



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL SAN NICOLAS**

INGENIERIA EN ELECTRONICA

PROBLEMA DE INGENIERÍA

TECNICAS DIGITALES III

**MEDICION CON LASER POR
TRIANGULACION**

Integrantes:

- Battiston Federico

Docentes:

- Profesor: Poblete Felipe
- Auxiliar: Gonzalez Mariano

AÑO 2011

INDICE

OBJETIVOS DEL TRABAJO	3
MATERIAS INTEGRADAS.....	3
POSIBLES APLICACIONES	3
PROFESORES ENTREVISTADOS.....	3
BIBLIOGRAFÍA.....	3
DESARROLLO	4
INTRODUCCIÓN.....	4
Medicion por ultrasonido.....	11
Medicion con laser por triangulacion	6
Tiempo de vuelo y diferencia de fase	8
Eleccion del metodo	9
TEORÍA DE FUNCIONAMIENTO.....	11
Otras opciones de configuracion	14
Caracteristicas del instrumento	15
Factores que influyen en la medicion	17
Descripcion del programa	18
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS	22
CONCLUSIONES.....	22
ANEXOS:	23
LISTADOS DE PROGRAMAS	23

OBJETIVOS DEL TRABAJO

El objetivo del trabajo es realizar un sistema que permita medir la altura de cajas que circulan sobre una cinta transportadora, con el fin de poder luego ser clasificadas mediante esa medida, para esto se utilizaría un sistema de medición sin contacto formado por una cámara y la incorporación de un puntero láser que apuntaría al objetivo a medir y a través de un software se podrá determinar la altura de las cajas mediante la ubicación del punto que proyecta el láser en el cuadro de la imagen que genera la cámara.

MATERIAS INTEGRADAS

- Técnicas Digitales 3: Procesamiento digital de señales
- Instrumentación y Control de Procesos: Estudio de instrumentos de medición
- Informática 2: Programación en lenguaje c

POSIBLES APLICACIONES

- Este sistema se puede aplicar en general para medición sin contacto de tamaño o distancia hacia objetos no muy reflectantes.
- Además podría tener aplicaciones en robótica, permitiendo medir distancias hacia objetos, dándole al robot la capacidad de medir su entorno.

PROFESORES ENTREVISTADOS

- Se ha consultado al profesor de Instrumentación y Control Ing. Diego Zadara, con quien se discutió sobre el proyecto y recomendó que se le incorporara al sistema de medición la capacidad de poder calibrar el instrumento a cero, por ejemplo en el caso de cambiar la altura de la cinta transportadora y el rango, en caso de cambiar o ajustar el sensor.

BIBLIOGRAFÍA

- *Problemas de ingeniería – Web de Técnicas Digitales III.*
 - Detección y seguimiento de objetos- Bernardo Calla, Gabriel Malepina, Enzo Varela, Cristian Palomeque.
 - Cálculo de distancia recorrida- Greganti Lucas, Iñiguez Jose, Acerbo Ezequiel.
- *Sitios de Internet.*

http://opencv.jp/opencv-1.0.0_org/docs/opencvman_old.pdf

http://carleos.epv.uniovi.es/~nicieza/Documentacion/Manual_Programador_Final.pdf

<http://www.cimat.mx/~jbhayet/CLASES/VISIONROB/opencv2.pdf>

http://www710.univ-lyon1.fr/~bouakaz/OpenCV-0.9.5/docs/ref/OpenCVRef_StructAnalysis.htm

DESARROLLO

INTRODUCCIÓN

El problema a resolver es la medición sin contacto de la altura de cajas que circulan sobre una cinta transportadora, se necesita obtener la altura en cm, con un máximo de 60cm y un tiempo de tránsito mayor a 1 s.

Para resolver este problema primeramente se evalúan métodos de medición de distancia sin contacto con el fin de elegir el más apropiado y determinar la forma de llevarlo a cabo, evaluándose los siguientes métodos:

Medición por ultrasonido.

El ultrasonido es una onda de sonido de alta frecuencia, mientras que las ondas de sonido audibles son del orden 20 a 20.000 Hz, las ondas del ultrasonido están en el rango de frecuencias más altas las cuales no son audibles.

