UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Tesis previa a la obtención del Título de:

Ingeniero Electrónico

"Estimación de coordenadas espaciales de un objeto esférico usando LabView y el Embedded Vision System (EVS) de National Instruments"

AUTOR:

Tnlg. Claudio Ismael Pineda Guncay

DIRECTOR:

Ing. Marco Alexander Carpio Alemán

Cuenca – Ecuador

2013

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad del autor y autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana el uso de la misma con fines académicos.

Cuenca, 20 Octubre de 2013.

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Marco Alexander Carpio Alemán certifico que el presente documento fue desarrollado por el Tnlg. Claudio Ismael Pineda Guncay, bajo mi supervisión.

Cuenca, 20 Octubre de 2013.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por permitirme alcanzar una meta más en mi vida, a mi familia la cual estuvo apoyándome incondicionalmente a lo largo de mi carrera universitaria, aportando cada uno para que este sueño de ser un profesional sea hoy una realidad. También quiero agradecer a mis amigos que de igual manera me brindaron su apoyo siempre Jaime, Emanuel, Anita, Kari y de igual manera al Ing. Marco Carpio por su colaboración como Director de este proyecto.

DEDICATORIA

Quiero dedicar el presente proyecto a mis padres Diana y Claudio por ser motivo de inspiración y superación toda mi vida, por ser las personas que me apoyaron durante cada instante, quiero que sepan que me siento sumamente orgulloso de tener unos padres como ustedes. Este triunfo no es solo mío sino más bien de ustedes, y de nuestra familia, porque gracias a su confianza y sabios consejos hoy cumplo mi sueño de ser un ingeniero, gracias por todo, les quiero mucho.

RESUMEN

La visión del Hombre es binocular, es decir que el cerebro humano interpreta el entorno a partir de dos imágenes con pequeñas diferencias entre ellas, debidas a la separación que posee una persona entre sus ojos. La diferencia o disparidad entre estas imágenes es uno de los elementos utilizados por el cerebro para apreciar la profundidad de una imagen determinada.

La visión artificial es un conjunto de técnicas y teorías basadas en el estudio del comportamiento de la visión humana, la cual trata de describir el mundo que se observa en una o más imágenes y reconstruir sus propiedades geométricas como: forma y tamaño; propiedades de los materiales como: color y textura; para este fin las imágenes son procesadas digitalmente en un computador y, utilizando distintos tipos de algoritmos que emulen la capacidad visual y otras destrezas, obtener un sistema inteligente.

Existen múltiples aplicaciones de la visión artificial en la industria, sobre todo en la realización de tareas que tengan carácter repetitivo, entre las principales actividades están la inspección, selección de productos, control de calidad, embalaje y monitoreo de procesos.

Como humanos, poder percibir el mundo que nos rodea en tres dimensiones, resulta un proceso relativamente fácil, sin embargo la visión artificial no tiene todas las facilidades con las que cuenta nuestro sistema visual. De esta manera es necesario contar con ciertos procesos mínimos para obtener una percepción más cercana a la realidad. Por lo antes expuesto el sistema de estimación que se presenta a continuación precisa de cámaras que posean la mayor resolución posible, de un módulo de visión y el software de procesamiento. Las cámaras permiten que la calidad de la imagen sea la más óptima, logrando así que la etapa de procesamiento sea más fluida y por ende el resultado de la estimación sea más exacto.

La visión estereoscópica es una de las maneras que existen para adquirir información de una escena tridimensional, la distancia a los objetos que estén en la escena es una

información útil en muchos y diversos campos de la tecnología, como en la robótica. Es por ello que por medio del diseño de esta aplicación se logró obtener la estimación de la distancia a un objeto y su posición en el espacio, aportando de esta manera con futuros proyectos de investigación con robots KUKA en la Universidad Politécnica Salesiana, así como también la mejora de algunos procesos que se realizan en el campo de la arquitectura.

ÍNDICE

		Pag.
	DECLARATORIA	I
	CERTIFICACION	II
	AGRADECIMIENTO	III
	DEDICATORIA	IV
	RESUMEN	V
	CAPÍTULO I	
	INTELIGENCIA ARTIFICIAL	
1.1	Introducción	1
1.2	Visión Artificial	2
1.3	Adquisición de la imagen	3
1.4	Procesamiento de la imagen	4
1.5	Reconocimiento de objetos	6
1.6	Binarización y etiquetado de los objetos	7
1.6.1	Extracción de características	8
	CAPÍTULO II	
	VISIÓN ESTEREOSCÓPICA	
2.1	Introducción	11
2.2	Generalidades	12
2.3	Restricciones Estereoscópicas	12
2.3.1	Restricciones Geométricas	12
2.3.2	Restricciones Fotométricas	13
2.4	Reconstrucción de una escena 3D	14
2.4.1	Geometría de cámaras paralelas	14
	CAPÍTULO III	
	DESARROLLO DE LA APLICACIÓN EN LabVIEW	
3.1	Adquisición de la imagen	19
3.2	Calibración de las cámaras	19
3.3	Histograma de la imagen	20

3.4	Binarización y reconocimiento de un objeto	21
3.5	Reconstrucción de una escena 3D	22
3.5.1	Calculo de centro de masa	22
3.5.2	Calculo de disparidad	23
3.6	Estimación de la ubicación espacial del objeto	23

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1	Pruebas de calibración de las cámaras	25
4.2	Pruebas de adquisición de la imagen en tiempo real	26
4.3	Pruebas de reconocimiento del objeto	27
4.4	Pruebas del cálculo de centro de masa del objeto	28
4.5	Pruebas de estimación de distancia	29
4.5.1	Mediciones con intensidad de iluminación de 170 lux	31
4.5.2	Mediciones con intensidad de iluminación de 250 lux	34
4.5.3	Mediciones con intensidad de iluminación de 500 lux	37
4.6	Pruebas de estimación de dimensión	40

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones	41
5.2	Recomendaciones	42
	BIBLIOGRAFÍA	44
	ANEXO	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pag.
1	Procesos básicos en un sistema de visión	2
2	Cámara usada en el sistema de visión	4
3	Formación de una imagen RGB	5
4	Sistema Embebido de Visión EVS de National Instruments	6
5	Histogramas de una imagen	7

6	Binarización de una imagen	8
7	Matrices de Conectividad	9
8	Geometría de cámaras paralelas	15
9	Relación Geometría de cámaras paralelas para obtener la profundidad	17
10	Proceso para la adquisición de imágenes	19
11	Proceso de adquisición y obtención de Histogramas de la imagen	20
12	Proceso para la binarización de la imagen y etiquetado del objeto de análisis	21
13	Software para la obtención del centro de masa del objeto de análisis	22
14	Proceso para el cálculo de la disparidad	23
15	Lente para cámara Basler usada en el sistema de visión	25
16	Imágenes adquiridas desde las cámaras Basler correctamente configuradas	26
17	Resultados de la binarización y etiquetado de las imágenes adquiridas	28
18	Resultados del cálculo de centro de masa del objeto analizado	29
19	Resultados de la estimación de distancia hacia el objeto analizado	30
20	Distancia real medida desde las cámaras hacia el objeto analizado	30
21	Pruebas de dimensionamiento de una caja de madera.	40

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico		Pag.
1	Mediciones con 170 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 30cm	31
2	Mediciones con 170 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 36cm	32
3	Mediciones con 170 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 38cm	32
4	Mediciones con 170 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 40cm	33
5	Mediciones con 170 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 46cm	33
6	Mediciones con 250 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 30cm	34
7	Mediciones con 250 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 36cm	35
8	Mediciones con 250 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 38cm	35
9	Mediciones con 250 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 40cm	36
10	Mediciones con 250 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 46cm	36

11	Mediciones con 500 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 30cm	37
12	Mediciones con 500 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 36cm	38
13	Mediciones con 500 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 38cm	38
14	Mediciones con 500 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 40cm	39
15	Mediciones con 500 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 46cm	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Pag.
1	Resultados de mediciones con una intensidad de 170 lux	31
2	Resultados de mediciones con una intensidad de 250 lux	34
3	Resultados de mediciones con una intensidad de 500 lux	37

CAPITULO I

CAPÍTULO I

INTELIGENCIA ARTIFICIAL

1.1 INTRODUCCIÓN.

La visión del Hombre es binocular, es decir que el cerebro humano interpreta el entorno a partir de dos imágenes con pequeñas diferencias entre ellas, debidas a la separación que posee una persona entre sus ojos. La diferencia o disparidad entre estas imágenes es uno de los elementos utilizados por el cerebro para apreciar la profundidad de una imagen determinada.

La evolución de la fauna en la naturaleza ha hecho que las especies que precisan de una percepción muy exacta de la profundidad en caso particular los depredadores posean una visión binocular estereoscópica, pues el ángulo de visión de ambos ojos se sobrepone en un alto porcentaje.

Aquellas especies que, por el contrario, precisan únicamente de un control de su entorno, como es el caso de los herbívoros, no poseen visión estereoscópica, pues cada ojo percibe imágenes de un área diferente.

> El hombre se ha aplicado a sí mismo el nombre científico de *homo sapiens*, como una valoración de la trascendencia de nuestras habilidades mentales tanto para nuestra vida cotidiana como en nuestro propio sentido de identidad. Los esfuerzos del campo de la inteligencia artificial, o IA, se enfocan a lograr la comprensión de entidades inteligentes. Por ello una razón de su estudio es el aprender más acerca de nosotros mismos. [1]

La disparidad no es la única señal de profundidad utilizada por el cerebro para percibir la tridimensionalidad de un ambiente, ya que existen otras señales que también permiten interpretar adecuadamente la profundidad de una imagen plana.

1.2 VISIÓN ARTIFICIAL.

En el intento de dotar a las máquinas de un sistema de visión aparece el concepto de visión artificial. La visión artificial es una tarea más difícil en comparación de lo que pueden lograr las personas, sus aplicaciones cada vez son más demandadas en todos los campos del desarrollo humano.

La visión artificial es un conjunto de técnicas y teorías basadas en el estudio del comportamiento de la visión humana, la cual trata de describir el mundo que se observa en una o más imágenes y reconstruir sus propiedades geométricas como: forma y tamaño; propiedades de los materiales como: color y textura; para este fin las imágenes son procesadas digitalmente en un computador y, utilizando distintos tipos de algoritmos que emulen la capacidad visual y otras destrezas, obtener un sistema inteligente.

Existen múltiples aplicaciones de la visión artificial en la industria, sobre todo en la realización de tareas que tengan carácter repetitivo, entre las principales actividades están la inspección, selección de productos, control de calidad, embalaje y monitoreo de procesos.

Una aplicación utilizando visión artificial involucra ciertos procesos como lo muestra la figura1.

Figura.1 Procesos básicos en un sistema de visión.

La visión artificial trata de simular el proceso que hace el cerebro conjuntamente con los ojos de una persona, el cual le permite interpretar la profundidad de un escenario, basándose en algoritmos matemáticos y relaciones trigonométricas que permitirán recrear este efecto basada en las imágenes capturadas por dos cámaras que simulan los ojos en el sistema de visión estereoscópica.

1.3 ADQUISICIÓN DE LA IMAGEN.

Como humanos, poder percibir el mundo que nos rodea en tres dimensiones, resulta un proceso relativamente fácil, sin embargo la visión artificial no tiene todas las facilidades con las que cuenta nuestro sistema visual. De esta manera es necesario contar con ciertos procesos mínimos para obtener una percepción más cercana a la realidad.

El espectro visible es, una porción muy pequeña del conjunto de ondas electromagnéticas que tiene la peculiaridad de ser captada por los ojos y procesada en el cerebro. El ojo humano es capaz de distinguir radiaciones de longitudes de onda comprendidas entre los 380nm y los 780nm.

Para producir una imagen, la escena de una fotografía debe estar iluminada con una o más fuentes de luz, el saber escoger una técnica de iluminación adecuada puede ahorrar tiempo en la elaboración de algoritmos para compensar posibles errores debido a la iluminación, y a su vez hace más confiable y rápida a la aplicación con la que se está trabajando.

Cuando el reflejo de luz incide sobre un objeto y esta es recolectada por el lente de la cámara, se convierte en una imagen. Se utiliza una iluminación controlada para poder acentuar las características de interés de una imagen y atenuar las características innecesarias, siendo esto crítico cuando hay formas complejas o superficies muy reflectantes.

Por lo antes expuesto el sistema de estimación precisa de cámaras que posean la mayor resolución posible, para que la calidad de la imagen sea la más óptima,

logrando así que la etapa de procesamiento sea más fluido y por ende el resultado de la estimación será más exacto.

GigE Vision es una interfaz de cámara que utiliza los cables estándares y económicos además de un hardware básico para la implementación. El estándar GigE Vision ofrece mayor flexibilidad, con largas longitudes de cable hasta 100 m y la habilidad de conectar múltiples cámaras a un solo puerto usando hubs en red.

Las cámaras Basler scout GigE Vision ofrecen un diseño comprobado con una variedad de resoluciones y velocidades. Con la amplia selección de modelos scout, usted puede encontrar rápidamente la cámara adecuada para su aplicación.

NI-IMAQdx, un controlador GigE Vision de alto rendimiento (parte del Software NI Vision Acquisition), es optimizado para chipsets Intel Pro 1000 ayudando a reducir cargas del CPU al adquirir desde cámaras GigE. Para una mejor experiencia, puede usar cámaras GigE Vision con el Sistema Embebido de Visión autónomo y las tarjetas insertables NI GigE Vision. [2]

Figura.2 Cámara usada en el sistema de visión. [2]

1.4 PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN.

Una imagen al ser procesada se convierte en una matriz de [mxn] variables (dependiendo de la resolución la cámara) con origen de coordenadas en la esquina superior izquierda, donde cada elemento de la matriz se lo conoce como pixel. A la imagen se la representa matemáticamente como una función f(x,y), donde [x] es el valor de la fila y [y] el valor de la columna.

Una cámara a colores posee tres sensores, los mismos que relacionan las longitudes de onda del color rojo (R), verde (G), y azul (B), conformando el sistema RGB. En una imagen de este tipo la función f(x,y) devuelve un vector, con los valores de proyección del color en formato RGB.

