pesar sólo 700 gramos.



Figura 6.9 Variador de frecuencia Altivar ATV12Ho18F1.

6.7 ELEMENTO MECÁNICO PARA MOVIMIENTO LINEAL

En el mercado existen diferentes elementos mecánicos de transmisión de potencia y posicionamiento lineal, y que comprenden bandas dentadas y tornillos sin fin. Para elegir lo más apropiado para la aplicación comparamos sus ventajas y desventajas.

6.7.1 Banda dentada y polea

La banda dentada se utiliza cuando debe coincidir con precisión el movimiento de los ejes de entrada y salida. Con este elemento se tienen potencias de salida considerablemente mayores que cualquier otro sistema de transmisión de potencia, transmisión directa de alto rendimiento, ahorro de espacio, reducción de peso y gastos, además, no hay necesidad de mantenimiento, es decir, no se necesita lubricar ni volver a tensar. Las transmisiones por correa síncrona o banda dentada tienen un 98% de eficiencia durante toda su vida útil.

La banda dentada se engranan con poleas dentadas del mismo paso y ancho para lograr un engranaje positivo con las ranuras de la polea. Los dientes entran y salen de las ranuras de manera suave y uniforme, con baja fricción reduciendo así el ruido y la acumulación de temperatura.

6.7.2 Tornillo sin fin

Los tornillos sin fin ofrecen la oportunidad de desplazar cargas transformando movimiento rotatorio en movimiento lineal. Los tornillos tienen uno ó más circuitos de bolas ínter espaciados entre una flecha con cuerda (tornillo) y una tuerca. Al girar el tornillo ó la tuerca las bolas ruedan en ranuras helicoidales formadas por la cuerda. Cada circuito tienen un elemento de retorno (tubo, inserto, etc.) que permite circular las bolas para formar una trayectoria continua.

Estos elementos son compactos, de fácil instalación y de diseño simple pero requieren de mayor potencia para funcionar.

Tabla 6.5 Cuadro comparativo entre diferentes elementos mecánicos para movimiento lineal.

Banda dentada y poleas	Tornillo sin fin
Ventajas: <ul style="list-style-type: none">• Alto rendimiento• Reducción de espacio y peso• Sin necesidad de mantenimiento• No requiere lubricación ni volver a tensar• Poco ruido de operación	Ventajas: <ul style="list-style-type: none">• Compactos• Fácil instalación• Soportes y apoyos simples

<ul style="list-style-type: none"> • Gran eficiencia durante toda su vida útil • Económico 	
Desventajas: <ul style="list-style-type: none"> • Tensión adecuada para el correcto funcionamiento 	Desventajas: <ul style="list-style-type: none"> • Mayores requerimientos de potencia • Costo elevado

6.7.3 Elección del elemento mecánico para el movimiento lineal

Basados en las necesidades y presupuesto, existe un conjunto de banda dentada y poleas como el elemento mecánico para el movimiento lineal de la cámara e iluminación.

Las especificaciones necesarias para elegir la banda dentada incluyen el paso, número de dientes y ancho. El paso de la banda es la distancia entre dos centros dentados adyacentes sobre la línea de paso de la banda.

Para las poleas, las dimensiones principales son el paso, número de ranuras y ancho. En la polea dentada, el paso es la distancia entre los centros de las ranuras y se mide en el círculo de paso de la polea, el cual coincide con la línea de paso de la banda correspondiente. El diámetro de paso de la polea es siempre mayor que el diámetro exterior.

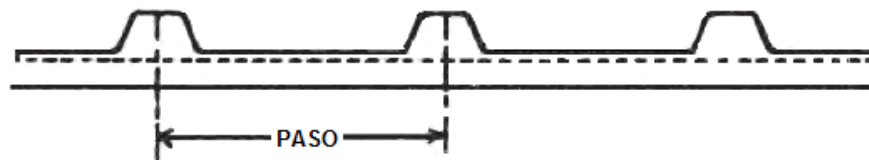


Figura 6.10 Paso de banda y polea.

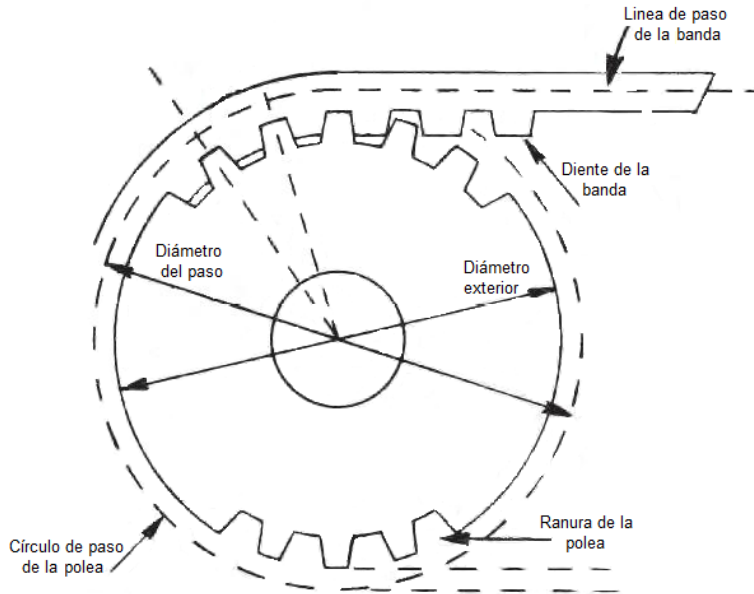


Figura 6.11 Dimensiones principales del conjunto banda – polea.

Para el paso, tanto de la polea y la banda se utilizó la siguiente gráfica:

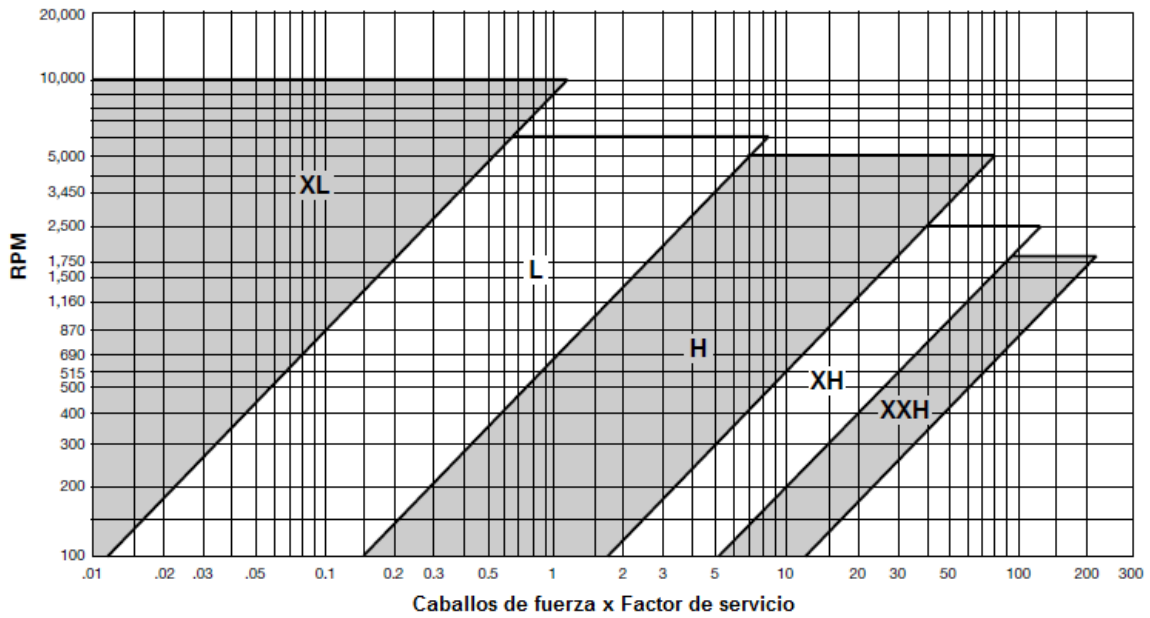


Figura 6.12 Gráfica para elección del paso de polea y banda dentada.

Con nuestro motor se tiene una velocidad síncrona de 5.9 rpm, y 1/6 de hp, el parámetro faltante para determinar el punto de intersección y definir así el paso, es el factor de servicio.

El factor de servicio SF es un factor que representa la capacidad a la que un motor puede funcionar sin sobrecargar o dañar su núcleo o componentes. Un factor de servicio igual a 1 significa que el motor no puede funcionar a más potencia que su nominal, sin riesgo de sobrecalentamiento. Del mismo modo, si el factor de servicio es de 1.25 quiere decir que el motor puede funcionar un 25% sobre su potencia nominal.

El factor de servicio estándar para los motores NEMA (National Electrical Manufacturers Association) es de 1. Sin embargo existe una tabla de NEMA en la que interviene la potencia y la velocidad síncrona en rpm.

Tabla 6.6 Potencia vs Factor de Servicio.

Potencia, P, en hp	Factor de servicio - SF			
	Velocidad síncrona rpm			
	3600	1800	1200	900
1/6, 1/4, 1/3	1.35	1.35	1.35	1.35
1/6	1.25	1.25	1.25	1.25
3/4	1.25	1.25	1.15	1.15
1	1.25	1.15	1.15	1.15
1 1/2, y superiores	1.115	1.15	1.15	1.15

De acuerdo a esta tabla y la potencia del motor, el factor de servicio es 1.35, por lo que

$$P \times SF = \left(\frac{1}{6}\right)(1.35) = 0.225 \quad (37)$$

Con este resultado y la velocidad síncrona del motor corresponde a utilizar un paso H (0.5 in), según la tabla.

Para la polea, el número de dientes depende del tamaño del paso y del perímetro de la polea. Como nuestra polea es de diámetro $d=4in$, el perímetro P de ésta es

$$P = d\pi \quad (38)$$

$$P = 4\pi = 12.56in$$

Para obtener el número de ranuras se divide el perímetro entre el tamaño del paso

$$\text{Número de ranuras} = \frac{12.56}{0.5} \approx 25 \text{ ranuras}$$

Sin embargo, las poleas se seleccionan con un número de dientes par, así se eligió una polea de 24 dientes, es decir, de diámetro $d=3.82 in$. Para este paso el ancho de la polea

va de 1 in a 3 in, de acuerdo a las necesidades y por recomendación del proveedor, se adquiere una banda y polea de ancho igual a 1in.

Con las dimensiones requeridas para hacer el pedido, se utilizarán poleas *Martin* 24H100.

6.8 ENCÓDER

Como ya se mencionó, el encoder se utilizará para controlar el movimiento de la cámara y para activar, con su señal de salida, la adquisición de la línea.

Para el cálculo de los parámetros de elección se siguen los siguientes pasos:

Paso 1.

Calcular la magnificación necesaria en cada línea para capturar el ancho completo del objeto a escanear (área de interés AOI); esta magnificación β es la misma que se definió en el capítulo de la óptica

Para nuestro caso

$$\beta = 0.0974$$

Paso 2.

Calcular el paso mecánico, es decir, la distancia que se debe mover la cámara para mover la imagen 10 μm (este valor es definido por el modo de adquisición)

$$\text{Paso mecánico} = \frac{10}{\beta} = \frac{10}{0.0974}$$

$$\text{Paso mecánico} = 0.102 \text{ mm}$$

Lo anterior es para escanear una hoja de tamaño A0, sin embargo, para darle versatilidad al diseño se calcula también el paso mecánico para hojas de menor tamaño.

- Para el tamaño A1 (594mm de ancho):

$$\beta = \frac{81.92}{594} = 0.1379$$

$$\text{tamaño del paso mecánico} = \frac{0.010}{0.1379} = 0.072 \text{ mm}$$

- Para el tamaño A2 (420mm de ancho):

$$\beta = \frac{81.92}{420} = 0.1950$$

$$\text{tamaño del paso mecánico} = \frac{0.010}{0.1950} = 0.051 \text{ mm}$$

- Para el tamaño A3 (297 mm de ancho):

$$\beta = \frac{81.92}{297} = 0.2758$$

$$\text{tamaño del paso mecánico} = \frac{0.010}{0.2758} = 0.036 \text{ mm}$$

Observamos que el paso varia de 0.036 a 0.102mm por lo que se propone un paso base para el encoder de 0.001mm, esto con la finalidad de utilizar múltiplos de éste y obtener así los pasos mecánicos requeridos.