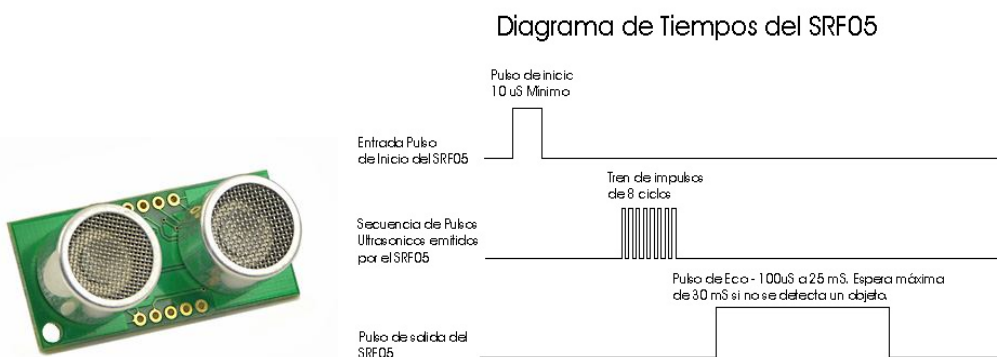
La técnica de medición de distancia por ultrasonido se basa en la emisión de un tren de pulsos ultrasónicos con una frecuencia en el orden de los 38 a 50 kHz, esta onda rebota en el objeto al que se quiere determinar la distancia y es recibida, midiendo el tiempo entre la emisión y el retorno se puede determinar la distancia entre el sensor y el objeto donde se produjo el rebote. Esta medición se calcula teniendo en cuenta la velocidad del sonido en el aire, que si bien varía según algunos parámetros ambientales como la presión atmosférica, es la suficientemente constante como para realizar una medición precisa.

La onda de ultrasonido es generada y recibida por el principio de transducción que se basa en el efecto piezoeléctrico de los cristales utilizados en el emisor y receptor, el cual consiste en la generación de un voltaje en un cuerpo cuando es sometido a esfuerzos (recepción de la onda) o la deformación de un cuerpo cuando es sometido a un voltaje (emisión de la onda).

Se pueden señalar dos clases de medidores, los que tienen un emisor y un receptor separados, y los que alternan la función, por medio de un circuito de conmutación, sobre un mismo emisor receptor piezoeléctrico.

Como ejemplo veamos el funcionamiento del sensor medidor de distancia SRF05 que es un sensor de ultrasonido muy difundido capaz de medir distancias de hasta 5 metros.

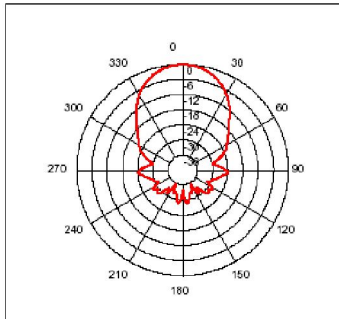
Para su funcionamiento hay que activarlo con un pulso de 10µs en el disparador para que este active el sensor y haga la medición. La salida del sensor es otro pulso de entre 100 µs y 25 ms, con una duración proporcional a la distancia medida, donde un pulso de duración de 30 ms indicaría que el obstáculo está fuera de rango del sensor.



En particular $d(\text{cm}) = \text{duración de pulso}(\mu\text{s})/58$

El sensor sólo puede hacer una medida cada 50 ms, lo que equivale a que se pueden realizar medidas a una frecuencia de 20 Hz.

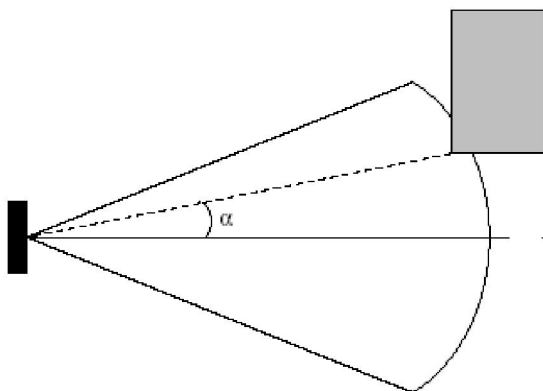
En el siguiente diagrama se observa el campo de acción del sensor.