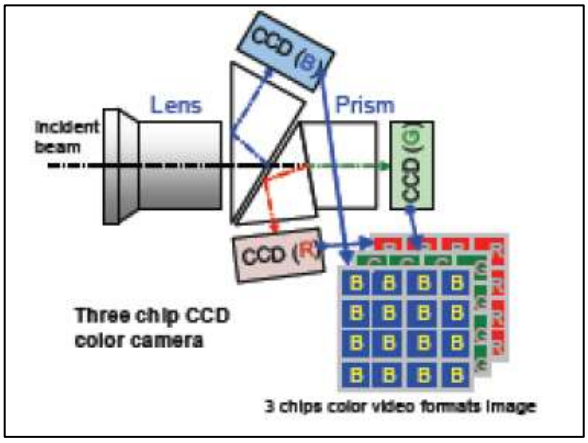

Figura.3 Formación de una imagen RGB [3]

Si en cambio, la imagen adquirida se la representa en escala de grises, los valores de los pixeles están entre 0 y 255, esto es debido a que se utiliza un byte de cuantificación por píxel, aquí el valor que retornará en la función f(x,y) corresponde al valor de la luminancia que posee la imagen. El cero será el color negro y el valor 255 corresponde al blanco.

El sistema se fundamenta en el uso de un Sistema Embebido de Visión (EVS por sus siglas en ingles), de la National Instruments, su controlador combina conectividad con cámaras industriales, comunicación abierta de alto rendimiento y la flexibilidad de un procesador multinúcleo.

El NI EVS-1460 está diseñado para procesar imágenes desde múltiples cámaras GigE Vision y IEEE 1394. El sistema operativo Windows 7 permite desarrollar y modificar inspecciones desde el hardware de despliegue e integrar con otros programas de software en la plataforma.

Con un número de E/S TTL altamente aislada, E/S digital habilitada por FPGA, rápido rendimiento de procesador multinúcleo y un 2 GB de memoria RAM, el EVS-1460 se puede sincronizar con controladores lógicos programables (PLCs), interfaces humano-máquina (HMIs) y controladores de movimiento para inspecciones más complejas y de más alta velocidad que incorporan la interacción del operador.

Se puede configurar el EVS-1460 con el NI Vision Builder for Automated Inspection (AI) que consta de un entorno fácil de usar guiado por menú o con el Módulo Vision Development combinado con LabVIEW y entornos basados en texto para aplicaciones que requieren una solución programática.

Figura.4 Sistema Embebido de Visión EVS de National Instruments [2]

1.5 RECONOCIMIENTO DE OBJETOS.

Para poder reconocer un objeto en una imagen existen varias técnicas, dentro de las más usadas está la de reconocimiento de patrón, reconocimiento de color, histogramas, etc. En el presente proyecto para la estimación de coordenadas se aplicó la técnica de la obtención del histograma de la imagen, para así solo filtrar el rango del histograma que corresponde al objeto y despreciar la información del

entorno. La figura 5 muestra un ejemplo del proceso indicado anteriormente, en donde se observa el histograma de la imagen de la cámara, el color negro indica el color que más concentración posee en la imagen, en el caso de la figura se observa que existe una mayor cantidad de tonos negros-grises en la imagen y apenas una pequeña cantidad de blancos que corresponden a la cabeza y cola del ave.

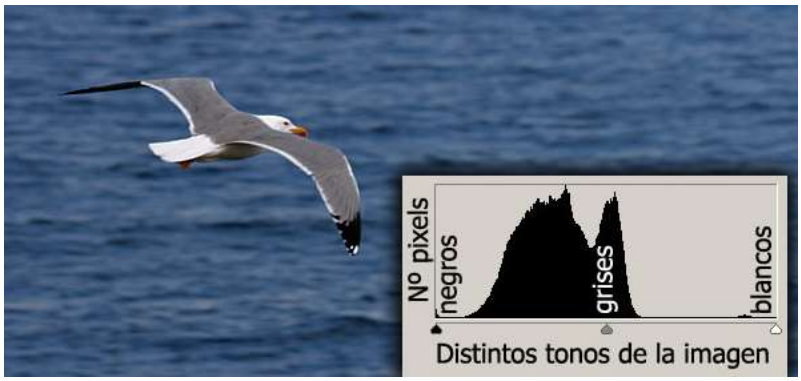

Figura.5 Histogramas de una imagen.

1.6 BINARIZACIÓN Y ETIQUETADO DE LOS OBJETOS.

Para identificar un objeto dentro de una escena se debe realizar un proceso que se llama segmentación, la cual consiste en separar el objeto del fondo o del entorno, de tal forma que se logre identificarlo y aislarlo para el análisis, de la exactitud de este proceso depende el éxito o fracaso del análisis matemático posterior.

Existen dos tipos de segmentación; la morfológica y por umbral, esta última es la más utilizada en los Sistemas de visión artificial (SVA) la misma que se utilizó en el presente proyecto.

La segmentación por umbral consiste en dividir la imagen basándose en el nivel de intensidad de los pixeles de dicha imagen. Por la simplicidad del proceso, éste es uno de los métodos más usados para el procesamiento digital de imágenes.

Una imagen binarizada es el resultado de llevar a cabo la segmentación por umbral, tomando en cuenta que se le asigna un "uno" a los pixeles que son de interés en el

proceso y un "cero" a las demás regiones de la escena que no son de interés en el proceso de análisis de la imagen.

La figura 6 muestra el resultado de la segmentación por umbral de una imagen, lo cual es esencial para así poder trabajar adecuadamente en la parte de matemática del procesamiento de imagen. Como se explicó anteriormente este proceso no es más que aislar el objeto de análisis del entorno de la imagen.

Figura.6 Binarización de una imagen.

1.6.1 EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS.

Como se enunció anteriormente la segmentación era el proceso que se encargaba de aislar los objetos de interés del fondo de la imagen, lo cual nos daba como resultado una imagen de tipo binaria. A partir de esta imagen binaria se puede obtener varias características de los objetos como el perímetro, área, longitud, centros de masa, etc.

Como un paso previo a la extracción de las características de un objeto se realiza un mejoramiento de la imagen mediante operaciones binarias morfológicas, debido a que al realizar el proceso de segmentación se pudiere introducir partículas indeseadas por el ruido lo cual es información innecesaria para el análisis.

Operaciones Morfológicas.

Los operadores morfológicos cambian la forma de las partículas que procesan en base al número de sus pixeles "vecinos" y sus valores. Se define al vecino

como un píxel cuyo valor afecta los valores de los píxeles cercanos durante ciertas funciones de procesamientos de imágenes.

Luego de identificar un conjunto de píxeles que pertenecían a un mismo rango en la segmentación es decir los que tenían similar intensidad, se debe agruparlos en partículas. Este proceso de agrupación de píxeles en partículas introduce el término conectividad. La figura 7 representa gráficamente la conectividad que usa el *IMAQ RemoveParticle VI* en LabVIEW.

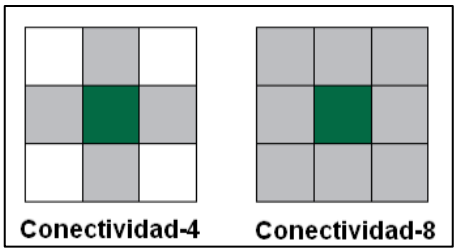

Figura.7 Matrices de Conectividad. [3]

La conectividad-4 considera que dos píxeles son parte de la misma partícula si son verticalmente u horizontalmente adyacentes a diferencia de la conectividad-8 la cual considera que dos píxeles son parte de la misma partícula si son verticalmente, horizontalmente o diagonalmente adyacentes.

Posterior al mejoramiento de la imagen se puede extraer las características del objeto el cual es una partícula o un conjunto de píxeles contiguos diferentes de cero en la imagen binaria. Las partículas pueden ser caracterizadas por medio de mediciones relacionadas a su ubicación, área y forma.

Algunas de las mediciones que se pueden realizar a las partículas son:

- **Rectángulo Envolvente:** Es el rectángulo de menor tamaño de lados paralelos a los ejes x e y, que encierran a una partícula.
- **Perímetro:** Es la longitud de la frontera de una región.
- **Agujero de la partícula:** Región de píxeles de valor igual a cero, rodeados completamente por pixeles diferentes de cero.
- **Ángulo:** Grados de rotación medida en sentido anti horario desde el eje X, el valor está entre 0º y 180º.

- **Rectángulo Equivalente:** Rectángulo con el mismo perímetro y área que la partícula analizada.
- **Elipse equivalente:** Elipse con el mismo perímetro y área que la partícula analizada.
- **Máxima longitud Feret:** Segmento de línea que une los dos puntos más apartados del perímetro.
- **Momento de Inercia:** Provee una representación de la distribución de las partículas respecto al *centro de masa*. Los momentos de inercia son invariantes en el desplazamiento.

CAPITULO II

CAPÍTULO II

VISIÓN ESTEREOSCÓPICA

2.1 INTRODUCCIÓN.

Con la visión artificial se puede obtener imágenes que contengan una gran cantidad de información del entorno, pero la profundidad de la escena no es apreciable. Esta desventaja se puede solucionar obteniendo dos o más imágenes desde una diferente percepción a la primera, y mediante utilización de técnicas se puede reconstruir la escena tridimensional.

Se define visión estereoscópica como aquella en la que se emplea más de una imagen para obtener una escena de tridimensionalidad. Según el número de imágenes que se emplee, (se habla de visión bifocal –dos imagines o vistas-, trifocal -tres imágenes o vistas-, o n-focal –n imágenes o vistas), en cada uno de los casos se aplica una serie de restricciones basadas en la geometría.

La reconstrucción tridimensional se puede realizar en base a diferentes métodos, y cuando son solucionados en base a la óptica se pueden clasificar en métodos pasivos y métodos activos.

> Los métodos pasivos permiten obtener información de la profundidad de la escena mediante la fusión de dos o más escenas captadas mediante cámaras. Estas técnicas simulan la capacidad del ojo humano de captar tridimensionalmente una escena a partir de las dos imágenes tomadas por sus ojos. [2]

Los métodos activos hacen intervenir una fuente de luz específica para determinar las coordenadas tridimensionales de los puntos de medida. Estos sistemas constan siempre como mínimo de un emisor de luz y un receptor, sólo sirven para cuerpos negros, especulares ni transparentes así como con medios participativos.

2.2 GENERALIDADES.

La visión estereoscópica comprende los programas desde la adquisición de imágenes hasta la entrega de las coordenadas de los objetos de la escena.

La adquisición de imágenes se desarrolló en LabVIEW. Los atributos de las cámaras han sido configurados de tal forma que permitan obtener imágenes con características similares: en tamaño y propiedades de adquisición.

Es importante que las características de las dos cámaras usadas deban ser similares, es decir la resolución, la velocidad de transmisión, enfoque, niveles de zoom, etc. Esto es debido a que se realiza una comparación entre las imágenes y si las imágenes no poseen las mismas características el sistema incurrirá en un error y por tanto no daría un resultado fiable.

Las cámaras Basler usadas para el sistema de visión capturan información de la escena sin desfase de tiempo apreciable y por ello se puede asumir que el sistema estima las coordenadas espaciales en tiempo real.

2.3 RESTRICCIONES ESTEREOSCÓPICAS.

Debido a las dificultades que se pueden suscitar en la correspondencia de imágenes de las dos cámaras, es necesario aplicar restricciones y consideraciones para poder disminuir lo más posible los potenciales errores en el sistema.

2.3.1 RESTRICCIONES GEOMÉTRICAS.

Estas son procedentes de los objetos visualizados o captados por las cámaras y son oportunas considerarlas para el correcto funcionamiento del sistema de visión:

- ***Epipolar:***

  Las imágenes de una misma entidad 3D deben proyectarse sobre la misma línea epipolar. Esta restricción se deriva de la geometría de las cámaras y requiere que las cámaras estén alineadas.

- ***Semejanza:***

  Las dos imágenes de la misma entidad 3D deben tener propiedades o atributos equivalentes, es decir donde los pixeles deben tener valores de intensidades similares.

- ***Unicidad:***

  Para cada característica en una imagen debe haber una única característica en la otra imagen, es decir que por cada punto capturado por la imagen derecha solo existe un punto correspondiente en la imagen izquierda, salvo que se produzca una oclusión y no exista correspondencia.

  Este enunciado viene a ser una verdad cuando en la escena existen objetos no semitransparentes, ya que éstos darían lugar a que varios puntos de la imagen generen un mismo punto sobre el sensor.

  La restricción de unicidad ayuda a determinar la correspondencia para un punto cuando existen varios posibles candidatos, y así poder escoger el punto que brinde un mayor grado de confianza.

2.3.2 RESTRICCIONES FOTOMÉTRICAS.

Son restricciones basadas en modelos de interacción de los objetos con la iluminación. Se deben aplicar sobre entornos y regiones ya que los valores puntuales de intensidad en un pixel están sujetos a ruido, el cual puede de una u otra manera interferir en el correcto procesamiento de la imagen y posteriormente en análisis matemático.

- ***Restricción de reflectancia superficial:***

  La intensidad de la proyección de un punto 3D no depende del punto de vista.

- ***Restricción de compatibilidad fotométrica:***

  La distribución de intensidades entre puntos semejantes debe ser similar.

- ***Restricción de compatibilidad fotométrica diferencial:***

  Dados dos puntos de una imagen cercanos (continuidad de superficie), la diferencia de intensidades entre ambos puntos debe ser similar a la diferencia de intensidades de sus semejantes.

2.4 RECONSTRUCCIÓN DE UNA ESCENA 3D.

2.4.1 GEOMETRÍA DE CÁMARAS PARALELAS.

La geometría de cámaras paralelas es un método base que se utiliza debido a la sencillez del algoritmo de correspondencia de imágenes que se debe realizar para estimar distancias.

Considerando la figura 8 en donde los dos planos fotosensibles de las cámaras pertenecen al mismo plano es, decir son coplanares y son paralelos a la recta formada por los centros ópticos “CI” y “CD” conocida como línea base; se puede asumir que los epipolos van a estar ubicados en el infinito, por consecuencia las líneas epipolares, es decir la epipolar izquierda y la epipolar derecha (epI y epD) van a estar paralelas entre sí y a su vez paralelas a la línea base. Esta configuración permitirá reducir la búsqueda de la correspondencia estereoscópica de las dos dimensiones de una escena tomada por la cámara, a una búsqueda en una sola dimensión sobre la línea epipolar, simplificando así el proceso de la estimación de la distancia del objeto hacia la cámara (restricción epipolar).