El paso del encóder queda definido por:

$$\text{Resolución del encóder} = \frac{\text{Perímetro de la polea}}{\text{Paso del encóder} \times \text{Relación de reducción del motor}} \quad (39)$$

Esta fórmula representa la relación que existe entre el giro de la polea, el giro del motor y los pasos recorridos por el encóder por cada revolución, es decir, por cada vuelta de la polea el motor da 280 debido a la reducción y dependiendo de la posición del encóder (ya sea a la salida de la reducción o a la del motor), éste divide un ciclo entre el número de pasos de su resolución.

Donde:

$$\text{Perímetro de la polea} = 304.8 \text{ mm}$$

La resolución del encóder (número de pasos) necesaria para conseguir el paso de 0.001 mm, tomando en cuenta que se montará el encoder a la salida de la reducción, donde una vuelta de la polea es una del encoder, la relación es igual a 1.

$$\text{Resolución del encoder} = \frac{304.8}{0.001} = 304,800$$

Se observa que la resolución es muy grande para un encóder comercial, por lo tanto sería difícil adquirir algún modelo con dicha resolución por lo que , como alternativa, si se monta el encóder a la salida del motor, la relación de reducción sería 280, entonces:

$$\text{Resolución del encoder} = \frac{304.8}{(0.001)(280)} = 1088$$

Resolución que es factible conseguir en un modelo comercial de encoder. Siendo el caso del modelo de Hengstler RI58-D/1000ED



Figura 6.13 Encoder Hengstler RI58-D/1000ED.

CAPÍTULO 07

CONTROL / COMUNICACIÓN

Dada la necesidad del proyecto de integrar diferentes sistemas, es preciso diseñar un sistema de comunicación y control entre ellos. El objetivo de este capítulo es describir dicha interfaz entre sistemas basándonos en la comunicación por puerto paralelo y su programación.

7.1 DIAGRAMA GENERAL DE COMUNICACIÓN

Para cumplir con los objetivos del capítulo haremos un esquema general de los sistemas del escáner.

Como primer paso definimos un esquema general de comunicación. El siguiente diagrama muestra la red de comunicación entre los diferentes sistemas

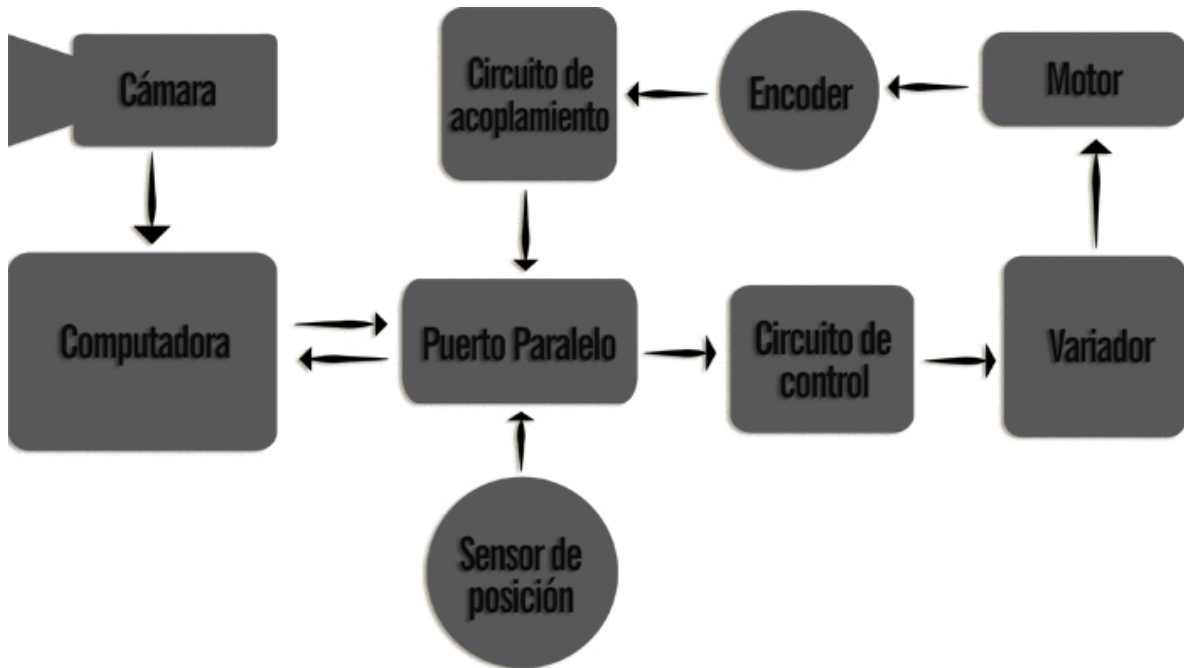


Figura 7.1 Diagrama general de comunicación.

A lo largo de este capítulo se describirá a detalle la interacción de los elementos del diagrama anterior basándose en la comunicación por puerto paralelo.

7.2 PC / PUERTO PARALELO

Siendo, junto con la PC, el nodo principal entre los sistemas de captura de imágenes, el sistema de control, el sistema mecánico y el sistema de iluminación, el puerto paralelo desempeña una función esencial en la comunicación y control del escáner, por ello es importante primero definir sus características y conceptos que nos llevarán al desarrollo de la red de comunicación.

El puerto paralelo es una interfaz física de comunicación en paralelo, usualmente usado para comunicación con impresoras, es capaz de recibir y transmitir datos al mismo tiempo.

7.2.1 Constitución física

El puerto paralelo, de acuerdo a la norma Centronics, está compuesto por un bus de comunicación bidireccional de 8 bits de datos, además de un conjunto de líneas de protocolo. Las líneas de comunicación cuentan con un retenedor que mantiene el último valor que les fue escrito hasta que se escribe un nuevo dato, las características eléctricas son:

- Voltaje de nivel alto $V_{ParaleloH} \approx 5 V$
- Voltaje de nivel bajo $V_{ParaleloL} = 0 V$
- Corriente de salida máxima = 2.6 mA
- Corriente de entrada máxima = 24 mA

El Puerto paralelo usualmente es implementado en hardware con un Puerto DB25 hembra con una disposición de pines como muestra la tabla siguiente:

Tabla 7.1 Registros del puerto paralelo.

No. de Pin (DB25)	Nombre de la señal	Registro de Entrada o Salida	Registro – bit	Invertido
1	Strobe	In/Out	Control 0 (C0)	Sí
2	Data0	Out	Data 0 (D0)	No
3	Data1	Out	Data 1 (D1)	No
4	Data2	Out	Data 2 (D2)	No
5	Data3	Out	Data 3 (D3)	No
6	Data4	Out	Data 4 (D4)	No
7	Data5	Out	Data 5 (D5)	No
8	Data6	Out	Data 6 (D6)	No
9	Data7	Out	Data 7 (D7)	No
10	Ack	In	Status 6 (S6)	No
11	Busy	In	Status 7 (S7)	Sí
12	Paper-Out	In	Status 5 (S5)	No
13	Select	In	Status 4 (S4)	No
14	Linefeed	In/Out	Control 1 (C1)	Sí
15	Error	In	Status 3 (S3)	No
16	Reset	In/Out	Control 2 (C2)	No
17	Select-Printer	In/Out	Control 3 (C3)	Sí
18 -25	Ground	-	-	-

Los registros invertidos son verdaderos en lógica negativa, si no están invertidos son verdaderas en lógica positiva. Analizando el tipo de registros:

Este tipo de registros permiten escribir valores en el puerto, en otras palabras, estos pines pueden ser utilizados para transmitir una salida específica, es posible cambiar el voltaje en pines específicos. Estos serán definidos como nuestros pines de salida. Como podemos observar en la TABLA 7.1 contamos con 8 pines de salida que van desde D0 hasta D7.

7.2.2 Registros de Estado

Estos registros son capaces de leer en el puerto paralelo un valor recibido de un periférico, por lo que estos registros pueden ser utilizados como pines de entrada y están comprendidos de S3 a S7.

Generalmente el estado normal de los registros S3 a S6 es un “1” lógico ($V_{ParaleloH}$) mientras que S7 mantiene un “0” lógico ($V_{ParaleloL}$) al estar invertido. El estado lógico de los registros S0 a S2 es fijo y depende de la configuración en el puerto en la computadora.

7.2.3 Registros de Control

Estos registros pueden ser usados de ambas maneras, permiten escribir valores en el puerto paralelo o leerlos desde el mismo. Cabe recordar que la mayoría de ellos funcionan de manera invertida. Estos pines están comprendidos de C0 a C3.

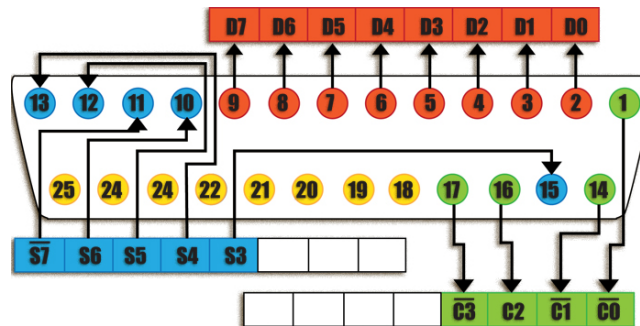


Figura 7.2 Diagrama de pines del puerto paralelo.

7.2.4 Direccionamiento del puerto paralelo y sus registros

El direccionamiento de puertos controla en gran medida la programación del mismo, es la puerta que permite que el software se conecte a un sistema externo, por lo que debemos dejar en claro las direcciones disponibles del puerto paralelo

Los sistemas operativos basados en DOS y compatibles gestionan las interfaces de puerto paralelo con los nombres LPT1, LPT2 y así sucesivamente. Las direcciones base de los tres primeros puertos son:

Tabla 7.2 Dirección de memoria de los puertos LPT.

Nombre del puerto	Inicio I/O	Final I/O
LPT1	0x378 (888 Dec)	0x37f
LPT2	0x278 (632 Dec)	0x27f
LPT3	0x3bc (956 Dec)	0x3bf

Cada uno de los rangos de direcciones mencionados en la tabla anterior tiene sus propios registros de datos, estado y control.

Como ejemplo, si requerimos acceder a los registros de datos del puerto LPT1 (0x378), entonces la dirección de dichos registros también es 0x378 (Base + 0). Por otro lado, si requerimos acceder a los registros de estado, a la dirección debe sumársele 1 (Base + 1) quedando 0x379. Para acceder a los registros de control debe accederse a la dirección 0x37A (Base + 2). La siguiente tabla muestra las direcciones en los registros en el puerto paralelo:

Tabla 7.3 Registros del Puerto Paralelo (SPP Y EPP).

Dirección	Registros	Registros de Entrada o Salida
Base + 0	Datos (SPP)	Out
Base + 1	Estado (SPP)	In
Base + 2	Control (SPP)	In/Out
Base + 3	Direcciones(EPP)	In/Out
Base + 4	Datos (EPP)	In/Out
Base + 5	No definido (Transferencia 16/32bit)	-
Base + 6	No definido (Transferencia 32bit)	-
Base + 7	No definido (Transferencia 32bit)	-

Cabe destacar que sólo las tres primeras direcciones comprenden a un puerto paralelo estándar (Standard Parallel Port SPP) y el conjunto de las ocho direcciones comprenden a un puerto paralelo mejorado (Enhanced Parallel Port EPP).

7.3 PROGRAMACIÓN PC / PUERTO PARALELO

El control entre la PC y el puerto paralelo será realizado por medio de un ambiente de programación que cuente con los medios necesarios para acceder al puerto.

7.3.1 Ambiente de programación

Para el desarrollo del software y por requerimientos del frame grabber seleccionado (Véase capítulo de Adquisición) el ambiente de programación será Visual Basic .NET bajo el sistema operativo Windows XP con el cual se tendrá el control sobre puerto paralelo.