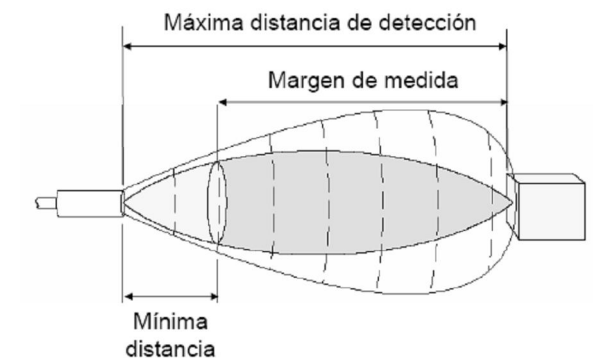
Hay sensores ultrasónicos como el SRF235 el cual utiliza una frecuencia más alta de 235 kHz la cual le brinda un haz de aproximadamente 15 grados, mucho mas direccional, pero el ultrasonido a 235 kHz no se transmite tan fácilmente a través del aire como el ultrasonido a 40 kHz, por lo que el alcance está limitado a aproximadamente 1 metro para objetos normales y a un máximo de 1,2 m para superficies extensas.

Este método de medición presenta algunos inconvenientes que hay que tener en cuenta.

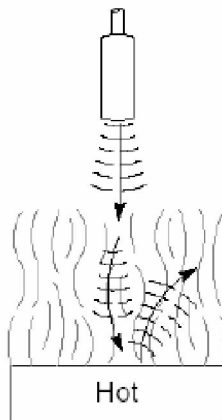
El campo de actuación del ultrasonido es de forma cónica, y la medición se realiza sobre el objeto más próximo en el ángulo de actuación, pero no se especifica que la medición se realice en el centro del cono.



Los sensores de ultrasonido de bajo costo se utilizan el mismo transductor como emisor y receptor. Tras la emisión del ultrasonido se espera un determinado tiempo a que las vibraciones en el sensor desaparezcan y esté preparado para recibir el eco producido por el obstáculo. Esto implica que existe una distancia mínima (proporcional al tiempo de relajación del transductor) a partir de la cual el sensor mide con precisión. Por lo general, todos los objetos que se encuentren por debajo de esta distancia serán interpretados por el sistema como que están a una distancia igual a la distancia mínima.



Los factores ambientales tienen una gran repercusión sobre las medidas, las ondas de ultrasonido se mueven por un medio material que es el aire. La densidad del aire depende de la temperatura, influyendo este factor sobre la velocidad de propagación de la onda.



El ultrasonido para medición de longitud generalmente se utiliza para medir nivel en tanques con líquidos o materiales a granel.

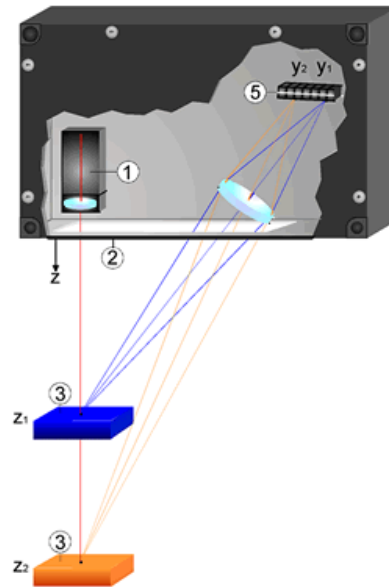
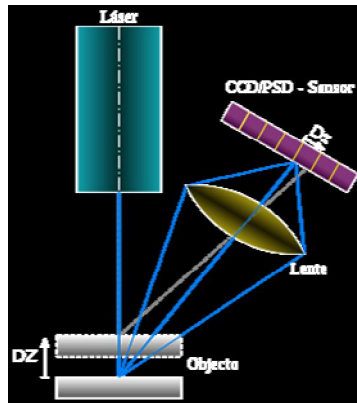
Medición con láser por triangulación.

Este tipo de medición se realiza con un sistema formado por un láser, un sensor tipo cámara y un dispositivo DSP, el haz de luz láser incide en el objeto y se usa una cámara para buscar la ubicación del punto del láser. Dependiendo de la distancia a la que el láser golpee una superficie, el punto del láser aparece en lugares diferentes en el sensor de la cámara.

Esta técnica se llama triangulación porque el punto de láser, la cámara y el emisor del láser forman un triángulo.