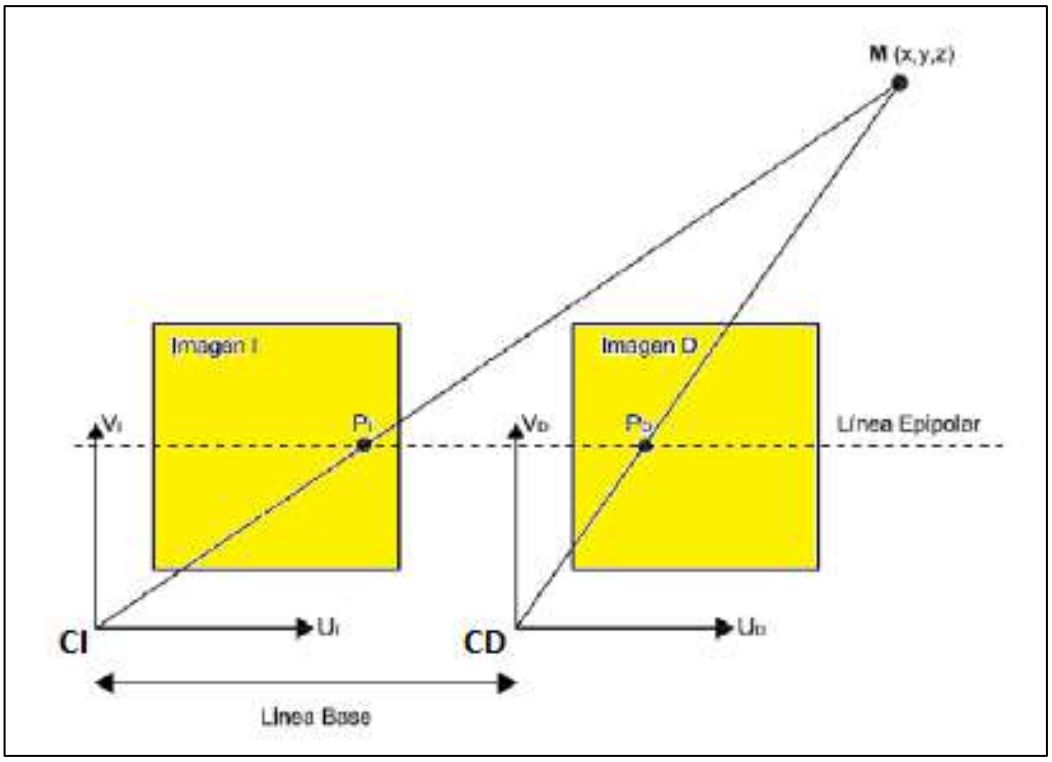

Figura.8 Geometría de cámaras paralelas.

Para poder localizar un punto [M] en el espacio (M(x, y, z)) a partir de las imágenes tomadas por las dos cámaras con un sistema de referencia (UI, VI) para la cámara izquierda y un sistema (UD,VD) para la cámara derecha, se considerará en la figura 9 un sistema de referencia (x,z) en el centro óptico de una de las cámaras.

Usando un criterio básico de la geometría como lo es el de semejanza de triángulos se puede obtener las siguientes ecuaciones:

$$\frac{u_i}{f} = \frac{x}{z} \qquad (1)$$

En donde:

$\mathbf{u_i}$ es el eje "x" del sistema referencia de la imagen izquierda.
f es la Distancia Focal.
x es la coordenada "x" de la posición del objeto.
z es la coordenada "z" de la posición del objeto.

$$\frac{v_i}{f} = \frac{y}{z} \tag{2}$$

En donde:

$\mathbf{v_i}$ es el eje "y" del sistema referencia de la imagen izquierda.
y es la coordenada "y" de la posición del objeto.

$$\frac{u_d}{f} = \frac{-x + B}{z} \tag{3}$$

En donde:

$\mathbf{u_d}$ es el eje "x" del sistema referencia de la imagen derecha.
B es la distancia que existe entre los ejes ópticos de las cámaras.

$$\frac{v_d}{f} = \frac{y}{z} \tag{4}$$

En donde:

$\mathbf{v_d}$ es el eje "y" del sistema referencia de la imagen derecha.

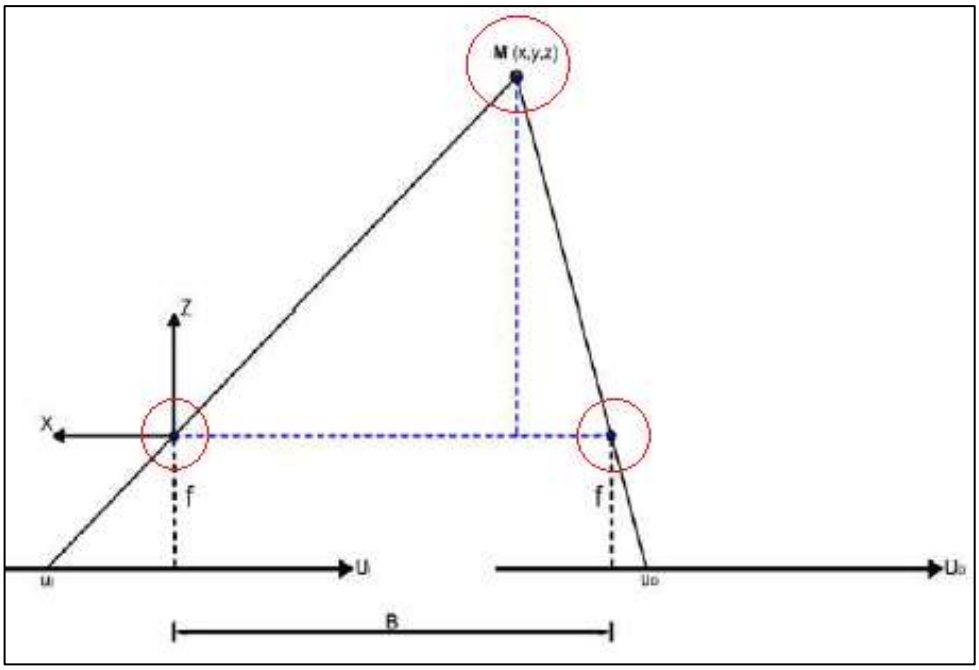

Figura.9 Relación Geometría de cámaras paralelas para obtener la profundidad.

Igualando las ecuaciones 1 y 3 se obtiene la ecuación 5, la cual permite obtener la profundidad.

$$\boldsymbol{z = \frac{-fB}{u_i - u_d}} \qquad (\mathbf{5})$$

Donde se puede sustituir a la diferencia de coordenadas o diferencia de posición entre las imágenes de la misma escena por la letra "d" que se la conoce como *disparidad*.

$$\boldsymbol{d = u_i - u_d} \qquad (\mathbf{6})$$

Por tanto la ecuación final que permite estimar la distancia al punto M es:

$$\boldsymbol{z = \frac{-fB}{d}} \qquad (\mathbf{7})$$

De igual manera reemplazando la ecuación 7 en las ecuaciones 1 y 2 y despejando las variables "x" y "y" respectivamente obtenemos los valores de las coordenadas X y Y del punto analizado en la escena. Lo cual finalmente

permitirá estimar la posición del punto en coordenadas espaciales M (x,y,z) obteniendo los resultados de las ecuaciones 7, 8, 9.

$$\boldsymbol{x = \frac{u_i B}{d}} \qquad (\mathbf{8})$$

$$\boldsymbol{y = \frac{v_i B}{d}} \qquad (\mathbf{9})$$

Es necesario conocer los valores de la distancia focal, línea base y disparidad entre los pixeles correspondientes para así poder determinar la localización tridimensional de un objeto.

- ***Distancia focal:***
  La distancia que hay entre el sensor óptico de la cámara y el lente óptico.

- ***Línea base:***
  La distancia de la recta forma por los centros ópticos de las dos cámaras.

- ***Disparidad:***
  La diferencia de coordenadas de la posición de un punto entre las imágenes de la misma escena.

CAPITULO III

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DE LA APLICACIÓN EN LabVIEW

3.1 ADQUISICIÓN DE LA IMAGEN.

El proceso de adquisición de la imagen se puede observar en el diagrama de bloques de la figura 10, en donde se usa *IMAQdx Open Camera VI* para cargar la cámara en el programa, a continuación se configura mediante *IMAQdx Configure Grab VI*, es importante que luego de configurar se use *IMAQdx Grab VI* para guardar la adquisición de alta velocidad de la imagen. Cabe mencionar que los *IMAQdx* usan por defecto la cam0.

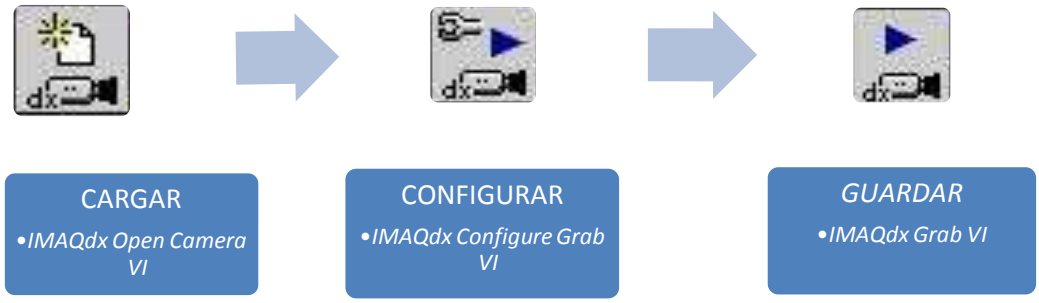

Figura.10 Proceso para la adquisición de imágenes.

3.2 CALIBRACIÓN DE LAS CÁMARAS.

Esta es una etapa crucial en el desarrollo del sistema, primeramente para formar un par estereoscópico se debe tener dos cámaras de similares características, es decir que tengan la misma resolución, enfoque, distancia focal, velocidad de transmisión, etc.

Las cámaras utilizadas en el SVA como ya se mencionó en el capítulo 1 son de la marca Basler, son cámaras digitales para aplicaciones industriales, dispositivos médicos, sistemas de tráfico y para el mercado de vigilancia por video. Estas cámara

fueron escogidas por buena resolución y por la velocidad, ya que el retardo que se genera es prácticamente despreciable.

La interfaz GigE Vision permite aprovechar cables estándares y económicos y el hardware para una fácil implementación, es por ello que el procedimiento de calibración se ve reducido a la manipulación de dos perillas ubicadas en el lente de la cámara, para controlar el enfoque y la intensidad de la imagen.

Es esencial que este proceso se lo efectué con la mayor precisión posible, para que la estimación de la distancia tenga el menor error posible, aspectos como falta de iluminación, imágenes difusas provocan que el algoritmo matemático no funcione correctamente debido a que no puede ubicar precisamente a un objeto.

3.3 HISTOGRAMA DE LA IMAGEN.

El proceso de obtención del histograma se muestra en la figura 11, cabe recalcar que el proceso se repite para ambos casos, es decir para la imagen obtenida por la cámara izquierda tanto como para la imagen obtenida por la cámara derecha, ya que las dos imágenes necesitan obligatoriamente el mismo tratamiento.

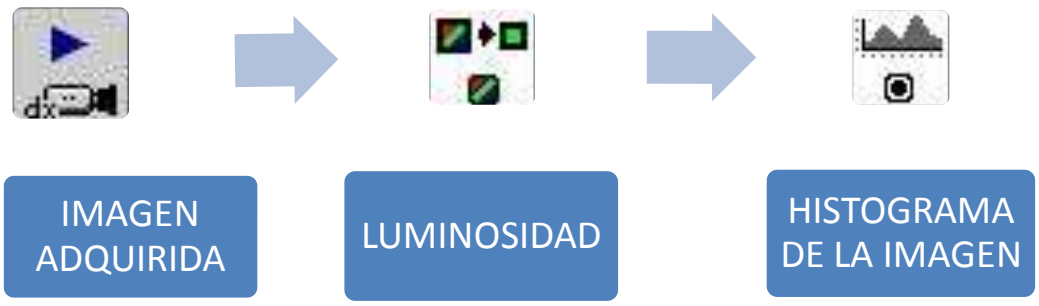

Figura.11 Proceso de adquisición y obtención de Histogramas de la imagen

Posteriormente de la imagen se obtiene un histograma, el cual permite diferenciar el objeto de la escena, observando las concentraciones del color en el histograma como

lo muestra la figura 5. Esto ayuda en el proceso de aislar el objeto de la escena y poder trabajar de manera más simple con la imagen.

3.4 BINARIZACIÓN Y RECONOCIMIENTO DEL OBJETO.

La proceso de Binarización y etiquetado del objeto se muestra en la figura 12, al igual que en el proceso anterior se debe indicar que el proceso se repite para la imagen obtenida por la cámara izquierda y para la imagen obtenida por la cámara derecha.

Figura.12 Proceso para la binarización de la imagen y etiquetado del objeto de análisis.

Mediante *IMAQ Threshold VI* se realiza la segmentación de la imagen mencionada anteriormente, en el cual se selecciona el rango en el cual se desea segmentar la imagen basándonos en el histograma obtenido previamente. Una vez que se obtiene la imagen binaria en donde se observa claramente el objeto asilado de su entorno, la imagen ingresa en *IMAQ RemoveParticle VI* para mejorar la imagen, quitar las partículas no deseadas provocadas por ruido, ajustando el número de erosión y tomando en cuenta el criterio de conectividad mencionado anteriormente. Al tener la imagen mejorada es posible etiquetarla mediante *IMAQ Label VI* y obtener las características necesarias para el análisis que en este caso sería el centro de masa de la partícula a analizar.

El centro de masa del objeto es diferente en cada imagen debido a que el objeto se encuentra en posiciones diferentes y relativas con cada sistema de referencia de cada

cámara, es por ello que se debe aplicar un algoritmo que permita relacionar la información obtenida y así llegar a obtener la coordenada espacial del objeto analizado.