7.3.2 Librería Inpout32.dll

La facilidad con la que se puede controlar el puerto paralelo por medio de un programa puede variar dependiendo del sistema operativo en el que se trabaje. En sistemas operativos antiguos no existen tantas restricciones para el uso de ciertas instrucciones, pero en sistemas operativos basados en el NT (WIN NT4, WIN2000, WINXP) se asignan

privilegios y restricciones dependiendo del tipo de programa que se esté corriendo. Se clasifican a todos los programas en dos categorías, modo usuario y modo kernel. Los programas que se escriben generalmente caen en la categoría del modo usuario. Esta categoría tienen restringido el uso de algunas instrucciones (como IN y OUT) lo cual imposibilita la lectura y escritura sobre el puerto paralelo. A diferencia de lo establecido, los programas en modo kernel no tienen ninguna restricción al ejecutar dichas instrucciones. Los dispositivos controladores son capaces de correr en modo kernel, entonces, para resolver el problema de la restricción es necesario escribir un controlador en modo kernel capaz de leer y escribir datos en el puerto paralelo y de permitir al modo de usuario comunicarse con él. Es ahí donde entra en función la librería Inpout32.dll.

Al usar una librería .dll para comunicarse con el hardware es necesario especificar las declaraciones que dicha librería necesita.

Declaración usada para leer en el puerto paralelo:

```
Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll" Alias "Inp32" _  
    (ByVal PortAddress As Integer) As Integer
```

Declaración usada para escribir en el Puerto paralelo:

```
Public Declare Sub Out Lib "inpout32.dll" Alias "Out32"  
    (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Integer)
```

Inp32 es una función de propósito general definida dentro del archivo Inpout32.dll para comunicarse con varias direcciones de hardware en la computadora. La función **Inp32** puede ser usada para leer los valores de cualquier dirección dada por el parámetro PortAddress.

La función **Out32** también queda definida dentro del archivo Inpout32.dll y se usa específicamente para escribir en los registros de datos.

Ahora que hemos establecido la forma de controlar el puerto paralelo por medio de un ambiente de programación en la PC, daremos paso al análisis de las señales de entrada y salida que tendremos en él.

7.4 SEÑALES DE ENTRADA AL PUERTO PARALELO

Basándonos nuevamente en el diagrama general de comunicación propuesto al inicio de este capítulo, tenemos que las señales que necesitan ser recibidas por el puerto paralelo son provenientes del encoder, de los sensores de posición y los sensores de emergencia.

7.4.1 Encoder

Este elemento permitirá llevar un control de posición del movimiento mecánico. Al estar acoplado mecánicamente a la flecha del motor (como se muestra en el capítulo de mecanismo), generará una señal digital. Dicha señal digital será una de las señales de entrada en el puerto paralelo, que una vez leída servirá como variable de control en el ambiente de programación.

El encoder es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de pulsos digitales. Estos pulsos pueden ser utilizados para controlar desplazamientos de tipo lineal o angular.

El encoder incremental normalmente cuenta con dos canales (A y B) que proporcionan dos señales cuadradas desfasadas 90° entre sí, con la lectura de un sólo canal se dispone de la información correspondiente a la posición relativa.

7.4.1.1 Hengstler RI 58 - D 1000 EF .32ib

Para realizar el control de posición utilizaremos el encoder Hengstler RI 58 - D 1000EF.32ib cuyas características específicas analizaremos a continuación:

Pulsos por revolución (PPR) 1000 PPR

Voltaje de alimentación $V_{ENC} = 10 \dots 30 \text{ VDC}$

Voltaje de salida alto $V_{OH} = V_{ENC} - 3 \text{ V}$

Voltaje de salida bajo $V_{OL} \approx 0 \text{ V}$

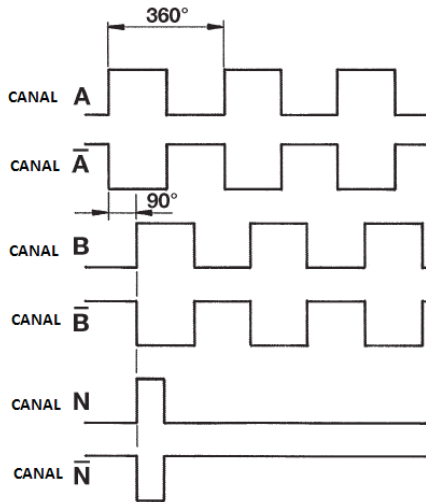


Figura 7.3 Señales de salida del Encoder Hengstler.

Teniendo la libertad de un voltaje de alimentación variable, optaremos por usar

$V_{ENC} = 10 \text{ V}$ teniendo como salida $V_{OH} = 7 \text{ V}$ y $V_{OL} \approx 0 \text{ V}$

Tomando como referencia los niveles de voltaje que admite el puerto paralelo mencionados previamente, es necesario diseñar un circuito de acoplamiento que mantenga la señal digital de la siguiente manera:

$$V_{ParaleloH} = 5 [V]$$

$$V_{ParaleloL} \approx 0 [V]$$

Para esto proponemos el siguiente circuito para los niveles altos (H):

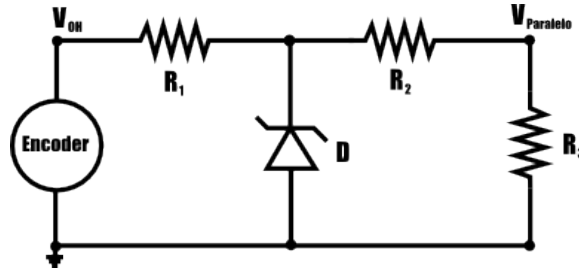


Figura 7.4 Circuito de acoplamiento Encoder / Puerto.

Donde para el nivel alto de la señal:

$$V_{ENC} = 10 V$$

$$V_{OH} = 7 V$$

$$V_{ParaleloH} = \frac{V_D R_3}{R_2 + R_3} \approx 5 V$$

Cabe señalar que el diodo zener funciona como limitador de voltaje y previene falsos cambios de nivel a causa de los picos generados por el ruido, R_1 tiene como función limitar la corriente del diodo zener y queda definida como:

$$R_1 = \frac{V_{OH} - V_D}{I_D} \quad (40)$$

De manera análoga tenemos que para los niveles bajos (L):

$$V_{ParaleloL} = V_{OL} \approx 0 V \quad (41)$$

Debe mencionarse que el encoder y el puerto paralelo compartirán la misma referencia de voltaje.

Una vez adecuada la señal del encoder a los niveles del puerto paralelo es posible generar los cambios lógicos en los registros de estado y así obtener la variable de control que represente al conteo del encoder en el ambiente de programación.

7.4.2 Sensores de posición y de emergencia

Otras de las señales de entrada en el puerto paralelo son las generadas por los sensores de posición y de emergencia, donde los primeros tienen como propósito marcar el inicio y el fin de carrera del movimiento mecánico (barrido del escaneo) y los últimos marcar el estado de paro de emergencia. Para implementar estos sensores, utilizaremos micro switches que generarán un pulso en cuanto el sistema mecánico llegue a la posición en la que se encuentran. Este pulso debe ser leído por el puerto paralelo para generar otra variable de control en el ambiente de programación.

El micro switch es un interruptor electromecánico que puede ser accionado con muy poca fuerza mecánica.

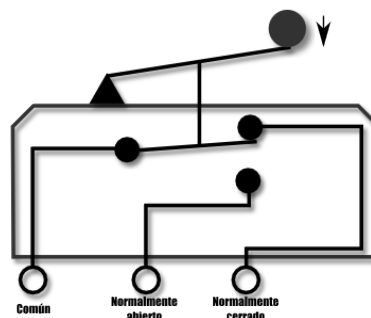


Figura 7.5 Diagrama interno de un micro switch.

Internamente contiene tres laminillas (común, normalmente abierto y normalmente cerrado), todas son conductoras y llevan la corriente por el switch. La laminilla larga articulada en uno de los extremos del switch funciona como actuador, normalmente produce un contacto eléctrico entre la laminilla “común” y la “normalmente cerrado” y al momento de ser presionada mecánicamente conmuta poniendo en contacto eléctrico las laminillas “común” y “normalmente abierto”.

Este funcionamiento será el utilizado para generar un pulso mediante el posicionamiento mecánico que pueda ser leído por el puerto paralelo.

Tomando en cuenta el estado lógico de los registros de estado no negados en el puerto paralelo (S3 a S6) y ejemplificando para S4 en una situación normalmente abierta tenemos el siguiente circuito:

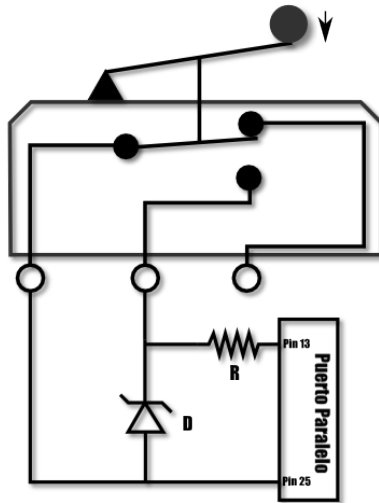


Figura 7.6 Diagrama de comunicación entre el micro switch y el puerto paralelo.

Si el switch se encuentra sin presionar, el circuito que conecta al pin S4 con la referencia del puerto paralelo (GND) está siendo regulado en nivel alto por el diodo zener, por lo tanto el estado en el registro S4 se mantiene en “1” lógico ($V_{ParaleloH}$). En el momento que el switch sea accionado (por el movimiento mecánico), cerrará dicho circuito, llevando a S4 al voltaje $V_{ParaleloL}$ ocasionando un “0” lógico. Dichos cambios de estado lógico, serán leídos en el puerto paralelo y representados por una variable en el ambiente de programación.

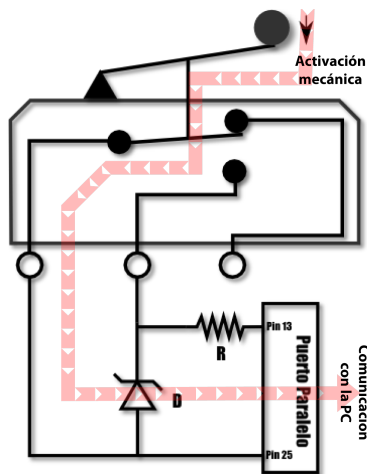


Figura 7.7 Diagrama de comunicación entre los sensores de posición y el puerto paralelo.

7.5 CONCEPCIÓN LÓGICA DE LAS SEÑALES DE ENTRADA DEL PUERTO PARALELO

Ya hemos analizado la conexión física de las señales de entrada y su acondicionamiento para poder ser leídas por el puerto paralelo, en dichos análisis se mencionó como objetivo el generar un cambio lógico traducible a una variable de programación. A continuación describiremos la lógica en el puerto que permitirá generar las variables a partir de dichas señales.

Recapitulando, sabemos que unos de los registros que podemos utilizar para recibir información en el puerto paralelo son los de estado.

Ejemplificando para el puerto LPT1 (0x378), la estructura de los registros de estado está comprendida de la siguiente manera:

Tabla 7.4 Registros de estado 0x379.

0X379							
$\overline{S7}$	S6	S5	S4	S3	S2	S1	S0
0	1	1	1	1	0	0	0

Empezando en la dirección 0x379 (Base + 1 para el puerto LPT1), el estado lógico normal de estos registros (nada conectado a ellos) es el que se muestra en la tabla. Hay que notar que no tenemos acceso físico a los registros S0 – S1 los cuales siempre tendrán un valor definido dependiendo de la configuración del puerto (para nuestro caso tomaremos este valor en 0).

Observamos que si tomamos al conjunto de los ocho registros como palabra, equivalen a un 120 Dec. Ya que este valor es equivalente a los niveles lógicos del conjunto de bits de los registros, a su vez también es equivalente a los valores de voltaje físicamente presentes en los pines del puerto.

Dado que las funciones programáticas con las que leeremos el puerto entregan este valor numérico, lo usaremos como variable de control en nuestro programa.

7.6 DISTRIBUCIÓN DE LAS SEÑALES DE ENTRADA EN LOS REGISTROS DE ESTADO

Para la implementación, solo es necesaria la lectura de los registros a los que les asignaremos las siguientes señales:

- **S3** → Señal cuadrada del encoder.
- **S4** → Pulso del switch de fin de carrera.

- S5 → Pulso del switch de inicio de carrera.
- S6 → Paro de emergencia.