La longitud de un lado del triángulo, (la distancia entre la cámara y el emisor del láser) es conocida, el ángulo del vértice del emisor de láser también se conoce (90 grados), el ángulo del vértice de la cámara puede ser determinado mirando la ubicación del punto del láser en la cámara. Combinando estas tres magnitudes se puede determinar completamente la forma y el tamaño del triángulo pudiéndose calcular ubicación del tercer vértice del triángulo determinando la distancia entre el sensor y el objeto al cual esta apuntado el láser.

En los siguientes gráficos se puede observar la geometría del dispositivo, la cual hace que la posición del punto de luz en el sensor de la cámara dependa de la distancia del objeto.



La evaluación inteligente de la señal se basa en un procesador de señal digital (DSP), el cual determina la posición del punto láser en el sensor de la cámara, controla automáticamente la exposición de la línea CCD y la potencia de la fuente láser.

Gracias a esto, estos sensores pueden medir con gran precisión y rapidez, incluso con colores oscilantes o características de reflexión del objeto de medición.

El receptor puede tomar una de dos formas un dispositivo de posición sensible (PSD) o dispositivo acoplado de carga (CCD).

Las condiciones de la superficie, textura de destino o inclinación cambia la forma del punto de luz, alterando la distribución de la luz lo que induce un cambio en la salida del elemento PSD, a pesar de que la posición del objeto no ha cambiado. Los sistemas PSD también son muy sensibles a la intensidad de la luz y si esta cambia mientras que la posición de medición sigue siendo la misma dará lugar a cambios en la medición, el mismo efecto neto de un cambio de color de destino, estos errores se mitigan con el funcionamiento del DSP.

Los sensores láser con CCD superan muchas de las limitaciones de la tecnología PSD. Sin embargo, la velocidad de respuesta a las cambiantes condiciones de la superficie estaban limitadas por el microprocesador de control. Si las condiciones de la superficie cambiaban rápidamente, el dispositivo simplemente no podía reaccionar rápido lo que resulta en un error de medición. Hoy prácticamente se eliminaron las deficiencias de los CCD en comparación con los dispositivos PSD. Sensores CCD inteligentes pueden reaccionar espontáneamente al cambio de las condiciones de la superficie para lograr resultados precisos independientemente de textura o color.

El elemento CCD es un detector de matriz digital pixelizada, con 1.024 voltajes discretos que representa la cantidad de luz que cae sobre cada uno píxel del detector. La distribución de la intensidad de luz del láser se puede 'ver' con la ayuda de un dispositivo DSP y procesamiento de imágenes que se incorpora para la linealización de la medición de triangulación. El procesamiento de datos de la distribución de la intensidad permite eliminar a casi todos los problemas que plantea el entorno de medición.

El DSP encuentra un único píxel con la mayor intensidad de la luz y utiliza un algoritmo para realizar la detección interpretando la intensidad de la luz de los píxeles adyacentes. La tecnología de umbral (thresholding) se utiliza para descartar información no deseada como las reflexiones secundarias, que provocan un mal funcionamiento del receptor PSD. Los sensores CCD inteligentes también utilizan control de bucle cerrado para ajustar la potencia del transmisor láser, de acuerdo a la cantidad de luz reflejada recibida desde el destino, logrando una intensidad luminosa óptima para el elemento de detección, independientemente del color de destino o la textura de la superficie.

Este método de medición tiene una gran velocidad permitiendo muestreos del orden de varios kHz.



Sensores de bajo costo tienen rango de medición 20 a 200 mm con 0,01 a 0,02 % de resolución según modelo, sensores industriales tienen un mayor rango por ejemplo 20 a 1000 mm con 0,008% de resolución (otros sensores de este tipo pueden tener resoluciones de hasta 10 μ m), con frecuencias de medición que van desde 1 a 50 kHz.

Este método también es utilizado para escaneo de piezas para metrología. Utilizando láseres puntuales o láseres que proyectan una línea sobre la pieza.

Tiempo de Vuelo y diferencia de fase.

Partiendo del concepto de que la luz viaja a una velocidad finita y constante a través de un medio puede llegarse a medir la demora durante la cual la luz viaja de una fuente a un objeto reflectante y regresa a la fuente, esto se efectúa a través de un láser de luz pulsada el cual envía un pulso de luz que rebota en el objeto y luego es recibido por un sensor fotosensible, midiendo el tiempo entre la emisión y recepción del pulso de luz se puede estimar el tiempo de vuelo de la onda, como la velocidad de la onda es conocida mediante el tiempo de vuelo se puede calcular la distancia del objeto al instrumento.