3.5 RECONSTRUCCIÓN DE UNA ESCENA 3D.

3.5.1 CÁLCULO DE CENTRO DE MASA.

Es necesario establecer la posición del objeto de análisis en la imagen que capta cada cámara, debido a que el objeto tendrá determinada posición en la imagen de la cámara izquierda y otra posición en la imagen de la cámara derecha, es por ello que al obtener el centro de masa del objeto nos permite ubicarlo mediante coordenadas (x, y) en cada imagen con su respectivo sistema de referencia.

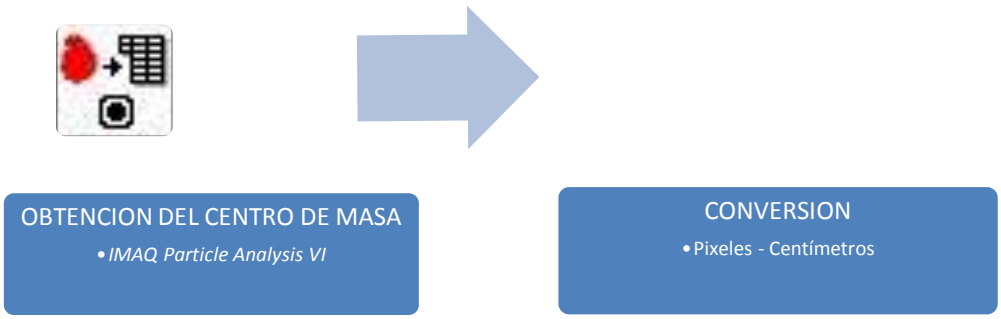

Figura.13 Software para la obtención del centro de masa del objeto de análisis.

Como lo muestra la figura 13 se utiliza *IMAQ Particle Analysis VI* el cual analiza la partícula o en este caso el objeto que se visualiza en la imagen binarizada que se obtuvo en procesos anteriores y permite configurar de tal manera que nos entregue las coordenadas del centro de masa (x, y), algo importante es que el análisis lo hace en pixeles, es decir el dato no está en unidades de longitud por tanto es necesario utilizar una relación de transformación que permita cambiar de pixeles a una unidad de longitud que en este caso en particular centímetros.

Tomando en cuenta lo expuesto anteriormente usamos la relación en la que 1 pixel = 0.026458333 cm para así lograr obtener los datos del centro de masa en centímetros.

3.5.2 CÁLCULO DE DISPARIDAD.

La disparidad como se mencionó anteriormente no es más que la diferencia de coordenadas de la posición de un punto entre las imágenes de la misma escena, es por ello que anteriormente se obtuvo el centro de masa del objeto en cada una de las imágenes de las cámaras, con lo cual se resta las coordenadas como lo dice la ecuación 6 y así se obtiene d, que es la disparidad del sistema de visión.

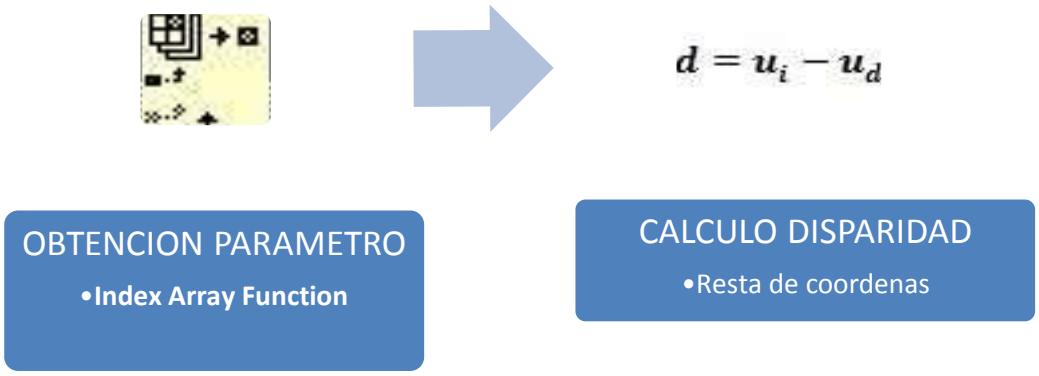

Figura.14 Proceso para el cálculo de la disparidad.

Como se puede observar en la figura 14, luego de obtener los centros de masa, convertir de pixeles a centímetros se realiza la resta de coordenadas $\mathbf{u_i}$ menos $\mathbf{u_d}$, con lo cual se obtiene el dato de la disparidad necesario para poder obtener la coordenada ***z***.

3.6 ESTIMACIÓN DE LA UBICACIÓN ESPACIAL DEL OBJETO.

Al utilizar la información obtenida de los centros de masa y disparidad se logra obtener la ubicación espacial del objeto, debido a que al resolver la ecuación 8 y 9 se obtienen las coordenadas (**x**, **y**) del objeto y luego después mediante la ecuación 7 se obtiene la coordenada ***z*** con lo cual se logra determinar la coordenada espacial de

ubicación del objeto dando como resultado el cumplimiento del objetivo principal del sistema, el cual es el estimar la coordenada espacial de un objeto en un escena.

Adicionalmente se ha logrado aplicar el sistema de visión para que haga una estimación de dimensiones de objetos, por ejemplo como el alto o largo de una superficie como una pared, una caja, etc. La aplicación del sistema en la rama de la arquitectura puede favorecer mucho a la optimización de tiempo y recursos al momento de realizar un proceso como lo es el levantamiento arquitectónico puesto que el sistema ayudará a que este proceso se ejecute en menos tiempo y con el mínimo esfuerzo.

El principio de funcionamiento es el mismo, simplemente se requiere ubicar dos puntos en el objeto que se desee medir, por ejemplo una pared, se ubican dos puntos y el sistema estima la distancia que hay entre los dos puntos dando como resultado en este caso la dimensión de la pared, minimizando de cierta manera el trabajo de los arquitectos, ya que el sistema obtendría directamente un valor estimado del largo o alto de la pared sin tener que medirla con métodos tradicionales como lo es con el uso de un flexómetro o cinta.

CAPITULO IV

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 PRUEBAS DE CALIBRACIÓN DE LAS CÁMARAS.

La calibración o ajustes de parámetros de las cámaras son de suma importancia para el desempeño del sistema tal como se explicó en capítulos anteriores, puesto que la calidad de la imagen que entregue cada cámara es un factor crítico para el buen desempeño del software.

Independientemente del tipo de cámara que se utilice se debe calibrar el enfoque y la luminosidad de la cámara hasta que la imagen resulte óptima para el sistema, cabe recalcar que este proceso se lo hace únicamente al iniciar el software, de manera manual en el caso de las cámaras Basler usadas en este sistema.

Las cámaras Basler cuentan con perillas para el ajuste de los parámetros mencionados anteriormente, como lo muestra la figura 15.

Figura.15 Lente para cámara Basler usada en el sistema de visión [2]

Como se indicó en capítulos anteriores la calidad de las imágenes adquirida por la cámara Basler del sistema debe ser la mejor posible, ya que si la imagen está opaca u obscura con poca nitidez, es decir está mal configurada la cámara, no se podría llevar a cabo correctamente el siguiente proceso ya que incurriría en errores de cálculo, lo cual acarrearía una mala estimación de las coordenadas de posición del objeto.

Figura.16 Imágenes adquiridas desde las cámaras Basler correctamente configuradas

Al configurar correctamente los parámetros en las cámaras se obtiene imágenes de mayor claridad y nitidez como lo muestra la figura 16, parámetros fundamentales para el correcto desempeño del software, ya que permite un fácil procesamiento de la imagen y su posterior cálculo de las coordenadas del objeto.

4.2 PRUEBAS DE ADQUISICIÓN DE LA IMAGEN EN TIEMPO REAL.

Primeramente es necesario contar con cuatro equipos indispensables como lo son la pc, dos cámaras Basler y por último el sistema embebido de visión que en este caso es el EVS-1460 de la National Instruments, en el cual se fundamenta todo el sistema de estimación.

Para poder hacer la adquisición de imágenes es necesario conectar correctamente el sistema embebido de visión con la pc y configurar ciertos parámetros.

Lo que hay que tener en cuenta para la correcta comunicación entre los dos equipos es lo siguiente:

- Conectar mediante cable de red, los dos equipos desde el puerto LAN del EVS hacia el puerto de red de la pc.
- Desactivar el Firewall de Windows.
- Configurar la tarjeta de red con una IP fija en este caso, o dependiendo una dinámica o DHCP.
- Ingresar a la ventana de comandos de Windows "cmd" y hacer ping a la dirección del equipo.
- Iniciar el Measurement & Automation de la national instruments.
- En la pestaña de Remote Systems debe aparecer el nombre del equipo conectado.
- Si hacemos click en el nombre podemos acceder al equipo y ver todas sus configuraciones de red, software, librerías, capacidad de memoria, etc.
- Si podemos acceder a esta información significa que el sistema embebido está correctamente vinculado a la pc y listo para ser utilizado.
- Las cámaras deben ser conectadas de igual manera en cada puerto correspondiente en el EVS para que el sistema las reconozca y puedan ser usadas por el software en cualquier momento.

Como se indicó en capítulos anteriores este sistema embebido es el encargado de transmitir las imágenes captadas por las cámaras Basler en tiempo real hacia la pc, los parámetros propios de este modelo de cámara hace que el retardo sea imperceptible por lo tanto se puede hablar de una adquisición en tiempo real.

4.3 PRUEBAS DE RECONOCIMIENTO DEL OBJETO.

El procesamiento de la imagen es necesario hacerlo de manera óptima para poder acondicionar la señal de ingreso del sistema que en este caso son las imágenes de las cámaras y así poder ingresarlas en el software.

Reconocer un objeto determinado en una escena es esencial, ya que si no tenemos un objeto de análisis no podremos obtener ninguna información y peor aún calcular

algún parámetro referente a dicho objeto. Es por ello que se debe someter al proceso de binarización y etiquetado del objeto, lo cual se explicó a detalle en el capítulo 3. Y se obtuvieron los resultados que se observan en la figura 17. En donde se observa la binarización de las imágenes y luego su etiquetado, en donde el primer objeto encontrado se vuelve rojo y el segundo verde, esto permite tener un control de cuantos objetos está identificando el sistema, que para la estimación de coordenadas espaciales debe ser únicamente un objeto y para la estimación de dimensiones debe ser de dos objetos.

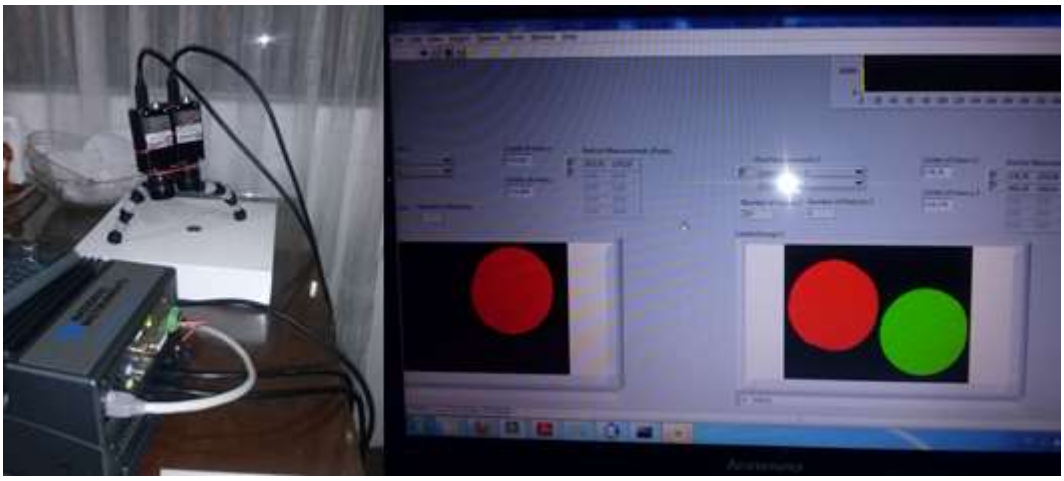

Figura.17 Resultados de la binarización y etiquetado de las imágenes adquiridas.

4.4 PRUEBAS DEL CÁLCULO DE CENTRO DE MASA DEL OBJETO.

Al momento de calcular los centros de masa se debe tener en consideración si el proceso de binarización y etiquetado está con la condiciones requeridas, es decir que en la imagen se reconozca únicamente un objeto y por ende solo este etiquetado un objeto, ya que puede ocurrir errores de cálculo si existe más de un objeto reconocido por el sistema.

Es algo esencial también considerar que el objeto de análisis debe estar presente de forma total tanto en la imagen de la cámara izquierda como en la de la cámara derecha, es decir que el objeto no puede estar ausente ni tampoco estar en forma parcial en ninguna de las dos imágenes, debido a que el algoritmo requiere esta condición para realizar el cálculo.

Los resultados de la determinación del centro de masa del objeto se visualiza en la figura 18, en donde se puede notar que existen dos centros de masa, uno para el objeto visualizado en la cámara izquierda y otro para la derecha, posteriormente se realiza en base a estos datos el cálculo de la disparidad y finalmente la estimación de distancia desde la cámara hacia el objeto.

Figura.18 Resultados del cálculo de centro de masa del objeto analizado.

4.5 PRUEBAS DE ESTIMACIÓN DE DISTANCIA.

El sistema fue sometido a reiteradas pruebas de funcionamiento con el fin de que se logre poner a punto el software para que nos brinde una estimación lo más cercana a la realidad, es importante no olvidar de que si las condiciones en la escena no son las óptimas el error se hará presente, es por ello que se debe tener todos los parámetros configurados y controlados.

El la figura 19 se puede observar un ejemplo de estimación de distancia hacia un objeto, el cual se encuentra a 46cm medido desde las cámaras (figura 20), el sistema luego del procesamiento y posterior análisis y cálculo estima que la distancia es 46,28cm lo cual es bastante parecido a lo realmente se obtuvo con la medición

manual, demostrando que el sistema coincide o tiene una correspondencia con los valores reales, por tanto se comprueba el correcto funcionamiento del sistema.

Fig.19 Resultados de la estimación de distancia hacia el objeto analizado.

Figura.20 Distancia real medida desde las cámaras hacia el objeto analizado.