Tabla 7.5 Estados posibles útiles para la asignación de señales de entrada.

0X379														
N C	N C	HO ME	FI N	EN C	X	X	X	Valor numérico			Estados			
S 7	S6	S5	S4	S3	S 2	S 1	S 0	BIN	D EC	H EX	ENCODER	SWITCH FIN	SWITCH HOME	SWITCH PARO
0	1	1	1	1	0	0	0	1111000	120	78	Nivel alto	Normalmente abierto	Normalmente abierto	No presionado
0	1	1	1	0	0	0	0	1110000	112	70	Nivel bajo	Normalmente abierto	Normalmente abierto	No presionado
0	1	1	0	1	0	0	0	1101000	104	68	Nivel alto	Presionado	Normalmente abierto	No presionado
0	1	1	0	0	0	0	0	1100000	96	60	Nivel bajo	Presionado	Normalmente abierto	No presionado
0	1	0	1	1	0	0	0	1011000	88	58	Nivel alto	Normalmente abierto	Presionado	No presionado
0	1	0	1	0	0	0	0	1010000	80	50	Nivel bajo	Normalmente abierto	Presionado	No presionado
0	0	1	1	1	0	0	0	1110000	56	38	Nivel alto	Normalmente abierto	Normalmente abierto	Presionado
0	0	1	1	0	0	0	0	1100000	48	30	Nivel bajo	Normalmente abierto	Normalmente abierto	Presionado
0	0	1	0	1	0	0	0	1010000	40	28	Nivel alto	Presionado	Normalmente abierto	Presionado
0	0	1	0	0	0	0	0	1000000	32	20	Nivel bajo	Presionado	Normalmente abierto	Presionado
0	0	0	1	1	0	0	0	1100000	24	18	Nivel alto	Normalmente abierto	Presionado	Presionado
0	0	0	1	0	0	0	0	1000000	16	10	Nivel bajo	Normalmente abierto	Presionado	Presionado

Con los valores numéricos que proporciona esta tabla de estados podremos definir la situación de los sensores de posición y el encoder en el ambiente de programación. Nota: el resto de los estados puede ser discriminado ya que físicamente es imposible que se presenten.

7.7 SEÑALES DE SALIDA DEL PUERTO PARALELO

Ya que hemos definido la comunicación los sistemas externos hacia la computadora, es momento de definir la comunicación de la computadora hacia los sistemas externos, es decir, definir la respuesta que debe tomar la computadora ante los valores de las variables que recibe. Para esto, primero, definiremos los sistemas hacia los que se debe transmitir, diseñaremos el hardware que les permita comunicarse con el puerto paralelo y generaremos variables en el ambiente de programación que proporcionen dichas señales.

7.7.1 Variador de frecuencia / Motor

Retomando nuevamente el diagrama general de comunicación observamos que los sistemas encargados de generar el movimiento mecánico son el motor y el variador de frecuencia, siendo el variador el que maneje al motor bajo las órdenes de las señales que reciba del puerto paralelo.

7.7.1.1 Baldor GM25280

Para generar el movimiento mecánico (y como se vio en el capítulo de Mecánica) utilizaremos el motor reductor trifásico Baldor GM25280 cuyas características quedan especificadas en la tabla siguiente:

Tabla 7.6 Características del motor reductor Baldor GM25280.

MODELO	GM25280
HP	0.1 – 0.12
Hz	50 – 60
Fases	3
Volts	190/380 – 230/460
RPM 60Hz	4.9/5.9
Reducción	280:1

Dadas las características eléctricas del motor es necesario emplear un sistema para el control de la velocidad rotacional que sea capaz de entregar alimentación trifásica al motor reductor y que solo se alimente de los 127 [V] de la línea.

Para dicho sistema de control de velocidad rotacional emplearemos un variador de frecuencia sobre el cual se dará más detalle a continuación.

7.7.1.2 Altivar 12

La línea Altivar 12 son variadores de frecuencia de la marca Schneider Electric trifásico (200 ... 240 V) para motores de 0.24HP hasta 5.36HP con alimentación monofásica de

127 V. El variador no solo cumple con las características eléctricas que necesita el motorreductor sino que también presenta las siguientes ventajas:

- Fácil implementación
- Tamaño compacto
- Configuración lógica
- Fácil configuración
- Diseño durable y discreto

Tabla 7.7 Características del Variador de frecuencia Altivar 12.

MODELO	Altivar 12
Rango de potencia (50...60 Hz)	0.18...4[kW]
Alimentación	1 ϕ 100...120[V]
Salida	3 ϕ 200...240[V]
Frecuencia de salida	0.5...400Hz
Número de funciones	40
Velocidades pre configuradas	8
Entradas analógicas	1
Entradas lógicas	4
Salidas analógicas	1
Salidas lógicas	1

7.7.2 Conexión Motor / Variador

Una vez definida la compatibilidad entre el variador y el motor reductor, debemos analizar las características de configuración y conexión que nos permitan la comunicación del subsistema motor / variador. Para la implementación de este subsistema es necesario conocer la disposición física de sus bornes de conexión. Las siguientes figuras muestran las conexiones y la disposición de los bornes de alimentación en el variador y de salida hacia el motor.

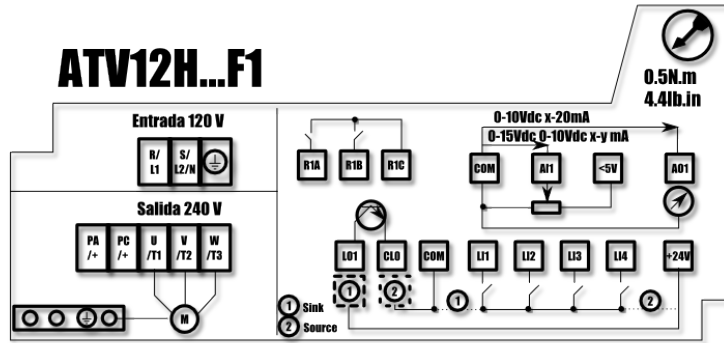


Figura 7.8 Etiquetas de cableado en el Altivar 12.

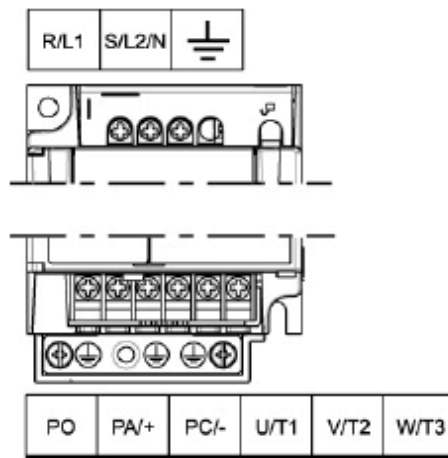


Figura 7.9 Disposición física de los borneros de potencia del Altivar 12.

La siguiente tabla presenta las características y funciones de los bornes de potencia de alimentación y de salidas hacia el motor.

Tabla 7.8 Características y funciones de los borneros de potencia.

Terminal	Función	Para ATV12
⏏	Borne de tierra	Todos los calibres
R/L1 – S/L2/N	Alimentación eléctrica	Monofásica 100...120 V
U/T1 – V/T2 – W/T3	Salidas hacia el motor	Todos los calibres

La alimentación del variador para una red monofásica de 100...120V queda definida de la siguiente manera:

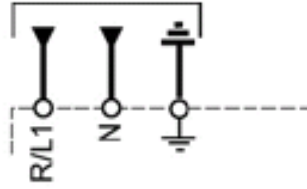


Figura 7.10 Conexión del variador con la red de alimentación monofásica.

Para las salidas hacia el motor U/T1 – V/T2 – W/T3 es necesario conocer la configuración eléctrica del motor.

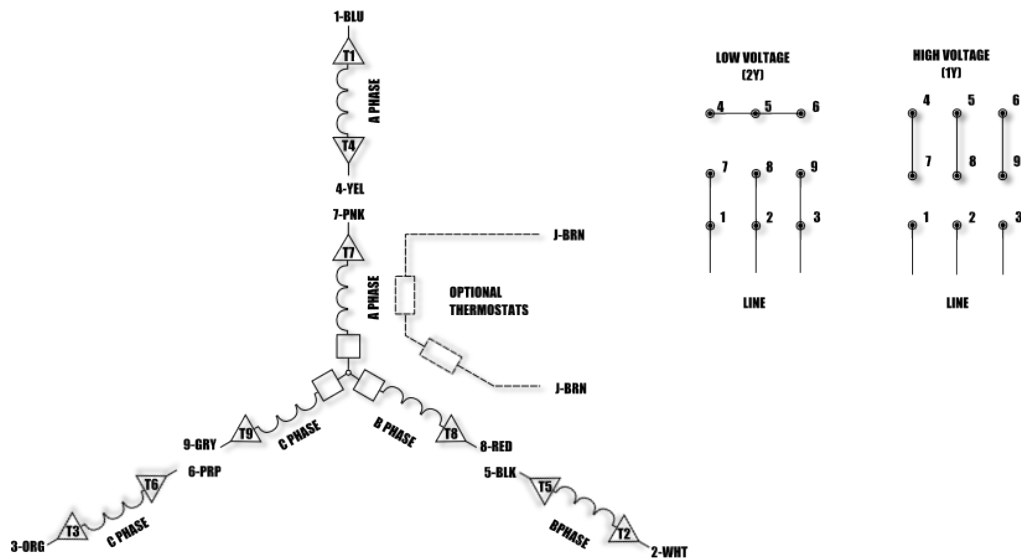


Figura 7.11 Diagrama eléctrico del motor.

De la figura anterior podemos observar que el motor puede configurarse para voltaje alto o bajo, para nuestro caso definido por el variador debemos configurar en voltaje bajo de la siguiente manera:

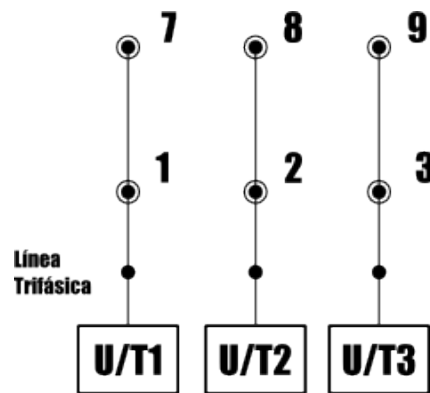


Figura 7.12 Conexión trifásica del variador con el motor.

7.7.3 Conexión Variador / Puerto paralelo

Ya que están definidas las conexiones eléctricas Moto / Variador es necesario definir la configuración de las conexiones lógicas del variador que permitan la comunicación con la computadora y el control de sus funciones. Si bien, el variador de frecuencia ofrece múltiples opciones de control y comunicación, optaremos por utilizar sus entradas lógicas para dicha implementación, esto debido a la similitud de las características de las señales del puerto paralelo con las requeridas por las entradas lógicas.

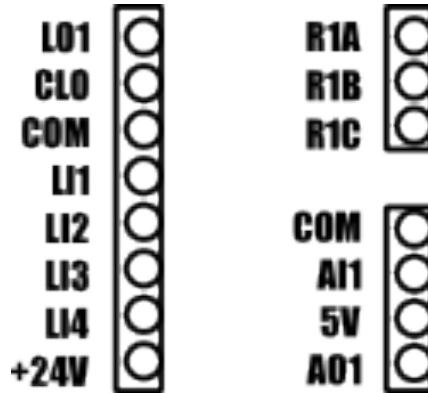


Figura 7.13 Disposición física de los borneros de control.

Tabla 7.9 Diagrama del panel de control del variador.

R1A	Contacto normalmente abierto (NA) del relé
R1B	Contacto normalmente cerrado (NC) del relé
R1C	Común del relé
COM	Común de las E/S analógicas y lógicas
AI1	Entrada analógica
5 V	Alimentación de +5 V proporcionada por el variador
AO1	Salida analógica
LO1	Salida lógica (colector)
CLO	Común de la salida lógica (emisor)
COM	Común de las E/S analógicas y lógicas
LI1	Entrada lógica
LI2	Entrada lógica
LI3	Entrada lógica
LI4	Entrada lógica
+24V	Alimentación de +24 V proporcionada por el variador

Tabla 7.10 Características y funciones de los borneros de control.