Estos métodos se utilizan generalmente para grandes distancias, como cientos de metros o kilómetros.

Puesto que la luz se desplaza a una velocidad muy alta (300.000 km/s ó 30 cm/ns), la instrumentación electrónica de apoyo debe ser capaz de una resolución de tiempo de 50 ps para poder conseguir una exactitud de aproximadamente 0,5 cm.

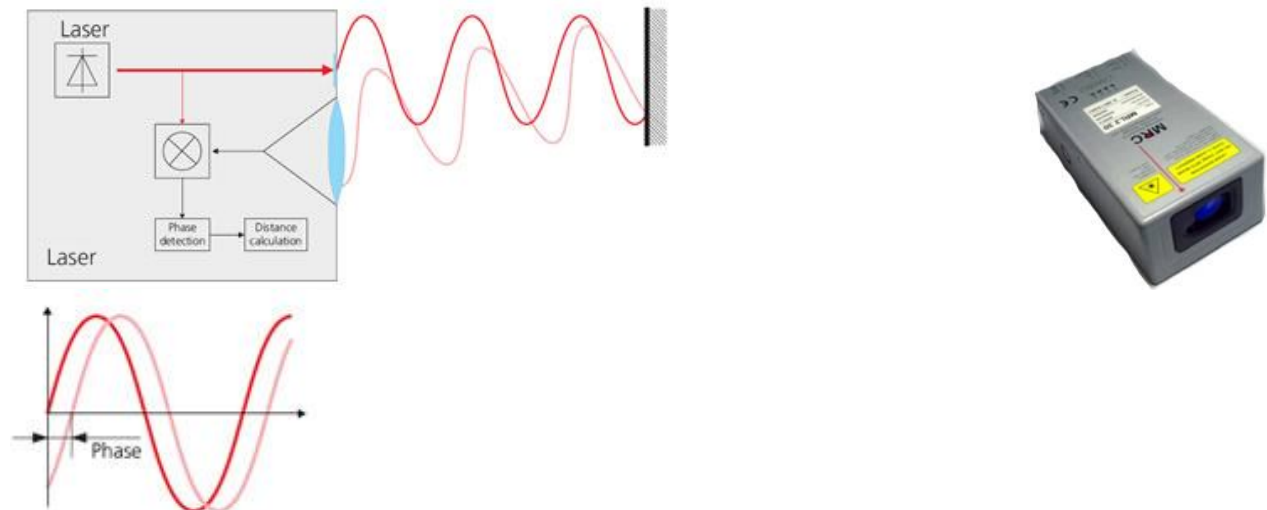
Otro método de medición es el de diferencia de fase en donde el sensor mide la diferencia de fase entre la luz emitida y la recibida, y utiliza dicha medida para estimar el tiempo de vuelo y por lo tanto la distancia al objeto. Esta luz es emitida por un láser continuo y de moderada potencia.

Puesto que la longitud de onda de la luz láser es pequeña (por ejemplo, 632,8 nm para un láser de helio-neón), el método no resulta práctico. Una solución simple a este problema es modular la

amplitud de la luz de láser utilizando una forma de onda de longitud de onda mucho mayor (por ejemplo, una onda sinusoidal moduladora de frecuencia $f = 10\text{Mhz}$ tiene una longitud de 30 metros).

La señal de referencia es ahora la función modulante. La señal de láser modulada se envía al banco y el haz de retorno de la señal moduladora se compara con la de referencia para determinar el desplazamiento de fase el cual es proporcional a la distancia recorrida por el haz de luz.

Una ventaja importante en la técnica de la luz continua frente a la luz pulsada es que la primera proporciona información de la intensidad y del alcance. Sin embargo los sistemas continuos exigen una potencia considerablemente mayor.



El rango y la precisión de este tipo de sensores son intermedios, situándose como una solución entre el largo alcance de los dispositivos de tiempo de vuelo y la alta precisión por triangulación.

Un sensor típico tiene un alcance que ronda los 100 m y error característico ronda los 2 mm por cada 25 m. Con este sistema se obtienen precisiones de 5 mm a algunos cm con alcances útiles de unos 100 metros.