4.5.1 MEDICIONES CON INTENSIDAD DE ILUMINACIÓN DE 170 LUX.

La tabla 1 muestra los resultados obtenidos de la comparación de las medidas reales con las medidas estimadas que entrega el sistema de visión, así como los errores absolutos y relativos de cada muestra. Las gráficos 1, 2, 3, 4, 5 muestran la curva de valores reales y la curva de valores estimados para 5 distancias diferentes.

# Muestra	Lux	Distancia Real (cm)	Distancia estimada (cm)	Error Absoluto (cm)	Error Relativo %	Error Absoluto Promedio	Error Relativo Promedio
1	170	30	29,65	0,35	1,17%	0,31	1,04%
2	170	30	29,72	0,28	0,93%		
3	170	30	29,70	0,30	1,00%		
4	170	30	29,68	0,32	1,07%		
5	170	36	35,76	0,24	0,67%	0,28	0,78%
6	170	36	35,71	0,29	0,81%		
7	170	36	35,70	0,30	0,83%		
8	170	36	35,70	0,30	0,83%		
9	170	38	37,80	0,20	0,53%	0,18	0,47%
10	170	38	37,79	0,21	0,55%		
11	170	38	37,78	0,22	0,58%		
12	170	38	37,91	0,09	0,24%		
13	170	40	40,50	0,50	1,25%	0,39	0,98%
14	170	40	40,39	0,39	0,98%		
15	170	40	40,36	0,36	0,90%		
16	170	40	40,32	0,32	0,80%		
17	170	46	46,44	0,44	0,96%	0,41	0,89%
18	170	46	46,38	0,38	0,83%		
19	170	46	46,40	0,40	0,87%		
20	170	46	46,41	0,41	0,89%		

Tabla.1Resultados de mediciones con una intensidad de 170 lux.

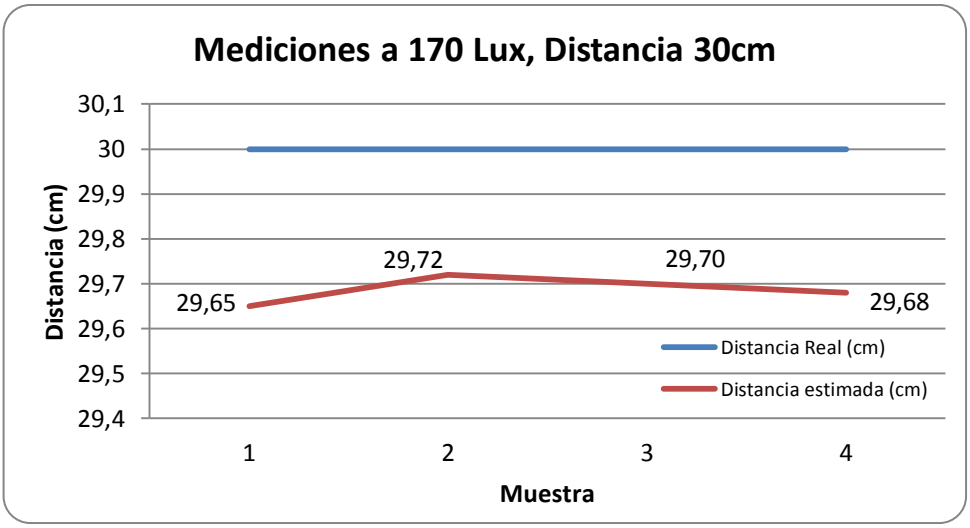

Gráfico.1 Mediciones con 170 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 30cm.

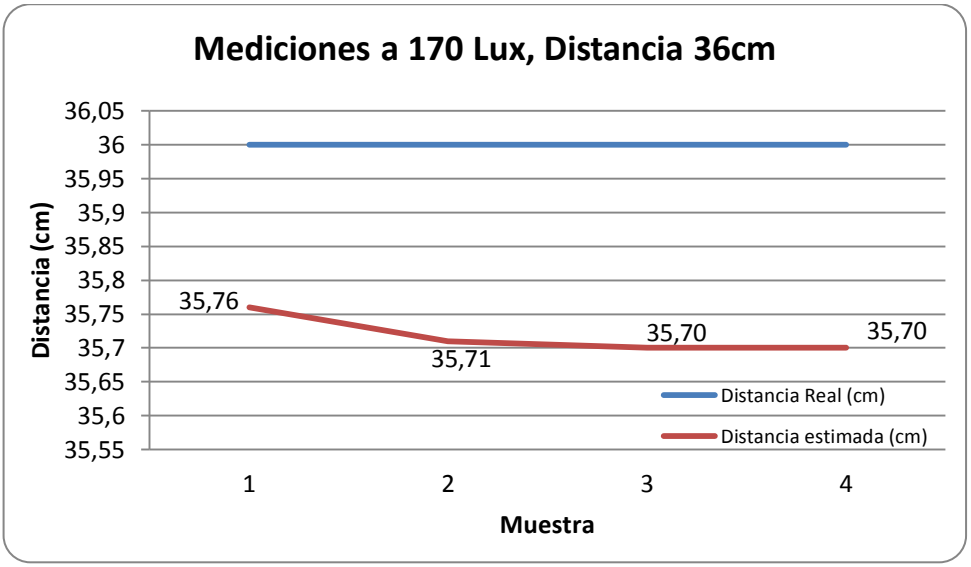

Gráfico.2 Mediciones con 170 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 36cm.

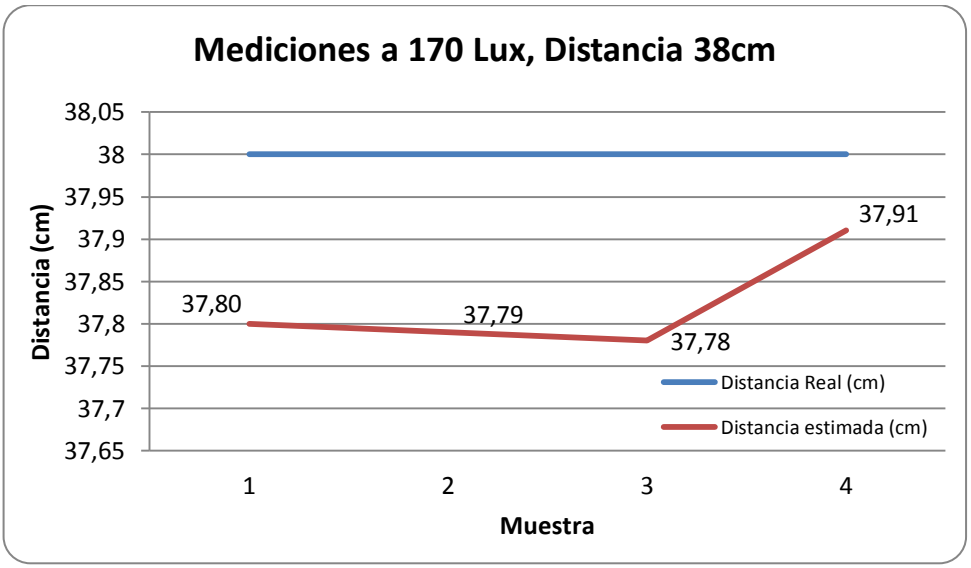

Gráfico.3 Mediciones con 170 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 38cm.

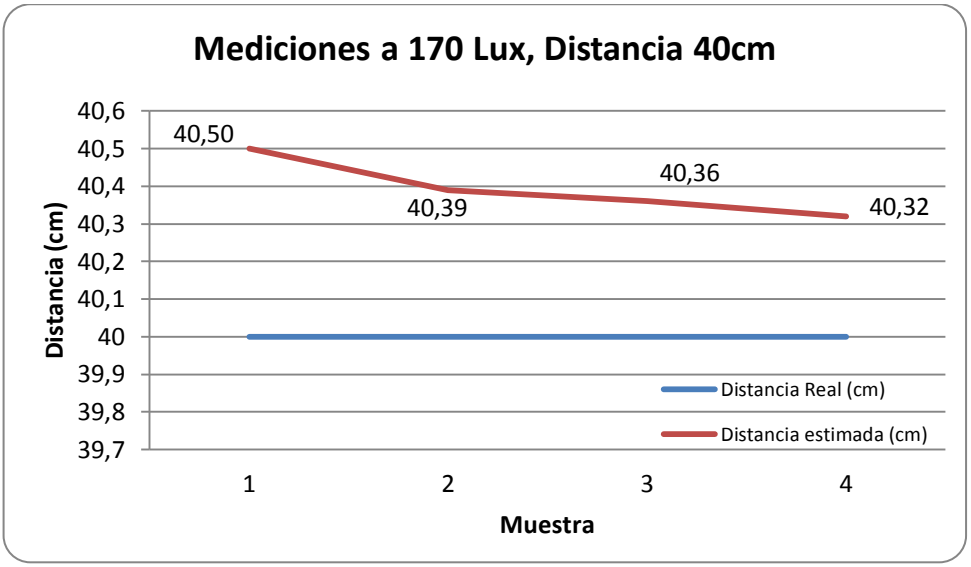

Gráfico.4 Mediciones con 170 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 40cm.

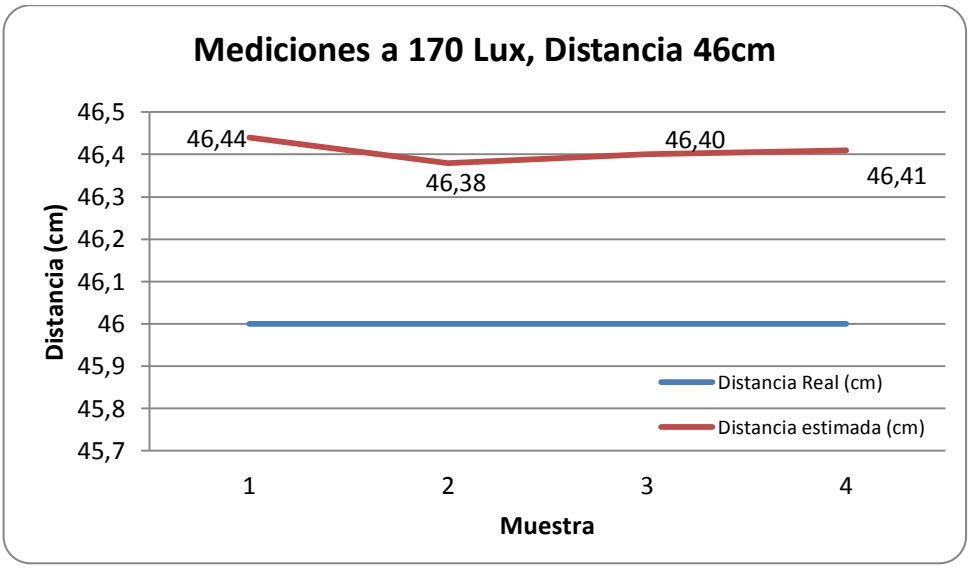

Gráfico.5 Mediciones con 170 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 46cm.

4.5.2 Mediciones con intensidad de iluminación de 250 lux.

La tabla 2 muestra los resultados obtenidos de la comparación de las medidas reales con las medidas estimadas que entrega el sistema de visión, así como los errores absolutos y relativos de cada muestra. Las gráficos 6, 7, 8, 9, 10 muestran la curva de valores reales y la curva de valores estimados para 5 distancias diferentes.

# Muestra	Lux	Distancia Real (cm)	Distancia estimada (cm)	Error Absoluto (cm)	Error Relativo %	Error Absoluto Promedio	Error Relativo Promedio
1	250	30	27,04	2,96	9,9%	2,78	9,3%
2	250	30	27,21	2,79	9,3%		
3	250	30	27,31	2,69	9,0%		
4	250	30	27,32	2,68	8,9%		
5	250	36	33,89	2,11	5,9%	2,00	5,5%
6	250	36	33,94	2,06	5,7%		
7	250	36	33,98	2,02	5,6%		
8	250	36	34,20	1,80	5,0%		
9	250	38	36,80	1,20	3,2%	1,04	2,7%
10	250	38	36,94	1,06	2,8%		
11	250	38	36,97	1,03	2,7%		
12	250	38	37,12	0,88	2,3%		
13	250	40	38,67	1,33	3,3%	1,22	3,0%
14	250	40	38,77	1,23	3,1%		
15	250	40	38,79	1,21	3,0%		
16	250	40	38,90	1,10	2,8%		
17	250	46	45,12	0,88	1,9%	0,69	1,5%
18	250	46	45,35	0,65	1,4%		
19	250	46	45,38	0,62	1,3%		
20	250	46	45,40	0,60	1,3%		

Tabla.2Resultados de mediciones con una intensidad de 250 lux.

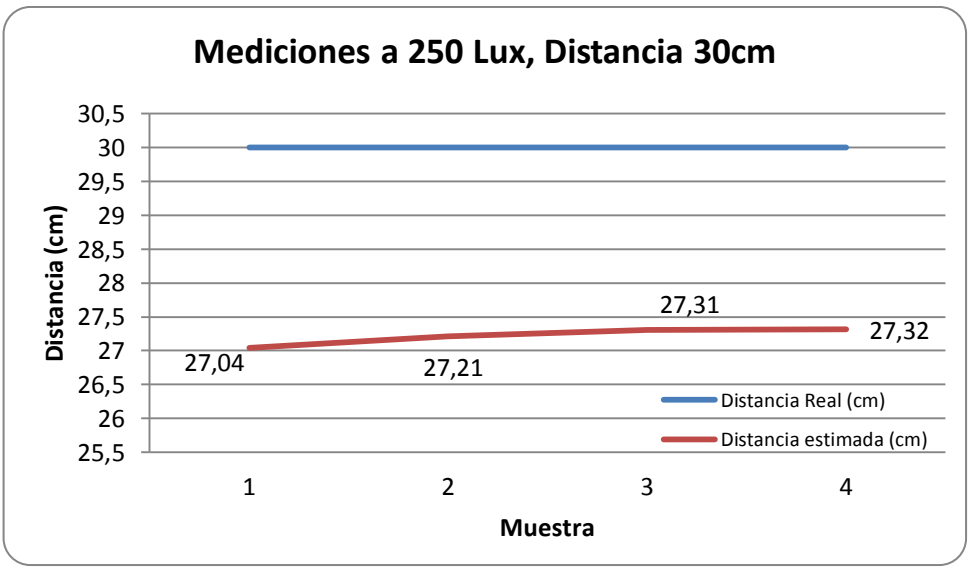

Gráfico.6 Mediciones con 250 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 30cm.