Bornero	Función	Características eléctricas
COM	Común de las E/S analógicas y lógicas	
LI1 LI2 LI3 LI4	Entradas lógicas	<ul style="list-style-type: none"> Entradas lógicas programables Alimentación eléctrica +24 V (máximo 30 V) Impedancia: 3,5 kΩ Estado: 0 si < 5 V, estado 1 si > 11 V en lógica positiva Estado: 1 si < 10 V, estado 0 si > 16 V o desconectado en lógica negativa Tiempo de muestreo: < 20 ms \pm 1 ms
+24V	Alimentación de +24 V proporcionada por el variador	<ul style="list-style-type: none"> + 24 V -15% +20% protegido contra cortocircuitos y sobrecargas. Corriente máxima del cliente disponible 100 mA

De la tabla observamos que podemos controlar las entradas lógicas con simples cambios de estado lógico causados por variaciones de potencial en el bornero respectivo LI (de manera similar a la que controlamos las señales del puerto paralelo).

Las señales de control serán generadas por los registros de datos del puerto paralelo y pasarán por un sistema de opto acoplamiento para protección del mismo en contra de cualquier malfuncionamiento del variador. Un arreglo de transistores y resistencia acondicionará la conmutación a los niveles necesarios en los borneros del variador.

Para el diseño de los conmutadores con opto acoplamiento, se propone el siguiente circuito:

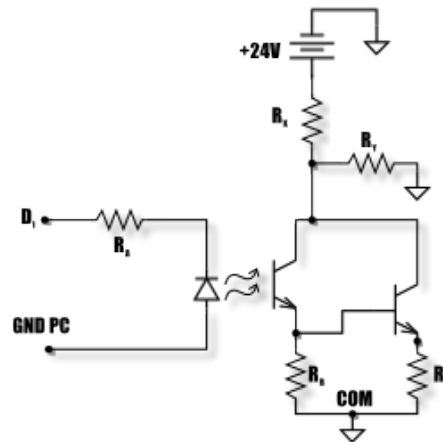


Figura 7.14 Circuito de acoplamiento de conmutación opto acoplado.

Donde R_A funciona como resistencia limitadora de corriente para el puerto paralelo.

El diagrama utiliza un transistor para realizar la conmutación dependiente de la señal D_i (que representa a cada uno de los registros de datos del puerto paralelo utilizados) causando cambio en el voltaje de L_i (que representa a cada uno de los borneros de control del variador utilizados), por lo tanto, se necesita un arreglo de opto acoplador y transistor por cada pareja de registro de control que se desea utilizar.

Todas las parejas estarán alimentadas por el variador y el arreglo de resistencias R_X y R_Y , para esto se debe de tomar en cuenta que cada bornero tiene una resistencia de $R_{L_i} = 3.5k\Omega$, por lo tanto en el caso de que los transistores estén en saturación, para un bornero, el voltaje V_S debe alimentar una carga de $R_{L_i} \parallel R_C \parallel R_B$ como muestra el circuito equivalente:

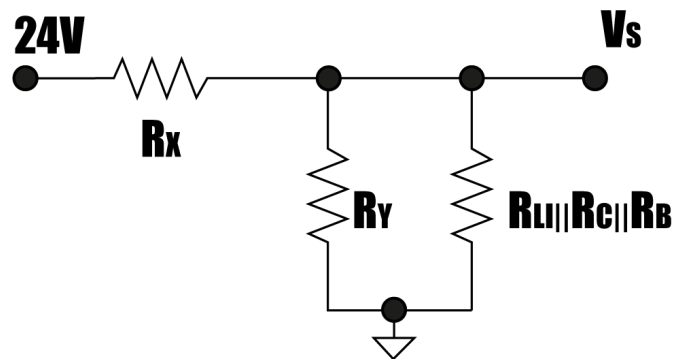


Figura 7.15 Circuito equivalente, Bornero.

Resistencia que a su vez está en paralelo con R_Y , por lo tanto la resistencia equivalente es $R_Y \parallel (R_{L_i} \parallel R_C \parallel R_B)$ como muestra la simplificación siguiente:

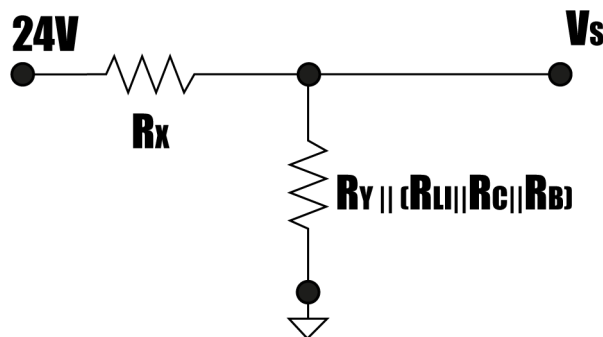


Figura 7.16 Simplificación de circuito equivalente, Bornero.

Esto quiere decir que $V_S = \frac{[R_Y \parallel (R_{L_i} \parallel R_C \parallel R_B)] \cdot 24[V]}{R_X + [R_Y \parallel (R_{L_i} \parallel R_C \parallel R_B)]} > 11[V]$ para que el voltaje en el bornero supere el mínimo necesario para que realice el cambio de estado lógico. Debe notarse que este análisis fue para el caso de utilizar un solo bornero, por cada bornero extra que se desee utilizar se debe tomar en cuenta la carga que añade.

Para representar esto definiremos la resistencia equivalente de cada bornero $R_{Li} \parallel R_{Ci} \parallel R_{Bi}$ como $R_{Bornero_i}$ entonces, la expresión queda de la siguiente manera:

$$V_S = \frac{[R_Y \parallel (R_{Bornero_1} \parallel R_{Bornero_2} \parallel \dots \parallel R_{Bornero_n})] \cdot 24 V}{R_X + [R_Y \parallel (R_{Bornero_1} \parallel R_{Bornero_2} \parallel \dots \parallel R_{Bornero_n})]} > 11 V \quad (42)$$

Donde n llega hasta 4 que es el número máximo de borneros que se pueden utilizar en el variador de frecuencia.

7.8 CONCEPCIÓN LÓGICA DE LAS SEÑALES DE SALIDA DEL PUERTO PARALELO

Una vez teniendo la conexión física de las señales de salida del puerto paralelo, y de manera análoga a las señales de entrada vistas antes en este capítulo, daremos paso a definir las lógicamente. Para esto usaremos los registros de datos.

Nuevamente para el puerto LPT1 (0x378), la estructura de los registros de datos está comprendida de la siguiente manera:

Tabla 7.11 Registros de estado 0x378.

0X378							
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	0	0	0	0	0	0

Empezando en la dirección 0x378 (Base + 0 para el puerto LPT1).

Tomando el conjunto de los ocho registros como palabra podemos referirnos a su estado lógico con un valor numérico, siendo este valor equivalente a los niveles de voltaje en los pines de salida del puerto paralelo.

Dado que las funciones programáticas con las que escribiremos en el puerto son comandadas por este valor numérico, lo usaremos como variable de control en nuestro programa.

7.8.1 Distribución de las señales de salida en los registros de datos

Para la implementación definiremos la escritura de cuatro de los registros, a los que les asignaremos las siguientes señales:

- D0** Avance hacia adelante (En variador de frecuencia).
- D1** Avance en reversa (En variador de frecuencia).

- D2** Cambio de velocidad (En variador de frecuencia).
- D3** Control de iluminación (Más detalles en capítulo de iluminación).

La siguiente tabla describirá todos los estados posibles útiles para esta asignación.

Tabla 7.12 Estados de señales de salida.

0X378								Valor numérico			Estados	
X	X	X	X	ILU M	VEL 2	RE V	FW D	BIN	DE C	HE X	Variador de frecuencia	Iluminación
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	1000	8	8	Parado	Atenuada
0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	Avance hacia adelante	Normal
0	0	0	0	1	1	1	0	1110	14	E	Avance en reversa con cambio de velocidad	Atenuada

Con los valores numéricos que proporciona esta tabla de estados podremos controlar la situación del variador de frecuencia y la iluminación bajo el ambiente de programación desde la computadora.

Ahora para lograrlo debemos configurar al variador de frecuencia para asignar sus borneros de control a las funciones definidas.

Retomando el hecho de que el variador cuenta con cuatro borneros lógicos y que necesitamos tres de ellos para asignarlos a los registros de estados D2, D1 y D0 que controlaran el avance, la reversa y el cambio de velocidad respectivamente establecemos la siguiente tabla de relaciones:

Tabla 7.13 Asignación de registro de estados a borneros de control.

Registro de estado	Asignación de bornero de control
D0	L1
D1	L2
D2	L3

De acuerdo con las características del variador existen macro configuraciones que proporciona el medio más rápido para configurar un conjunto de parámetros adecuados para un campo específico de aplicación, para nuestro caso dicha macro configuración es la de "velocidad" que asigna los borneros LI a una velocidad preseleccionada como se muestra a continuación:

Tabla 7.14 Control de 2 hilos.

Entrada/salida o parámetro	Macro configuración de Velocidad
L1h (2 hilos)	Avance
L2h (2 hilos)	March.atrás
L3h (2 hilos)	2 vel. preselecc.
L4h (2 hilos)	4 vel. preselecc.
L1h (3 hilos)	Parada
L2h (3 hilos)	Avance
L3h (3 hilos)	March.atrás
L4h (3 hilos)	2 vel. preselecc.
SP2	(Vel. preselecc.2)
SP3	(Vel. preselecc.3)
SP4	(Vel. preselecc.4)

Utilizando el tipo de control de 2 hilos, el estado abierto o cerrado de la entrada controla el funcionamiento o paro, donde L11 representa el avance, L12 la marcha atrás y el juego lógico de 2 bits en L13 y L14 las velocidades preseleccionadas. Nuevamente tomando en consideración una lógica de nivel positivo donde las entradas están activas (estado 1) a una tensión igual o mayor que 11V y están inactivas (estado 0) cuando el variador está desconectado o a una tensión menor que 5V.

CAPÍTULO 08

ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

En este capítulo hablaremos sobre los elementos que componen la parte de adquisición, almacenamiento y procesamiento de la imagen, así como también los diferentes formatos que existen para guardar la imagen. Hablaremos de los softwares involucrados en todo este proceso, desde los softwares de configuración de cada elemento hasta el software encargado de coordinar a todos, hablamos de CCT+, Intellicam, Visual Basic.

8.1 ELECCIÓN DE FRAME GRABBER

La cámara elegida para el proyecto es la Basler 8k posee una salida de datos con el estándar Camera Link, para poder enviar 8 bits en tres capas de color, es necesaria usar una configuración Full de Camera Link, esto significa que son necesarios dos cables para poder transmitir, en la búsqueda de frame grabbers encontramos a la empresa Matrox Imaging que nos ofrece gran variedad de productos entre ellos se localizó la familia de frame grabbers Helios, que poseen dos entradas Camera link, las cuales pueden ser usadas para dos cámaras independientes en una configuración Base, o una sola cámara en una configuración Base/Medium/Full. Y en cualquiera de las dos formas puede operar a velocidad completa Camera Link.



Figura 8.1 Frame Grabber Helios eCL/XCL.