El alcance está limitado precisamente por su modo de funcionamiento, ya que al tratarse el láser de una señal periódica, existe ambigüedad en dicha señal a partir de una cierta distancia, en función de la frecuencia utilizada. La precisión de la medida también depende de la frecuencia utilizada, pero de manera inversa a como lo hace el alcance, por lo cual estos conceptos son complementarios, y se debe encontrar un punto de compromiso entre ambos, o bien utilizar dos frecuencias distintas (multi-frequency-ranging).

Elección del método.

Recordemos que el problema a resolver es la medición sin contacto de la altura de cajas que circulan sobre una cinta transportadora, se necesita obtener la altura en cm, con un máximo de 60 cm.

Los métodos antes mencionados son utilizados para medir distancia sin contacto pero hay que analizar cuál de ellos es el más conveniente.

El método de medición de distancia con láser por tiempo de vuelo no se adapta a este problema, ya que sus características permiten hacer mediciones de mucha mayor distancia a la requerida y no es utilizado para mediciones a corta distancia con lo cual es descartado.

El método de diferencia de fase permite mediciones cercanas, en general se fabrican para rangos de distancia de varios metros, son menos precisos y más lentos que los de triangulación pero con mayor rango de distancias. Este método puede aplicarse al problema a resolver aunque se requeriría un alcance menor al típico de estos sensores.

El método de ultrasonido se adapta al rango de medición requerido (menor de 1m) y utiliza sensores económicos, tiene como contra que la onda sonora es una onda mecánica y la detección se realiza en una zona frente al sensor, no pudiéndose determinar la posición exacta de la caja bajo el sensor lo que puede ser un conflicto a la hora de sincronizar la medición con la posición de la caja, además si se necesitara colocar otros sensores en las cercanías se podrían producirse interferencias y ecos que compliquen la medición. En caso de usar estos sensores con una computadora se necesitaría realizar un sistema para poder realizar la interfaz.

El método láser por triangulación tiene también el rango de medición indicado (hasta 1m), con las ventajas de la medición con ondas de luz que lo hace un método mucho más rápido y preciso que el ultrasonido, tiene la desventaja de no poder medir superficies reflectantes, pero en este caso no es problema porque las superficies involucradas son opacas.

En la siguiente tabla se realiza la comparación de las características de sensores comerciales, incorporando la medición por triangulación con una cámara Web, método que se desarrollará durante todo este informe obteniendo los valores que aquí se resumen, y además una columna con los requerimientos de este problema en particular, con el fin de que se pueda reconocer fácilmente que sensor es apto para resolver el problema.

	Ultrasonido	Triangulación	Diferencia de fase	Triangulación con cámara Web	Requerido por el problema
Resolución	5 mm	10 μ m	0,1 mm	1 cm	1 cm
Distancia máxima	5 m	2 m	100 m	80 cm	80 cm
Ancho de banda	20 Hz	50 KHz	100 Hz	3,3 Hz	1 Hz
Medición de superficies reflectantes	si	no	si	no	no
Inmunidad a interferencias	no	si	si	si	si
Medición en posición exacta	no	si	si	si	si
Medición en condiciones de poca visibilidad	si	no	no	no	no