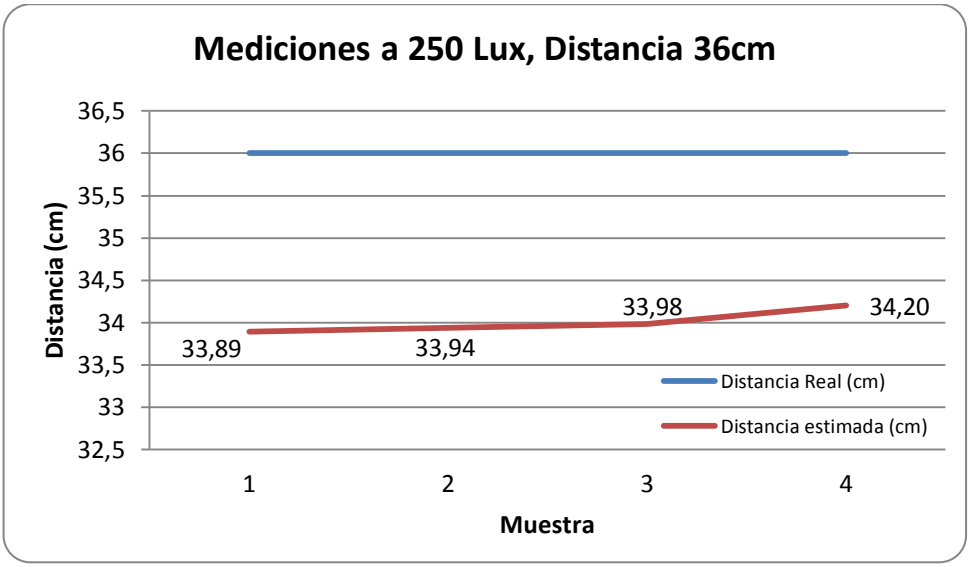

Gráfico.7 Mediciones con 250 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 36cm.

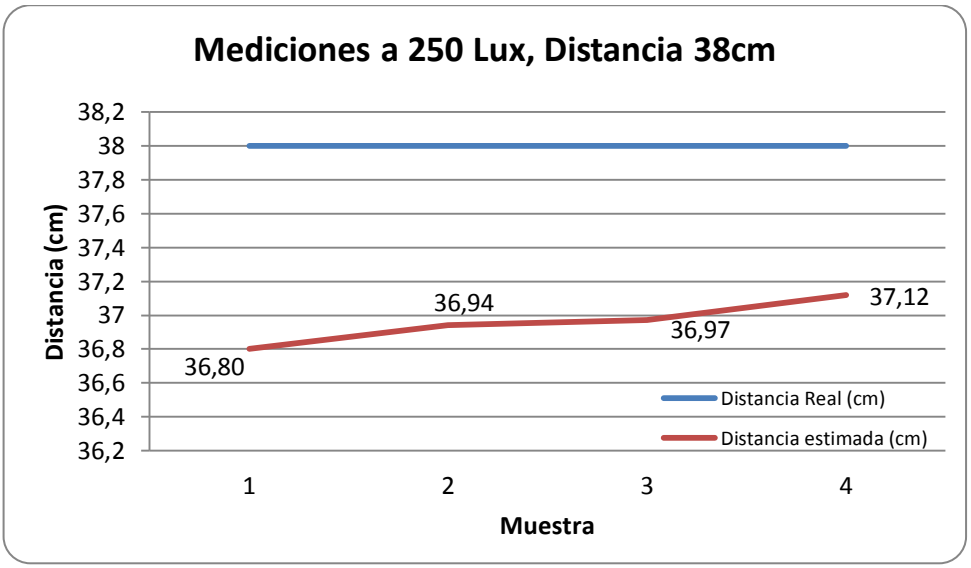

Gráfico.8 Mediciones con 250 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 38cm.

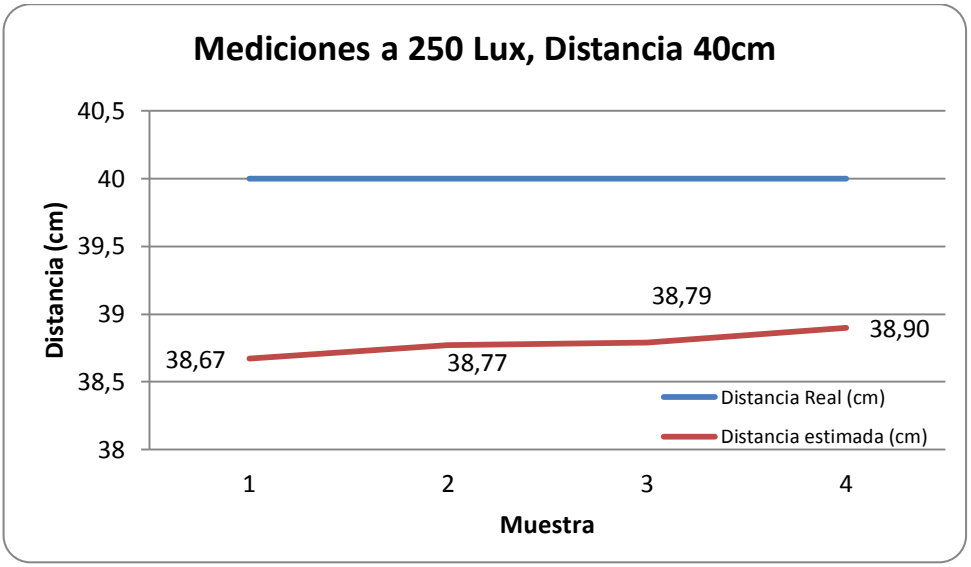

Gráfico.9 Mediciones con 250 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 40cm.

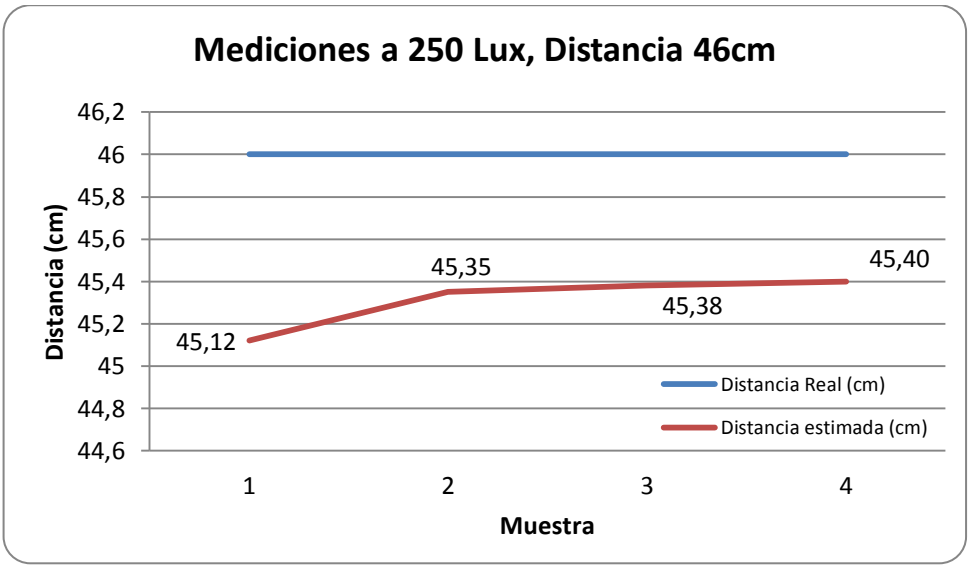

Gráfico.10 Mediciones con 250 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 46cm.

4.5.3 Mediciones con intensidad de iluminación de 500 lux.

La tabla 3 muestra los resultados obtenidos de la comparación de las medidas reales con las medidas estimadas que entrega el sistema de visión, así como los errores absolutos y relativos de cada muestra. Las gráficos 11, 12, 13, 14, 15 muestran la curva de valores reales y la curva de valores estimados para 5 distancias diferentes.

# Muestra	Lux	Distancia Real (cm)	Distancia estimada (cm)	Error Absoluto (cm)	Error Relativo %	Error Absoluto Promedio	Error Relativo Promedio
1	500	30	27,43	2,57	8,6%	2,48	8,3%
2	500	30	27,51	2,49	8,3%		
3	500	30	27,54	2,46	8,2%		
4	500	30	27,59	2,41	8,0%		
5	500	36	33,65	2,35	6,5%	2,27	6,3%
6	500	36	33,69	2,31	6,4%		
7	500	36	33,78	2,22	6,2%		
8	500	36	33,81	2,19	6,1%		
9	500	38	36,66	1,34	3,5%	1,28	3,4%
10	500	38	36,71	1,29	3,4%		
11	500	38	36,73	1,27	3,3%		
12	500	38	36,78	1,22	3,2%		
13	500	40	38,47	1,53	3,8%	1,50	3,7%
14	500	40	38,49	1,51	3,8%		
15	500	40	38,52	1,48	3,7%		
16	500	40	38,54	1,46	3,7%		
17	500	46	42,90	3,10	6,7%	2,95	6,4%
18	500	46	42,95	3,05	6,6%		
19	500	46	43,11	2,89	6,3%		
20	500	46	43,25	2,75	6,0%		

Tabla.3Resultados de mediciones con una intensidad de 500 lux.

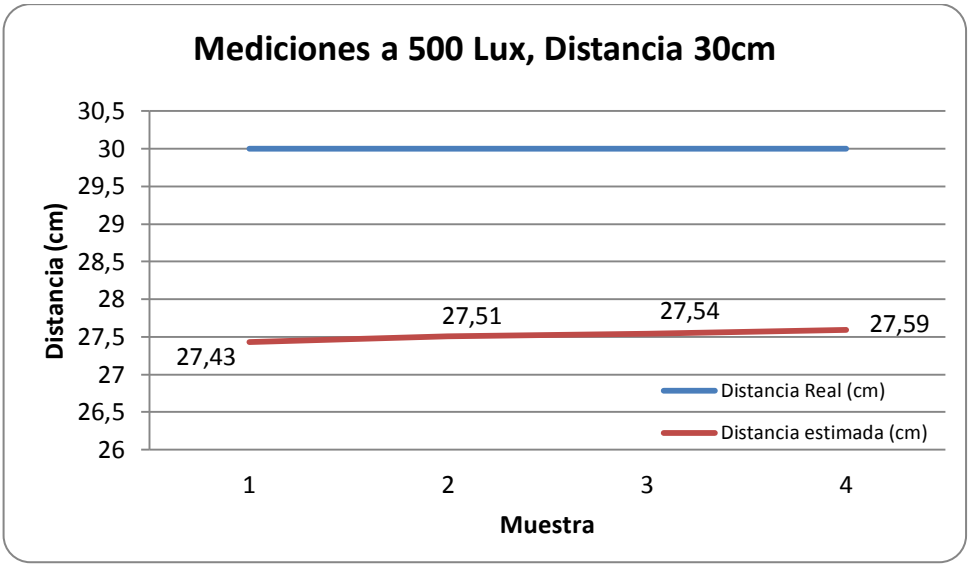

Gráfico.11 Mediciones con 500 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 30cm.

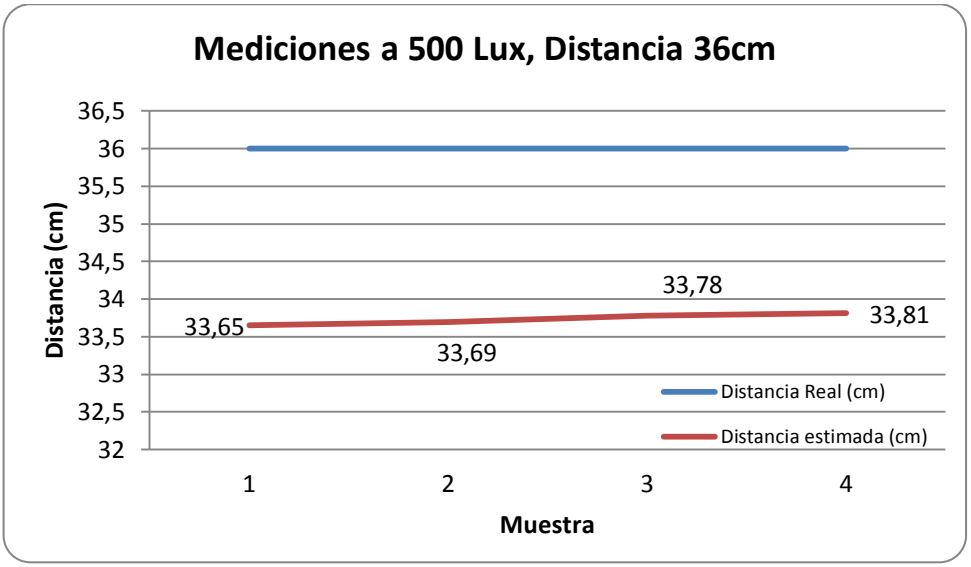

Gráfico.12 Mediciones con 500 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 36cm.

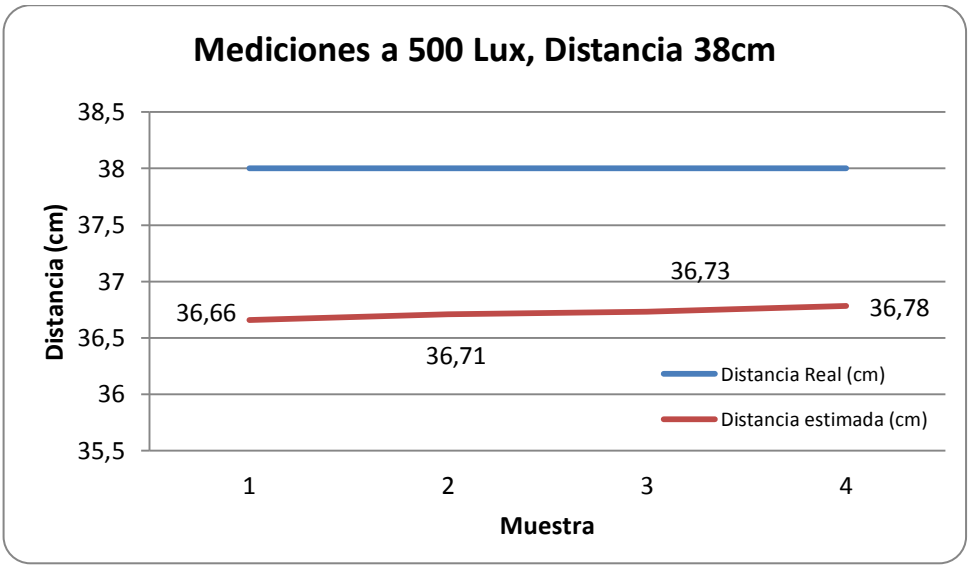

Gráfico.13 Mediciones con 500 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 38cm.