8.1.1 Características del Frame Grabber Helios eCL/XCL

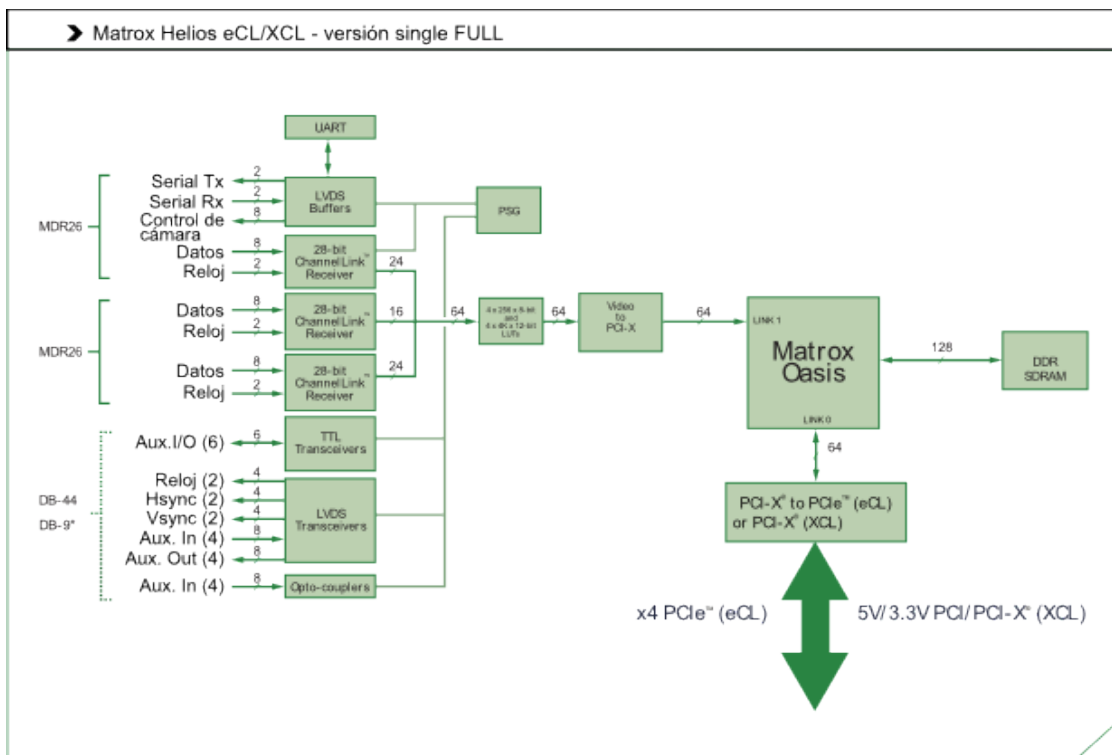


Figura 8.2 Diagrama funcionamiento a bloques de Frame Grabber Helios eCL/XCL.

- Al poseer dos entradas Camera Link puede funcionar con dos cámaras en una configuración Base, o con una cámara en configuración media o completa.
- Resolución de 8192 píxeles/línea @39k líneas/segundo.

- Su conexión XCL permite un intercambio de información con la computadora receptora.
- Los puertos seriales pueden ser leídos desde el ordenador como puertos COM. Estos puertos seriales nos permiten usar un disparador externo a la cámara, frame grabber, o la misma computadora.
- Se puede programar mediante el uso de la librería MIL.
- Contiene un procesador que ayuda en el pre-procesamiento y a dar formato a la imagen liberando a la computadora de un trabajo excesivo

El frame grabber o tarjeta de video debe ser instalada en la computadora (Host) vía un puerto PCI-X y este será el intermediario entre la cámara y la computadora, podrá realizar almacenado, o pre procesamiento, librando de esta forma al procesador de la computadora.

El frame grabber además viene equipado con una tarjeta I/O extra que puede o no ser instalada, esta tarjeta nos ofrece la posibilidad de tener un puerto DB-9 y uno Db-44. Esta tarjeta se conecta directamente mediante un cable a nuestra tarjeta de video o frame grabber, y nos ofrece la posibilidad de obtener señales o enviar señales de control a nuestro digitalizador, ofreciendo la posibilidad de proporcionar un trigger, (disparador) ya sea de exposición, cuadro, o línea. Con esto contamos con la posibilidad de usar el encoder que está sujeto al motor, para decidir cuándo adquirir imagen y cuando no.

Al usar la configuración Full nos permite adquirir datos de una sola cámara hasta 64 bits. La cámara puede ser, por cuadro, campo o de línea.

Tabla 8.1 Características de conexión Frame Grabber Helios eCL/XCL.

	Video sources supported
Camera Link Standard	<ul style="list-style-type: none"> • Eight tap x 8-bit. • Four tap x 8/10/12-bit. • One 3 x 10/12-bit (RGB).
Not Camera Link Standard	<ul style="list-style-type: none"> • 8 tap x 8-bit with time-multiplexing (using only 2 receivers). • Four tap 10/12-bit with time-multiplexing. • Two tap x 14/16-bit. • One 3 x 14/16-bit (RGB). • Two 3 x 8-bit (RGB) (genlocked).

8.2 SOFTWARE

8.2.1 Software Basler Camera link Configuration Tool Plus (CCT+)

Este programa es una plataforma que permite configurar nuestra cámara de una manera sencilla, ya que tiene todos los parámetros de la cámara; para escoger de manera correcta los valores necesarios para la interacción con el frame grabber y el ordenador. Todos estos parámetros compartidos deben estar coordinados para una buena captura de imagen.

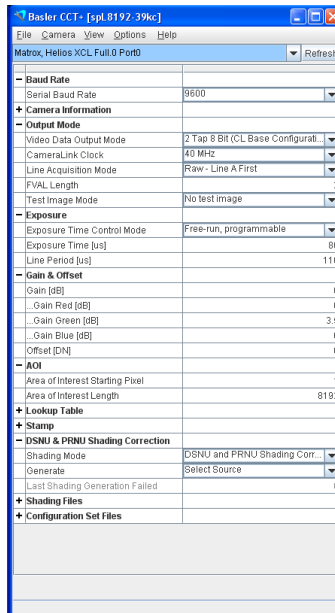


Figura 8.3 Vista del Software Basler Camera link Configuration Tool Plus (CCT+).

El uso de este software es sólo para la configuración inicial de la cámara una vez configurada no es necesario volver a usar este programa. En caso de ser necesario cambiar algún parámetro durante el uso de la cámara, es posible acceder a estos mediante nuestro programa principal, haciendo uso de los puertos Camera Link para enviar la información necesaria a nuestra cámara.

8.2.2 Software Frame Grabber INTELLICAM

Este software es un ambiente gráfico que permite explorar las posibilidades del frame grabber, y hacer pruebas preliminares para la compatibilidad de la cámara y el frame grabber. El programa nos permite crear un archivo con extensión CDF (digitizer configuration format) este archivo contendrá todos los parámetros necesarios para que exista una comunicación entre la cámara y el frame grabber. Una característica importante de esto es que a través de la librería MIL, en nuestro programa general, aquel que dirija la computadora, se podrá modificar a cualquier parámetro de nuestro frame

grabber a través de funciones predefinidas dando la posibilidad de cambiar o ajustar los procesos de la manera deseada.

Este programa solo se usa para configurar el archivo DCF deseado que se ajuste a las necesidades de la aplicación. Hay varias opciones para la adquisición de datos que debemos contemplar:

1. *Modo de escaneo por cuadros (frames)*

- Modo continuo: Este modo transmite video continuo, esto significa que la cámara está en modo libre. La razón por cuadro es fija y depende de los ajustes de la cámara.

2. Modo de escaneo de línea

- Modo de escaneo de línea fijo.
- Modo de escaneo de línea variable.
- Modo de escaneo de línea variable usando Encoder.
- Modo de escaneo de línea fijo con disparador de cuadro.
- Modo de escaneo de línea variable con disparador de cuadro.
- Modo de escaneo de línea variable con disparador de cuadro usando Encoder.
- Modo de escaneo de línea fijo con tamaño de cuadro variable.
- Modo de escaneo de línea variable con tamaño de cuadro variable.
- Modo de escaneo de línea variable con tamaño de cuadro variable usando Encoder.
- Modo de escaneo de línea fijo con área de interés (AOI).
- Modo de escaneo de línea variable con área de interés (AOI).
- Modo de escaneo de línea variable con área de interés usando Encoder.

Y finalmente veremos a detalle los dos modos que nos brindan solución a nuestro proyecto:

3. Modo de escaneo de línea fijo

- También llamado modo libre (free-running). Este modo se usa cuando conocemos que el movimiento, ya sea de la cámara o del objeto, es constante. Este modo es muy usado para saber si el funcionamiento de nuestra cámara es el correcto, pero puede no ser útil para determinar tamaños de objetos.
- Velocidad de línea: esta frecuencia está dada por la señal periódica Exposure1 (ExSync) El máximo valor que puede alcanzar es 39kHz.

- Tiempo de exposición: La exposición en este modo está dada por el nivel bajo de nuestra señal ExSync, Este valor puede ir desde los 12.5 ns hasta los 210 ms.
- Comunicación con la cámara: Se puede trabajar con una señal ExSync o en modo libre.

Tabla 8.2 Parámetros y configuraciones del escaneado de línea fija.

Parámetro	Configuración
Modo de salida de video	2 taps, 12 – bits o 4 taps, 12 – bits, u 8 taps, 8 – bits o 6 taps RGB, 8 – bits, o 3 tap RGB, 10 – bits
Reloj Camera Link	80 MHz o 40 MHz
Modo de adquisición de línea	Raw – Line First o RGB
Modo de control de tiempo de exposición	ExSync o modo Libre

- Diagrama de tiempo:

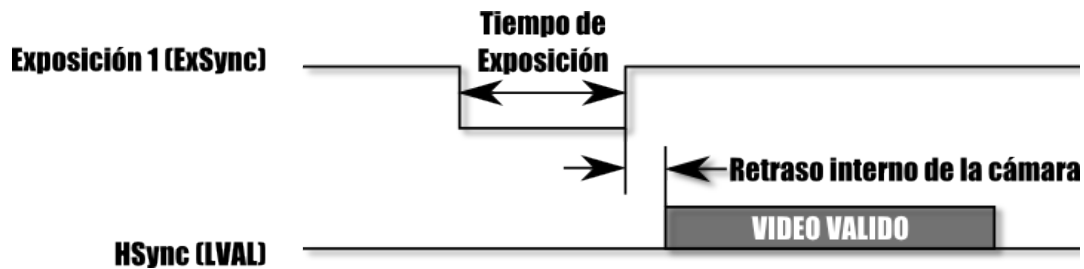


Figura 8.4 Diagrama de tiempo de Frame Grabber Helios eCL/XCL.

4. Modo de escaneo de línea variable con Encoder

- Velocidad de línea: La velocidad de línea es controlada por la frecuencia de la señal LVDS del Encoder. Es posible hacer una decimación y así tener una captura cada cierto número de pasos del encoder.
- Tiempo de exposición: Igual al modo de línea fijo.
- Comunicación con la cámara: Trabaja con todos los modos ExSync.

Tabla 8.3 Parámetros y configuraciones del escaneado de línea variable.

Parámetro	Configuración
Modo de salida de video	2 taps, 12 – bits o 4 taps, 12 – bits, u 8 taps, 8 – bits o 6 taps RGB, 8 – bits, o 3 tap RGB, 10 – bits
Reloj Camera Link	80 MHz o 40 MHz
Modo de adquisición de línea	Raw – Line First o RGB
Modo de control de tiempo de exposición	ExSync, Controlado por nivel

- Diagrama de tiempo

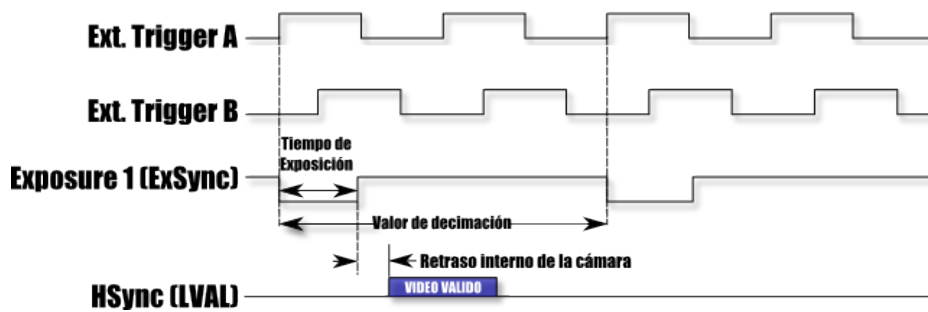


Figura 8.5 Diagrama de tiempo (La decimación es de 8).

8.2.2.1 Cambio de resolución

Es posible modificar la resolución de nuestra imagen para poder hacer tomas mucho más rápido pero con pérdidas en la resolución, o simplemente para fijar nuestra atención a un área en específico de nuestro sensor, haciendo que sólo una parte de nuestro sensor envíe información o en su defecto combinando píxeles para hacer píxeles de mayor tamaño. Estos cambios deben ser tomados en cuenta tanto en Intellicam como en la configuración de nuestra cámara.