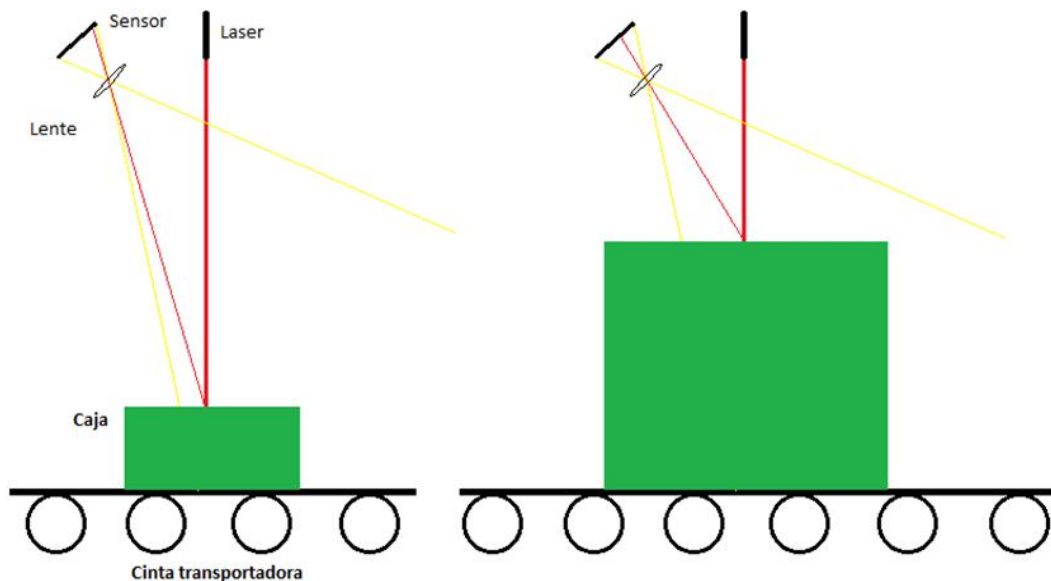
Por todo lo visto anteriormente tanto el método de triangulación como el de diferencia de fase se adaptan bien a la medición a realizar, pero se pretende usar para la resolución del problema el método de triangulación, implementándolo con una cámara Web un puntero láser y una computadora, la cual mediante procesamiento de imágenes podrá determinar la medición.

De esta forma se puede resolver el problema con elementos comunes y económicos, teniendo en cuenta que la computadora si bien es parte del sensor además estaría destinada a realizar los procesos de control y o registro a los que podría estar asociado el sensor, lógicamente no se lograrán las prestaciones de un sensor industrial pero se podrá cumplir con los requerimientos sin problemas, logrando además adquirir conocimientos y poder experimentar con el procesamiento de imágenes para aplicaciones industriales.

La implementación de la cámara por sobre un sensor tiene la ventaja de que se obtiene la información visual del proceso pudiendo utilizarse para otro propósito como la vigilancia o la clasificación por otra característica que se pueda determinar con la cámara.

TEORÍA DE FUNCIONAMIENTO

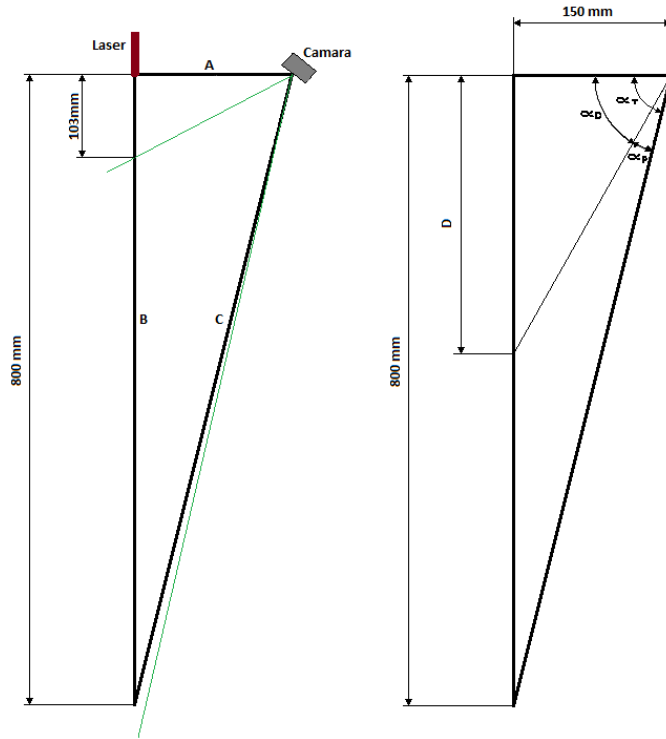
El sistema de cámara y láser se ubicarán sobre la cinta transportadora a 80cm de forma perpendicular y determinando la distancia de la cámara a la caja se podrá calcular su altura la cual será medida en cm, el sistema será capaz de medir cajas de hasta 60 cm de alto.



En los gráficos anteriores se representa la cámara por el lente y su sensor el cual produce los píxeles de la imagen, el láser con el rayo que produce y la caja a medir sobre la cinta transportadora, aclarando que el rayo dibujado con una línea más fina no es el reflejo del otro sino como la cámara ve el punto de luz proyectado por el láser sobre la caja.