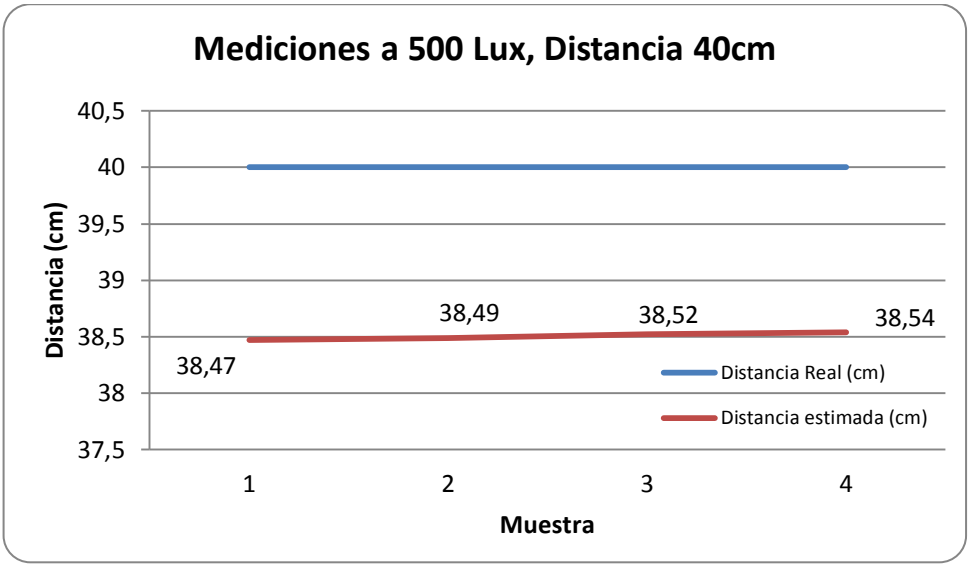

Gráfico.14 Mediciones con 500 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 40cm.

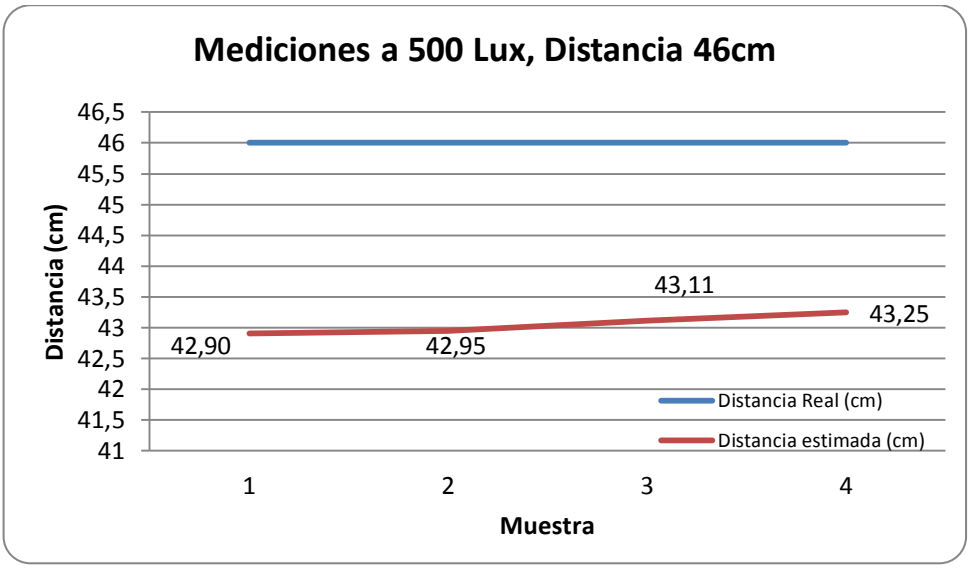

Gráfico.15 Mediciones con 500 lux de 1ntensidad de luz, Distancia 46cm.

4.6 PRUEBAS DE ESTIMACIÓN DE DIMENSIÓN.

El empleo del sistema en la rama de la Arquitectura es una ampliación sumamente práctica que optimizara ciertos procesos ayudando a los profesionales de este campo a tomar datos de manera más rápida como el largo, alto de una pared, etc. En la figura 21 se muestra una caja de madera la cual tiene señalados dos puntos que se desean medir, es decir obtener la distancia que existe entre ellos, para ello el sistema consta de otro VI el cual se encarga de hacer este dimensionamiento de manera rápida y sin muchas complicaciones.

Este principio de funcionamiento permite así obtener cualquier la distancia lineal que existe entre dos puntos, pudiendo darle otros usos o aplicaciones en esta u otra rama sin ningún problema.

Cabe recalcar que siempre será necesario escoger los dos puntos que se desean medir, ya que si no existen estos dos puntos de referencia el sistema simplemente dará una respuesta errónea.

Figura.21 Pruebas de dimensionamiento de una caja de madera.

CAPITULO V

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.

Los robots por lo general interactúan en lugares que no siempre estarán libres de obstáculos. Es por ello que además de estar equipados por dos cámaras o más, deben incorporar un software que permita reconstruir la escena tridimensional a partir de las imágenes que capturen las cámaras.

La obtención por parte de un computador de distancias hacia un objeto no se puede considerar como un procedimiento directo, ya que requiere un proceso de acondicionamiento y procesamiento de imágenes que facilitaran el cálculo a los algoritmos matemáticos que permitirán obtener las coordenadas de ubicación espacial de un objeto determinado.

Todo sistema o prototipo que base su funcionamiento en sistemas de visión artificial necesita de una gran velocidad de procesamiento de información, ya que si no es así el sistema se tornaría lento y poco funcional, es por ello que se debe escoger correctamente los elementos o dispositivos que serán los encargados de este proceso, en este caso particular seria el sistema embebido de visión EVS y sus cámaras Basler.

La visión estereoscópica es una de las maneras que existen para adquirir información de una escena tridimensional, la distancia a los objetos que estén en la escena es una información útil en muchos y diversos campos de la tecnología, como en la robótica. Es por ello que por medio del diseño de la aplicación se logró obtener la estimación de la distancia a un objeto y su posición en el espacio.

Al diseñar e implementar una aplicación que permita estimar la ubicación espacial de un objeto esférico en una escena tridimensional, se ha logrado aportar con futuros proyectos de investigación con robots KUKA en la Universidad Politécnica Salesiana, así como también la mejora de algunos procesos que se realizan en el campo de la arquitectura como levantamientos arquitectónicos, medición de terrenos, etc.

Es importante considerar la cantidad de luz en la escena en donde se va a desenvolver el sistema de visión, ya que como se puede observar en las tablas y curvas de resultados, mientras más cantidad de luz exista en la escena, el sistema tendrá mayor rango de error, según el proceso de medición se debe calibrar el sistema considerando la cantidad de lúmenes por metro cuadrado o lux en la escena de la manera más exacta posible, en este caso debe estar en el rango de 170 a 200 lux para que el sistema estime adecuadamente, si la escena necesariamente debe estar con intensidades superiores, es necesario ajustar los parámetros del sistema y de la cámara para que su desempeño sea el requerido.

El análisis de resultados permite identificar que el error en el sistema de estimación aumenta conforme aumenta la cantidad de lúmenes por metro cuadrado o lux, y también de la distancia mínima en la que se encuentre el objeto debe ser 30cm, debido a que si el objeto se encuentra más cerca, el objeto es captado parcialmente por las cámaras y por tanto no puede estimar correctamente una distancia.

5.2 RECOMENDACIONES.

En los sistemas que basan su funcionamiento en el procesamiento de imágenes y visión artificial en general es necesario considerar aspectos como los que siguen a continuación.

Las condiciones o el ambiente en donde se va poner en marcha el sistema, es decir el ruido, la temperatura, la cantidad de luz, etc. La luz en particular influye notoriamente en la calidad los resultados que pueda dar el sistema de visión, debido a que si se adquiere imágenes con poca o demasiada luz, el sistema incurrirá en un error de cálculo al momento de procesar las imágenes, es por ello que se debe considerar aquello, pero en el caso de que no se pudiere modificar estas las condiciones se debe tener mayor profundización en el bloque de filtrado y adecuación de las imágenes para mejorar de esta manera la calidad de la imagen adquirida previo al ingreso al bloque de procesamiento y de cálculos respectivos.

Las cámaras Basler son cámaras industriales de excelentes prestaciones, pero también necesitan de un detallado proceso de calibración, es por ello que se debe

realizar este proceso minuciosamente mediante el ajuste del enfoque y luminosidad, estos parámetros se configuran manualmente girando las perillas situadas al contorno del lente de la cámara conjuntamente con la visualización del efecto de los mismos en la pantalla. Se debe procurar que el ajuste de los parámetros sea similar en las dos cámaras, para el caso de la visión estereoscópica, ya que se necesita que las dos imágenes adquiridas tengan las mismas condiciones y características, para que el procesamiento sea más óptimo.

Para la conexión de la PC con el EVS es necesario consideran que se debe usar un cable de red cruzado, además que la pc debe estar configurada un IP dinámica o DHCP para que el EVS le asigne una dirección IP que este dentro de la red del equipo y puedan establecer una conexión, o asignar manualmente una dirección IP fija, pero para esto se requiere saber con anterioridad la dirección IP que tenga el equipo. Para verificar que tanto la PC como el EVS están en red se puede ingresar a la ventana de comandos o símbolo del sistema en la PC y hacer un ping a la dirección IP del EVS y verificar que se obtenga una respuesta.

La versión del software también influye directamente en la disponibilidad de ciertas herramientas en la PC y el EVS, es por ello que se debe tener el mismo software instalado en la PC y en el EVS para no tener problemas de incompatibilidad, en el caso particular de este proyecto se utilizó la versión LabVIEW 2010.

BIBLIOGRAFÍA.

[1] TURRABIATES LOPEZ, Tania, "Apuntes de inteligencia artificial", Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache, México, 2004

[2] NATIONAL INSTRUMENTS, "NI EVS-1464 (Windows) Sistema de Visión con Windows 7, GigE Vision, IEEE 1394b" Fecha de revisión: enero 2012. Disponible en: http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/210344

[3] RUSSELL, Stuart y NORVING, Peter "Inteligencia artificial: un enfoque moderno". 2ª edición, Prentice Hall, México 2004.

[4] FONG T, NOURBAKHSH I y DAUTENHAHN K, "A survey of socially interactive robots: concepts, design, and applications", Technical Report No. CMU-RI-TR-02-29, Robotics Institute, Carnegie Mellon University, 2002.

[5] DAUTENHAHN K, "The art of designing socially intelligent agents-science, fiction, and the human in the loop, Applied Artificial Intelligence Journal, 1998", Robotics Institute, Carnegie Mellon University, 2002.

[6] BRADSKI R, "Computer Vision Face Tracking For Use in a Perceptual User Interface", Microcomputer Research Lab, Santa Clara, CA, Intel Corporation, 1998.

[7] KONG S, HEO J y ABIDI, "Recent advances in visual and infrared face recognition" Computer Vision and Image Understanding, 2005.

[8] CARABALLO R, "Desarrollo de software para la ayuda en el aterrizaje autónomo mediante visión por computador"; Proyecto Fin de Carrera, Universidad de Sevilla, Ingeniería de Telecomunicaciones; Feb. 2010.

[9] KENDOUL F, FANTONI I y NONAMI K, "Optic Flow-Based Vision System for Autonomous 3D Localization and Control of Small Aerial Vehicles"; Robotics and Autonomous Systems, 2011.

[10] SAIZ M, "Reconstrucción tridimensional mediante visión estéreo y técnicas de optimización" Universidad Pontificia Comillas, Madrid, 2010.

[11] MOLINA R, "Del procesamiento a la Visión artificial", Universidad de Granada, España, Abril 2008

[12] KLINGER T, "Image processing with LabVIEW and imaq vision", Prentice Hall, 2003.

[13] SAIZ M, "Reconstrucción tridimensional mediante visión estéreo y técnicas de optimización" Universidad Pontificia Comillas, Madrid, 2010.

ANEXO 1

ANTEPROYECTO

1. TEMA.

"Estimación de coordenadas espaciales de un objeto esférico usando LabView y el Embedded Visión System (EVS) de National Instruments"

2. JUSTIFICACIÓN.

La visión estereoscópica es uno de las maneras que existen para adquirir información de una escena tridimensional, la distancia a los objetos que estén en la escena es una información útil en muchos y diversos campos de la tecnología, como en la robótica, en la que un robot móvil debe poseer información precisa sobre el ambiente que le rodea para poder operar sin riesgo alguno. Es por ello que por medio del diseño de la aplicación se logrará reconstruir una escena tridimensional que permita llevar acabo la estimación de la distancia a un objeto y por ende su posición en el espacio.

3. PROBLEMÁTICA.

Los robots por lo general deben interactuar en lugares que no siempre estarán libres de obstáculos. Por lo tanto estos robots, además de estar equipados por dos cámaras o más, deben incorporar un software que permita reconstruir la escena tridimensional a partir de las imágenes que capturen las cámaras.

Ese software no solamente debe reconstruir la escena con la mayor exactitud posible, es significativo también que lo haga en el menor tiempo posible, para que el robot de ser necesario tome decisiones de manera precisa.

La obtención por parte de un computador de distancias hacia un objeto no se puede considerar como un procedimiento directo, ya que requiere un proceso de acondicionamiento y procesamiento de imágenes que facilitaran el cálculo a los

algoritmos matemáticos que permitirán obtener las coordenadas de ubicación espacial de un objeto determinado.