8.2.2.2 Número de taps y orden de bits

Este valor debe coincidir tanto en nuestro DCF como en la configuración de la cámara para que exista una correcta comunicación entre los datos entregados por la cámara y el frame grabber al momento de recibir la información.

Esta es la forma en que se transmiten los datos como hemos visto en el capítulo de la cámara, en intellicam podemos variar todos estos parámetros y dar una nueva interpretación a los datos recibidos, podemos reajustar el valor de los taps, o el orden de bits. Hay que tener en cuenta que estos cambios afectarán en la imagen recibida, ya que si cambiamos el número de taps, o regiones, significará que nuestro frame grabber modificará la forma de guardar los datos produciendo errores, por ejemplo: si tenemos una configuración 8 bit 8 taps, significa que nos manda 8 bits por cada tap y esa secuencia la acomoda directamente, lo que nos da una sola región x y una sola región y, formando así una sola imagen, con todos los valores en el orden que llegan. Pero si cambiamos los ajustes a dos regiones x significa que la mitad de valores leídos serán acomodados primero y los otros 4 después, haciendo que se de la impresión de tener dos imágenes iguales pero escaladas en el eje x.

El orden de los bits es importante ya que de este depende que el color se vea de manera correcta ya que el orden de los bits nos indica que bit se leyó de cada celda y esto significa conocer el filtro bayer que le corresponde en color, haciendo que la imagen sea mostrada correctamente en colores.

También es muy importante considerar el orden en que llegan los bits ya que si cambiáramos el orden la imagen sería interpretada erróneamente, por ejemplo si invirtiéramos el orden de los bits tendríamos la imagen espejo de lo que nuestra cámara está adquiriendo. Además que si variamos esto también tendremos que modificar el tipo de filtro Bayer que se está usando.

8.2.2.3 Filtro Bayer

La cámara posee un filtro de tipo Bayer para poder producir el color, es importante indicar en nuestro DCF el tipo de filtro que tiene nuestro sensor ya que esto hará que el software interprete los valores como son en realidad, en nuestro caso la cámara tiene un filtro Bayer del tipo RG (Red – Green), rojo verde. Al usar un filtro del tipo Bayer es necesario calibrar el balance de blancos para que los colores que vemos en nuestro ordenador sean correctos. (Más información en capítulo de cámara).

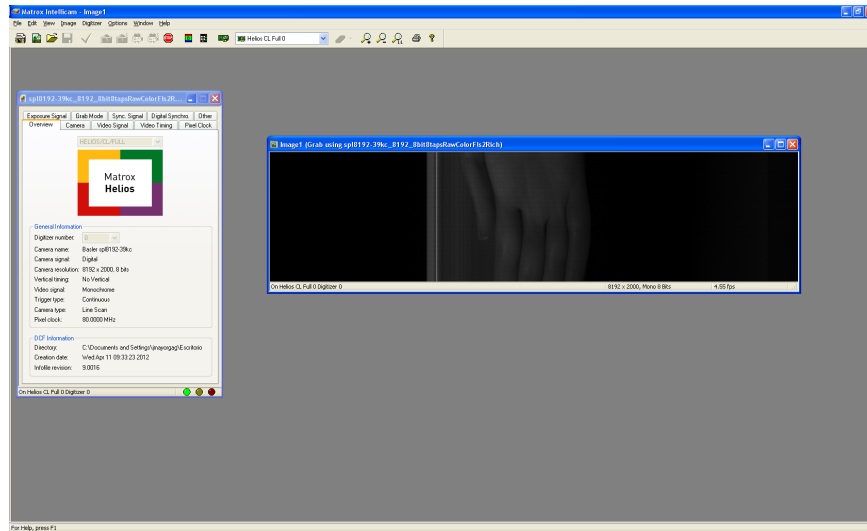


Figura 8.6 Software Intellicam.

8.2.3 Software Visual Basic

Este es lenguaje donde se realiza toda la programación referente al control del movimiento del brazo, la señal para activar el sensor, así como guardado de la imagen, y procesamiento de la misma.

Visual Basic es un entorno de programación de alto nivel, lo que permite una sintaxis sencilla. Este lenguaje permite la creación de ventanas, botones, barras, menús, de muy fácil acceso para poder entregar una aplicación ejecutable, muy amigable con el usuario. Este archivo es el encargado de leer el puerto paralelo para obtener información del Encoder, los switches de fin de carrera o cualquier botón de paro de emergencia, a su vez genera la captura de imagen, con el uso de la librería MIL, que nos permite mediante el uso de funciones sencillas hacer captura de datos, trasladarlos, y procesarlos.

8.2.4 Librería MIL

Esta librería MIL contiene funciones para poder acceder a cualquier parámetro de nuestro DCF y modificarlo, sea el caso, durante el proceso de escaneo. En nuestro caso no es necesario tal interacción con los parámetros, los que necesitamos de esta librería es lo siguiente:

- *Asignación (allocate)*, dentro de nuestro programa debemos asignar varios puntos para que podamos identificarlos rápidamente y así poder usarlos de manera adecuada. Consiste en alojar una aplicación, crea un ambiente para nuestra imagen a tratar y nos da la posibilidad de controlar y ejecutar todo lo relativo a nuestra imagen.

- *Sistema*, este nos indica qué el sistema físico que estamos usando, en nuestro caso el frame grabber que será el encargado de recibir, almacenar, procesar y/o desplegar todos los datos de nuestra cámara. Existen dos tipos de sistemas MIL. Sistema de tipo tarjeta, consiste en una tarjeta de Matrox o cualquier tarjeta compatible con la librería MIL y Sistema de tipo anfitrión, que consiste en usar el CPU y su memoria y cualquier tarjeta de video.

Cuando se aloja el sistema MIL abre un canal de comunicación e inicializa el sistema (recursos de tipo hardware), una vez que la comunicación con el anfitrión se realiza se puede alojar los recursos de memoria, desplegado y entradas.

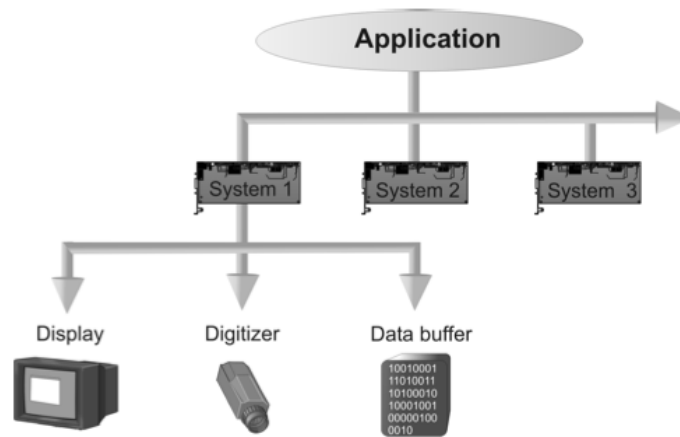


Figura 8.7 Diagrama de comunicación.

- *Buffer para imagen*, son áreas de almacenaje para guardar la información de la imagen y esta pueda ser manipulada, guardada y/o analizada. Para imágenes de color, MIL usa el concepto de bandas; el buffer necesita tener una banda por cada color de la imagen, por ejemplo si es una imagen RGB se necesitan 3 bandas.
- *Desplegado de un buffer de imagen*, debemos alojar esta característica para poder visualizar durante el proceso la imagen que estamos adquiriendo.
- *Archivo DCF*, De esta forma alojamos el archivo que concuerda con las características de nuestra cámara para poder adquirir datos de esta. Este archivo.

8.3 CAMERA LINK ESTÁNDAR

En estos días la comunicación Camera Link se encuentra en su versión 1.2, es una forma robusta de comunicación que utiliza un cable específico y un protocolo de comunicación estandarizado. Es una especificación de hardware que estandariza la comunicación entre cámaras y frame grabbers. Define toda una interfaz completa que incluye transferencia de datos, tiempos de cámara, comunicación serial, y señales en tiempo real hacia la cámara.



Figura 8.8 Distribución de pines del conector Camera Link Estandar.

Esta comunicación fue creada para tiempo real llegando a una ancho de banda de 6.8 Gbit/s de forma paralela. Este estándar permite que varios productos puedan interactuar de manera sencilla y sin necesidad de mediadores.

Hace uso de LDVS (por sus siglas en inglés Low Voltage Differential Signaling) que es un estándar de interfaz de alta velocidad y baja potencia. Usa una diferencia de señal con un swing nominal de 350 mV. Alcanza teóricamente 1.923 Gb/s en un medio de baja pérdida.

CAPÍTULO 09

COSTOS

Uno de los objetivos de esta tesis fue implementar y desarrollar el sistema de escaneo pero a un costo mucho menor que el ofrecido por empresas extranjeras.

Con base en esto, nos dimos a la tarea de investigar el costo de un producto fabricado en Francia, dicha empresa se llama i2s. La razón por la que se tomó esta empresa de referencia fue porque el Instituto de Ingeniería, a través de la Torre de Ingeniería, tuvo en una ocasión la necesidad de solicitar una cotización para adquirir este producto. Tiempo después y al notar que el costo era muy elevado se llegó a la conclusión que se podría desarrollar este sistema de escaneo en la UNAM, en vez de mandarlo traer desde el extranjero, que sin menospreciar sus productos, se consideró como una oportunidad para un grupo de alumnos de aportar algo a la Universidad.

En este apartado se tratará el asunto del costo final y una pequeña comparación del escáner fabricado en Francia en contraste con el costo que representó el proyecto Puma Escáner. Es importante resaltar que se están comparando dos productos que tienen características similares de funcionamiento.

Empresas como Spigraph (distribuidor en Europa), Infoviews (distribuidor en México) y la misma i2s (casa de fabricación) manejan un precio de venta superior a los 63,000 €. Considerando la tasa de conversión actual a pesos sería un aproximado de \$1,190,000, esto sin considerar los costos de transporte y los impuestos que éste represente. A continuación se mostrará a manera de lista todas las materias primas que se emplearon para desarrollar el proyecto Puma-Escáner:

Tabla 9.1 Costos Puma Escáner, (tasa de conversión utilizada: 1 dólar estadounidense = 12 pesos mexicanos).

CÁMARA		
	Dólares	Pesos
Cámara	10,000	\$120,000
Fuente y cables para cámara	550	\$6,600
		\$126,600
ÓPTICA		
Lente	1,500	\$18,000
Montura	840	\$10,080
		\$28,080
ELECTRÓNICA PARA ADQUISICIÓN DE IMÁGENES		
Frame Grabber	2,500	\$30,000
Frame Grabber Software	500	\$6,000
		\$36,000
ESTRUCTURAS DEL RIEL, BRAZO E ILUMINACIÓN		
Aluminio		\$13,500
Tornillería		\$500
		\$14,000
MESA		
Tabla		\$500
Formaica (cubierta)		\$1,200
PTR (estructura de metal)		\$500
Pintura, tornillos		\$300
		\$2,500
MECANISMO		
Motor	650	\$7,800
Encoder	600	\$7,200
Variador de frecuencia	450	\$5,400
Poleas		\$1,500
Banda dentada		\$2,000
Baleros		\$500
		\$24,400
ILUMINACIÓN		
LEDs	700	\$8,400
Fuente, control y otros		\$3,600
		\$12,000

En el proceso de construcción del Puma Escáner nos encontramos con productos que nos ahorrarían tiempo pero no dinero. Un ejemplo claro de esto es un módulo de movimiento lineal que nos ofreció la empresa Bosch; otro caso fue un módulo de iluminación con tecnología LED ofrecido por la empresa Graftek Imaging, que también se nos hizo bastante costoso.

A continuación, se presenta una comparación del costo de venta con el que representó el que nosotros hiciéramos el diseño y la construcción de tales partes:

Tabla 9.2 Comparativa del costo del Puma Escáner con un Escáner comercial.

COMPARACIÓN		
	DLS	Pesos
Bridge Module de Rexroth Bosch Group (módulo movimiento lineal)	15,500	\$186,000
Riel y mecanismo de Puma Escáner		\$31,812
DIFERENCIA		\$154,188
Iluminación de Graftek Imaging, Inc. (LED)	4,220	\$50,640
Iluminación de Puma Escáner (LED)		\$12,000
DIFERENCIA		\$38,640
Escáner Francés		\$1,190,000
Puma Escáner		\$220,504
DIFERENCIA		\$ 969,496

La diferencia de más de \$900,000 representa un *ahorro superior al 75%*. Esto marca una pauta muy importante en cuanto al desembolso que se debe hacer para adquirir un solo producto con estas características.

Se puede decir entonces, que se cumplió el objetivo de construir un sistema de escaneo a un costo inferior con respecto del Escáner Francés.

Es un hecho que ese costo no refleja la manufactura realizada por los alumnos e Ingenieros inmersos en el proyecto, pues de ser así el costo aumentaría en cierta medida pero aún se encontraría por debajo del precio al público ofrecido por empresas extranjeras. Para tener una idea del costo aproximado de manufactura nos apoyamos en el taller de Metal-Mecánica del Instituto de Ingeniería, aquí se realizó una investigación de cuánto sería el costo aproximado de manufactura, es decir, si se llegara a producir en masa, la respuesta que obtuvimos del 90% de las personas que aquí laboran lo siguiente: a partir del costo total de materiales e insumos para crear el producto final se acostumbra multiplicar esa cantidad por un factor de dos o tres para así obtener una utilidad y que al implementarlo en una línea de producción se refleje en ganancias para la casa constructora.

Es importante destacar que este es un producto factible de sufrir modificaciones que lo lleven a ser un producto leal para considerarlo en una línea de producción. Y una vez llevado a ese punto, se podría pensar en una patente que lo respalde por algunos años y se brinde prestigio a la casa que lo creo, la UNAM.

Este proyecto fue posible llevarlo a cabo gracias al apoyo económico del Instituto de Ingeniería a través del Dr. Gabriel Auvinet Guichard y del M.I. Edgar Sánchez Méndez, personas muy importantes en esta tarea y que sin ellos no se hubiera llegado a este punto.

A lo largo de la tesis nos encontramos con problemas administrativos al adquirir los componentes y partes del escáner, pues los tiempos de entrega eran muy largos (entre 6 y 9 semanas). Mientras se esperó que llegara hasta la última parte esencial para el funcionamiento (variador de frecuencia) se hizo la planeación de los materiales que posteriormente se comprarían, es decir, todo el aluminio, tornillería, machuelos, brocas, la estructura de la mesa etc.

La solución que se le dio a este proyecto, específicamente la parte móvil se pensó para que fuera diferente y peculiar en cuanto a funcionamiento, las soluciones alternas modificando una de las partes esenciales del escáner, es decir, con otro tipo de motor como un motor a pasos (100€≈\$1900) o servomotores (150€≈\$2850) que sean capaces de mover la carga que representa el carrito, el brazo del escáner, la iluminación y la cámara (20-25kg). Estos costos son aproximados y sólo se considera el motor, es decir, su controlador o driver aumentaría un poco el costo (100€≈\$1900). Aún así y con referencia en la Tabla X se puede concluir que es posible llegar a un costo más bajo del aquí obtenido, pero al final el proyecto tiene un toque de originalidad respecto a la forma en que se le dio solución a la parte móvil.

CAPÍTULO 10

CONCLUSIONES

Este proyecto resuelve gran variedad de problemas a los que uno se enfrenta cuando se toma la iniciativa de desarrollar un producto a partir de una idea que permita solucionar alguna necesidad. Se trató siempre de buscar la mejor opción ante los diversos problemas técnicos que se fueron presentando, pero sin descuidar lo económicamente viable.

Se implementó un escáner de gran formato (90cm x 160cm), que es superior al tamaño de papel estándar A0, con una resolución de 300 dpis para hoja A0, para lograr lo anterior se requirió de: El diseño de un sistema mecánico que realiza un recorrido de 160 cm efectivos y sobre el cual se encuentra montada una cámara de línea de 8k píxeles que nos proporciona una resolución adecuada para cubrir 90 cm de ancho del objeto a procesar. Cualquier otra cámara de resolución menor hubiera provocado un incremento en los ejes de captura para poder satisfacer una resolución mínima, además de complicar el proceso de adquisición de la imagen.

Al implementar un sistema de escaneo aéreo se disminuye, sustancialmente, el maltrato sobre el objeto a escanear, ya que este solo entra en contacto físico al colocarlo sobre la mesa y al retirarlo. Al ser un sistema de captura de imágenes a distancia se necesita de un sistema de iluminación y para esto se recurrió a la tecnología LED que fue una de las alternativas más eficientes que encontramos, pues evita que al ser usada a la potencia necesaria, el documento reciba calor excesivo al momento del proceso de escaneado.

Se encontró que el control mecánico de posicionamiento constituido por un motor de corriente alterna controlado por un variador de frecuencia, retroalimentado mediante un encoder, dos poleas, una banda dentada y dos micro switches que proporcionan un sistema muy sencillo de posicionamiento pero que a su vez cuenta con la precisión necesaria que se le demande, con la característica de saber con exactitud en qué lugar del eje de movimiento se encuentra situada la cámara en todo momento del proceso, solo bastará con una simple conversión de pasos del encoder contados.

El proyecto cuenta con diversos sistemas de seguridad, como: dos micro switches, uno al principio y otro al final del riel de desplazamiento, la finalidad de los micro switches es activarse en caso de que el sistema mecánico exceda los límites de la distancia preestablecida. Se implementaron dos botones de paro de emergencia para cualquier contingencia, ubicados en los extremos de la mesa y sin dejar de lado el sistema de iluminación, que está previsto de circuitos que evitan que los LEDs sufran daño por alguna sobrecarga al conectarse o al estar en uso.

La programación se realizó en Visual Basic, por el hecho de poder crear una aplicación basada en formas, que nos permitiera usar una interfaz de un modo muy amigable para el usuario y que pudiera ser operado por cualquier persona sin previa capacitación.

Algunos sistemas que integran este proyecto se pueden potencializar un poco más, ya que la parte de procesamiento de imagen no pudo ser avanzada en plenitud, debido a que la librería adquirida no contaba con todas las funciones necesarias para un tratamiento de la imagen idóneo, como el color de la imagen para tratar los filtros Bayer, además el uso de una señal externa para controlar la exposición de la cámara y el archivado de la imagen en otros formatos.

Color de la imagen se debe a que los valores de ganancia de las componentes RGB deben ser elegidos correctamente además de asignar la forma del filtro Bayer correctamente, esto se realiza con la correcta configuración de la cámara en conjunto con un procesamiento de imagen adecuado para obtener la mejor calidad de colores. El uso de la señal exterior debe ser asignada a la tarjeta del frame grabber para que esta sea la que comande la toma de fotos, esta señal proviene de nuestro encoder, la tarjeta de video posee la capacidad de decimar la cantidad de pulsos que recibe para accionar la captura de imagen, esto debe ser coordinado con la configuración de la cámara para que esta se accione con una señal proveniente del frame grabber. Los formatos de archivos en los que se puede guardar la

imagen depende de la librería que se tenga y los derechos que se tenga sobre dichos, esto solo se tiene que ajustar mediante comandos en la programación.

En conjunto el PumaEscaner, ofrece una posibilidad de digitalizar documentos de gran formato, para poder ser utilizados en cualquier momento sin dañar el documento original, lo que permitirá el acceso a estos materiales para más personas. Hacen falta pocos detalles para que este en una etapa funcional que permita comenzar con un trabajo de escaneo continuo. Todo esto con una inversión de recursos mínima en comparación con equipos comerciales similares.

REFERENCIAS

Conceptos básicos

- *CONSEJO INTERNACIONAL DE ARCHIVOS. Guide pour la gestion de documents électroniques du point de vue archivistique. París. 1996.*
- *Manual de digitalización de documentos, Information And Image Management System S.A., 2004*

Cámara(Transductor)

- *Camera Types 2009 [cited 2009 12 July]; Available from: <http://www.looptechnology.com/machine-vision-cameras.asp>*
- *Line Scan Cameras 2009 [cited 2010 12 July]; Available from: <http://www.looptechnology.com/line-scan-cameras.asp>.*
- *Digital Vision - Area Scan Cameras 2009 [cited 2010 12 July]; Available from: <http://www.looptechnology.com/area-scan-cameras.asp>.*
- Litwiller, D., *CMOS vs CCD: Maturing Technologies, Maturing Markets*, in *Photonics Spectra*. August 2005, Laurin Publishing.
- Magnan, P., *Detection of visible photons in CCD and CMOS:A comparative view*. Elsevier Science B.V, 2003(Nuclear Instruments and Methods in Physics Research)
- Russ, J.C., *The Image Processing Handbook*. 5 ed. 2007, Nueva York Taylor & Francis Group.
- Fernández-Bozal, J., *Fotografía Digital: Ventajas e Inconvenientes*, 2004.
- Litwiller, D., *CCD vs CMOS: Facts and Fiction*, in *Photonics Spectra*. January 2001, Laurin Publishing. p. 4.
- Palazzesi, A. *CCD vs. CMOS*, Available from: <http://www.neoteo.com/ccd-vs-cmos.neo>.
- *Computer Vision - Camera Sensor Technologies*. 2009
- <http://www.looptechnology.com/vision-camera-sensor-technologies.asp>.

- Mark Galer, L.H., *Digital imaging*.
- <http://www.svs-vistek.com/products/cameras/svcam/hr/hr.php>
- <http://www.lumenera.com/products/industrial-cameras/>

Óptica

- Eugene Hecht. *Optics*, 4th Ed., 2003.
- Joseph Morgan, *Introduction to Geometrical and Physical Optics*, McGraw-Hill, 1st Edition, Jan., 1953.
- Hoja de especificaciones, Schneider Macro Apo- Componon 4.5/90mm.
- Hoja de especificaciones, Interfaz Mecánica (Adaptadores) para la Cámara Basler Sprint.
- Hoja de especificaciones, UNIFOC100/95/_V-Basler Helical Mount.
- Hoja de especificaciones, M58 x 0.75 V-Basler Lens Mount .
- Hoja de especificaciones, Schneider Macro Componon-S 5.6/100mm.

Iluminación

- Catálogo de INFAIMON, 2011, www.infaimon.com.
- Hoja de especificaciones Amplificador Operacional TL082.
- Hoja de especificaciones TBJ / TIP 121.
- Hoja de especificaciones TBJ / 2N2222A.
- Hoja de especificaciones Regulador de Voltaje LM7807.
- Hoja de especificaciones Regulador de Voltaje LM7907.

Mecanismo

- *AC Motors for High-Performance Applications, Análisis and Control*, Yacamura, Sakae Electrical Engineering and Electronics, Merced Dekker, Inc 1986.
- *Stepping Motors, a guide to theory and practice*, Acarnley Paul, IEE Control engineering series, 4th edition 2003.
- *TESIS. Incidencias electromecánicas en motores polifásicos de inducción, alimentados por variadores de frecuencia*, Hugo Vinicio Zamora Jiménez Asesorado por el Ing. Carlos Alberto Quijivix, Guatemala, mayo de 2008.
- <http://www.todorobot.com.ar/documentos/servomotor.pdf>
- <http://www.cet-austria.com/ac-versus-dc-motors.html>
- <http://www.oddparts.com/acsi/motortut.htm>
- http://www3.sea.siemens.com/step/pdfs/ac_motors.pdf
- http://www.barmex.com.mx/home_movlineal.htm
- http://www.brammer.co.uk/es/es_brammer_correas_sincronas.aspx
- http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/ingenieria-de-transportes/material-de-clase-/tornillos_sin_fin.pdf
- http://www.ehow.com/how_8033973_calculate-motor-service-factors.html

Control / Comunicación

- http://en.wikipedia.org/wiki/Parallel_port.
- Tutorial on parallel port Interfacing, www.logix4u.net/parallelport.htm.
- Manual, motor Baldor GM25280.
- Manual, variador Altivar 12.

Adquisición y procesamiento de datos.

- Visual Basic, Made Easy, 2010, by Liew Voon Kiong
- Manual, Frame Grabber Helios eCL/XCL
- Manual, Software de la cámara Camera link Configuration Tool Plus (CCT+)
- Manual, Software Frame Grabber INTELLICAM
- Guía de usuario, MIL SOFTWARE