4. OBJETIVOS.

4.1 OBJETIVO GENERAL.

Realizar una aplicación basada en LabView que permita estimar las coordenadas espaciales de un objeto esférico usando el Embedded Vision System (EVS).

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Diseñar e implementar una aplicación que permita estimar la ubicación espacial de un objeto esférico en una escena tridimensional, por medio de una técnica de visión estereoscópica.
- Diseñar e implementar una aplicación que permita estimar la distancia que existe desde la cámara hacia un objeto esférico en una escena tridimensional.

5. MARCO TEÓRICO.

5.1 INTRODUCCIÓN.

La visión del Hombre es binocular, es decir que el cerebro humano interpreta la entorno a partir de dos imágenes con pequeñas diferencias entre ellas, debidas a la separación que posee entre sus ojos, que en promedio es de 65mm. La diferencia o disparidad entre estas imágenes es uno de los elementos utilizados por el cerebro para apreciar la profundidad de una imagen determinada.

La evolución de la fauna en la naturaleza ha hecho que las especies que precisan de una percepción muy exacta de la profundidad en caso particular los depredadores posean una visión binocular estereoscópica, pues el ángulo de visión de ambos ojos se sobrepone en un alto porcentaje.

Aquellas especies que, por el contrario, precisan únicamente de un control de su entorno, como es el caso de los herbívoros, no poseen visión estereoscópica, pues cada ojo percibe imágenes de un área diferente.

La disparidad no es la única señal de profundidad utilizada por el cerebro para percibir la tridimensionalidad de un ambiente, ya que existen otras señales que también permiten interpretar adecuadamente la profundidad de una imagen plana.

5.2 VISIÓN ARTIFICIAL.

En el intento de dotar a las máquinas de un sistema de visión aparece el concepto de visión artificial. La visión artificial es una tarea más difícil a comparación de lo que pueden lograr las personas, sus aplicaciones cada vez son más demandadas en todos los campos del desarrollo humano.

La visión artificial es un conjunto de técnicas y teorías basadas en el estudio del comportamiento de la visión humana, la cual trata de describir el mundo que se observa en una o más imágenes y reconstruir sus propiedades geométricas como: forma y tamaño; propiedades de los materiales como: color y textura; para este fin las imágenes son procesadas digitalmente en un computador y, utilizando distintos tipos de algoritmos que emulen la capacidad visual y otras destrezas, obtener un sistema inteligente.

Existen múltiples aplicaciones de la visión artificial en la industria, sobre todo en la realización de tareas que tengan carácter repetitivo, entre las principales actividades están la inspección, selección de productos, control de calidad, embalaje y monitoreo de procesos.

Una aplicación utilizando visión artificial involucra ciertos procesos como lo muestra la figura1.

Fig.1 Procesos básicos en un sistema de visión.

5.2.1 VISIÓN ESTEREOSCÓPICA.

Con la visión artificial se puede obtener imágenes que contengan una gran cantidad de información del entorno, pero la profundidad de la escena no es apreciable. Esta desventaja se puede solucionar obteniendo dos o más imágenes desde una diferente percepción a la primera, y mediante utilización de técnicas se puede reconstruir la escena tridimensional.

Se define visión estereoscópica como aquella en la que se emplea más de una imagen para obtener una escena de tridimensionalidad. Según el número de imágenes que se emplee, (se habla de visión bifocal –dos imagines o vistas-, trifocal -tres imágenes o vistas-, o n-focal –n imágenes o vistas), en cada uno de los casos se aplica una serie de restricciones basadas en la geometría.

La reconstrucción tridimensional se puede realizar en base a diferentes métodos, y cuando son solucionados en base a la óptica se pueden clasificar en métodos pasivos y métodos activos.

Los métodos pasivos permiten obtener información de la profundidad de la escena mediante la fusión de dos o más escenas captadas mediante cámaras. Estas técnicas

simulan la capacidad del ojo humano de captar tridimensionalmente una escena a partir de las dos imágenes tomadas por sus ojos. [2]

Los métodos activos hacen intervenir una fuente de luz específica para determinar las coordenadas tridimensionales de los puntos de medida. Estos sistemas constan siempre como mínimo de un emisor de luz y un receptor, sólo sirven para cuerpos negros, especulares ni transparentes así como con medios participativos.

5.2.2 ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES.

Como humanos, poder percibir el mundo que nos rodea en tres dimensiones, resulta un proceso relativamente fácil, sin embargo la visión artificial no tiene todas las facilidades con las que cuenta nuestro sistema visual. De esta manera es necesario contar con ciertos procesos mínimos para obtener una percepción más cercana a la realidad.

El espectro visible es una porción muy pequeña del conjunto de ondas electromagnéticas que tiene la peculiaridad de ser captada por los ojos y procesada en el cerebro. El ojo humano es capaz de distinguir radiaciones de longitudes de onda comprendidas entre los 380nm y los 780nm.

Para producir una imagen, la escena de una fotografía debe estar iluminada con una o más fuentes de luz, el saber escoger una técnica de iluminación adecuada puede ahorrar tiempo en la elaboración de algoritmos para compensar posibles errores debido a la iluminación, y a su vez hace más confiable y rápida a la aplicación con la que se está trabajando.

Cuando el reflejo de luz incide sobre un objeto y es recolectado por el lente de la cámara, se convierte en una imagen. Se utiliza una iluminación controlada para poder acentuar las características de interés de una imagen y atenuar las características innecesarias, siendo esto crítico cuando hay formas complejas o superficies muy reflectantes.

Una imagen al ser procesada se convierte en una matriz de [mxn] variables (dependiendo de la resolución la cámara) con origen de coordenadas en la esquina superior izquierda, donde cada elemento de la matriz se lo conoce como pixel, además a la imagen se le da la función f(x,y), donde [x] es el valor de la fila y [y] el valor de la columna.

Una cámara a colores posee tres sensores, que relacionan las longitudes de onda del color rojo (R), verde (G), y azul (B). En una imagen de este tipo la función f(x,y) devuelve un vector, con los valores de proyección del color sobre el sistema RGB.

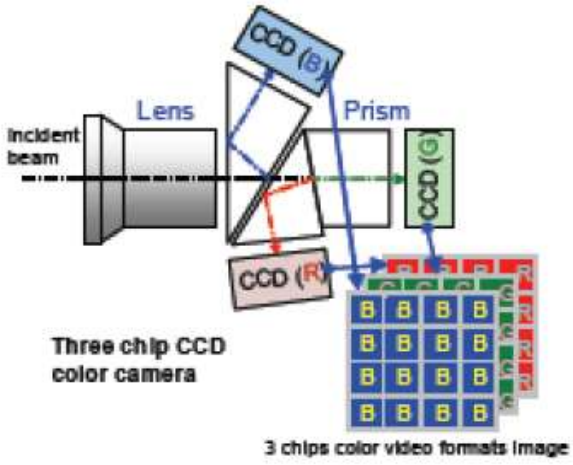

Fig.2 Formación de una imagen RGB [3]

Si en cambio, la imagen adquirida se la representa en escala de grises, los valores de los pixeles están entre 0 y 255, esto es debido a que se utiliza un byte de cuantificación por píxel, aquí el valor que retornará en la función f(x,y) corresponderá al valor de la luminancia que posee la imagen.

El cero será el color negro y el valor 255 corresponderá con el blanco.

5.3 EMBEDDED VISION SYSTEM EVS.

El Sistema Embebido de Visión es un controlador sin ventilación que combina conectividad con cámara industrial y comunicación abierta con el alto rendimiento y la flexibilidad de un procesador multinúcleo.

El NI EVS-1464 está diseñado para procesar imágenes desde múltiples cámaras GigE Vision y IEEE 1394. El sistema operativo Windows 7 permite desarrollar y modificar inspecciones desde el hardware de despliegue e integrar con otros programas de software en la plataforma.

Con un número de E/S TTL altamente aislada, E/S digital habilitada por FPGA, rápido rendimiento de procesador multinúcleo y un 2 GB RAM, el EVS-1464 se puede sincronizar con controladores lógicos programables (PLCs), interfaces humano-máquina (HMIs) y controladores de movimiento para inspecciones más complejas y de más alta velocidad que incorporan la interacción del operador.

Como en todo el hardware de visión de NI, usted puede configurar el EVS-1464 con el NI Vision Builder for Automated Inspection (AI) que consta de un entorno fácil de usar guiado por menú o con el Módulo Vision Development combinado con LabVIEW y entornos basados en texto para aplicaciones que requieren una solución programática.

Fig.3 Embedded Vision System EVS de National Instruments

Resumen de Especificaciones

General	
Producto	EVS-1464
Familia de Productos	Vision Systems , Vision Systems
Formato Físico	Visión Embebida , Visión Embebida
Número de Parte	781251-01
Sistema Operativo/Objetivo	FPGA , Windows , FPGA , Windows
Software de Visión Incluido	Visión Artificial , Visión Artificial
Soporte de Protocolo Industrial	Modbus , TCP/IP , Ethernet/IP , Modbus , TCP/IP , Modbus/TCP , RS-232 , Modbus/TCP , RS-232
Sistema de Visión	
Procesador	Intel Core Duo 1.66 GHz , Intel Core Duo 1.66 GHz
Memoria RAM del Sistema	2 GB
Memoria de Almacenamiento No Volátil	80 GB
Número de Puertos para Ethernet	2
Ethernet Speed	100BaseT , 1000BaseT , 10BaseT , 100BaseT , 1000BaseT , 10BaseT
Procesador	Intel Core Duo 1.66 GHz , Intel Core Duo 1.66 GHz
Memoria RAM del Sistema	2 GB
Memoria de Almacenamiento No Volátil	80 GB
Número de Puertos para Ethernet	2
Ethernet Speed	100baset , 1000baset , 10baset
Interfaz de la Cámara	GigE Vision , IEEE 1394 , DirectShow (USB) , GigE Vision , IEEE 1394
Conectividad con Cámara	
Número de Puertos GigE Vision	2
Número de Puertos USB	4
E/S Digital	
Número de Canales TTL Bidireccionales	13
Número de Canales de Entrada TTL	4
Número de Canales de Entrada Aislada	2
Número de Canales de Salida TTL	10
Especificaciones Físicas	
Longitud	110 mm
Ancho	200 mm
Altura	220 mm

6. METODOLOGÍA.

El proyecto se basará en un método científico-práctico y en la observación.

Se realizará diseños con software apropiado.

El diseño del entorno del software se hará según se avance con el procesamiento de las imágenes y el cálculo matemático.

Al final se harán pruebas de funcionamiento.

7. ESQUEMA DEL INFORME.

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1

INTELIGENCIA ARTIFICIAL

1.1 Introducción.

1.2 Visión Artificial.

1.3 Adquisición de la imagen.

1.4 Procesamiento de la imagen.

1.5 Reconocimiento de objetos.

1.6 Binarización y etiquetado de los objetos.

CAPÍTULO 2

VISIÓN ESTEREOSCÓPICA

2.1 Introducción.

2.2 Generalidades.

2.3 Restricciones Estereoscópicas

2.3.1 Restricciones geométricas.

2.3.2 Restricciones fotométricas.

2.4 Reconstrucción de una escena 3D.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DE LA APLICACIÓN EN LABVIEW

3.1 Adquisición de la imagen

3.2 Calibración de las cámaras

3.3 Histogramas de la imagen.

3.4 Binarización y reconocimiento del objeto.

3.5 Reconstrucción de una escena 3D.

3.5.1 Calculo de disparidad.

3.5.2 Calculo de centro de masa.

3.6 Estimación de la ubicación espacial del objeto.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 Pruebas de Calibración de las cámaras.

4.2 Pruebas de adquisición de la imagen en tiempo real.

4.3 Pruebas de reconocimiento del objeto.

4.4 Pruebas del cálculo de centro de masa del objeto.

4.5 Pruebas de estimación de distancia.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

5.2 Recomendaciones.

BIBLIOGRAFÍA.

ANEXOS.

8. CRONOGRAMA.

N°	ACTIVIDAD	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Recolección y procesamiento de la información	■	■																						
2	Manejo del EVS		■	■	■																				
3	Diseño y programación de la aplicación					■	■	■							■	■				■	■				
4	Adquisicion de imágenes en tiempo real								■	■															
5	Diseño y Construcción de los Prototipo para la escena										■	■													
6	Procesamiento de las imágenes												■	■	■	■									
7	Adquisicion de centros de masa del objeto																■	■							
8	Implementacion de la aproximacion polinomial																	■	■	■					
9	Pruebas de funcionamiento																			■	■				
10	Redacción del Capítulo 1					■	■																		
11	Revisión del Capítulo 1						■	■																	
12	Redacción del Capítulo 2 y 3							■	■																
13	Revisión del Capítulo 2 y 3								■	■															
14	Redacción del Capítulo 4 y 5									■	■														
15	Revisión del Capítulo 4 y 5										■	■													
16	Anexos												■	■	■										
17	Revisión de toda la monografia															■	■								
18	Reproducción de la monografia																			■	■				
19	Presentación de la monografia																					■	■	■	

9. BIBLIOGRAFÍA.

[1] **Klinger T**., "IMAGE PROCESSING WITH LABVIEW AND IMAQ VISION", Prentice Hall, 2003.

[2] **M. Saiz**, "RECONSTRUCCIÓN TRIDIMENSIONAL MEDIANTE VISIÓN ESTÉREO Y TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN" Universidad Pontificia Comillas, Madrid, 2010.

[3] **NEC**. 3 Chip EM-CCD. [Online]. http://www.nec.com/global/solutions/security/technologies/3chip_em_ccd.html

[4] "FILTRADO ESPACIAL ," Universidad Nacional de Quilmes., Argentina, Apuntes de Clase Septiembre 2005.

[5] **P. Viola and M.J. Jones**. "ROBUST REAL-TIME FACE DETECTION". International Journal of Computer Vision, Madrid, 2004.

[6] **Molina R**, "DEL PROCESAMIENTO A LA VISIÓN ARTIFICIAL", Universidad de Granada, Abril 2008

[7] **S. Bernard, W. Thompson** "DISPARITY ANALYSIS OF IMAGES", IEEE Trans, 1980

[8] **Y. Ohata, T Kanade,** "STEREO BY INTRA AND INTER SCALINE SEARCH USIG DYNAMIC PROGRAMMING"