En el primer gráfico la caja más pequeña hace que el punto de luz proyectado sobre ella se encuentre más lejos de la cámara que en el segundo, pudiéndose ver sobre el sensor de ambos gráficos el lugar que ocuparía en la imagen capturada el punto de luz que genera el láser sobre la cámara, se ve claramente cómo se desplaza el punto sobre el sensor lo que se traduce en un desplazamiento en la imagen.

Como se comentó anteriormente este sistema funciona con la geometría de un triángulo rectángulo cuyos lados están representados por la recta imaginaria que une la cámara con el láser (A), la que genera el rayo láser (B), y la del rayo que llega a la cámara (C).



Se elige una separación entre el láser y la cámara de 150 mm y luego se comprobará si con esta distancia es suficiente para lograr la resolución necesaria.

El ángulo del vértice de la cámara formado por la línea (A) que une la cámara y el láser, y la (C) del rayo que ingresa en la cámara, es determinado por la posición de la cámara y la ubicación del punto de luz en el cuadro de la imagen.

La cámara tiene un ángulo horizontal de visión de $45,44^\circ$ el cual fue calculado midiendo el tamaño del área tomado por la cámara a una distancia conocida, la imagen tiene 640 pixeles horizontales, con lo cual cada píxel representa un ángulo $\alpha_R = 45,44^\circ / 640 = 0,071^\circ$, la disposición de la cámara es tal que el punto de luz se desplace horizontalmente ya que en ese sentido la cámara tiene mayor cantidad de pixeles teniendo más resolución que si se colocara verticalmente.

Con este angular y la separación con láser se logra que la cámara pueda ver desde una distancia poco mayor a 800 mm hasta unos 103 mm lo cual permite realizar las mediciones en el rango requerido, esto se muestra en el gráfico anterior en líneas verdes, que representan el ángulo de visión.

La cámara se dispone de forma tal que el centro del punto de luz producido por un objeto ubicado a 800 mm aparezca en el píxel horizontal 10 y verticalmente centrado, en esta situación el ángulo del vértice de la cámara es conocido ($\alpha_T = 79,38034^\circ$).

Un objeto que se ubique a una distancia menor que 800 mm tendrá un ángulo α_D menor que será igual al ángulo α_T del objeto a 800mm menos un ángulo que quedara determinado por el número de pixeles horizontales que se halla desplazado el punto de luz en la cámara ($n-10$) multiplicado por el valor angular de un píxel.

$$\alpha_D = \alpha_T - (n - 10) \cdot \alpha_R$$

De esta forma al determinar el ángulo en el vértice de la cámara α_D y conociendo la distancia entre la cámara y el láser se puede determinar la distancia al de la cámara al objeto en que incide la luz del láser.

$$D = 15.tg(\alpha_D)$$

Como lo que hay que determinar es la altura de la caja y no la distancia de la misma a la cámara, se corrige la ecuación anterior teniendo en cuenta que el sistema de medición ira colocado a 80cm de la cinta transportadora.

$$Alt = 80 - 15.tg(\alpha_T - (n - 10).\alpha_R)$$

$$Alt = 80 - 15.tg(79.38^\circ - (n - 10).0.071^\circ)$$

Con estas ecuaciones sencillas se podrá analizar cualquier disposición de cámara y láser para cualquier tipo de cámara.

La resolución del instrumento la da el mínimo valor de ángulo detectado por la cámara, que es el ángulo de visión de un píxel. Para determinar la resolución a 800 mm de distancia se le resta al ángulo total α_T el ángulo de un píxel α_R y se calcula la distancia D

$$D = 15.tg(\alpha_T - \alpha_R) = 15.tg(79,38034 - 0,071) = 79,456$$

Luego si restamos esto a la medición a 800 mm se obtiene la distancia que representa un píxel.

$$80 - 79,456 = 0,544 \text{ cm}$$

Para calcular la resolución a 200 mm de distancia (es la distancia de una caja de 60cm), se prosede de la misma forma pero calculando con un angulo total=53,1301° igual al angulo que da una distancia de 200 mm .

$$D = 15.tg(\alpha_T - \alpha_R) = 15.tg(53,1301 - 0,071) = 19,948$$

Restando a los 200 mm se obtiene la distancia que representa un píxel para medir cajas de 60 cm.

$$20 - 19,948 = 0,052 \text{ cm}$$

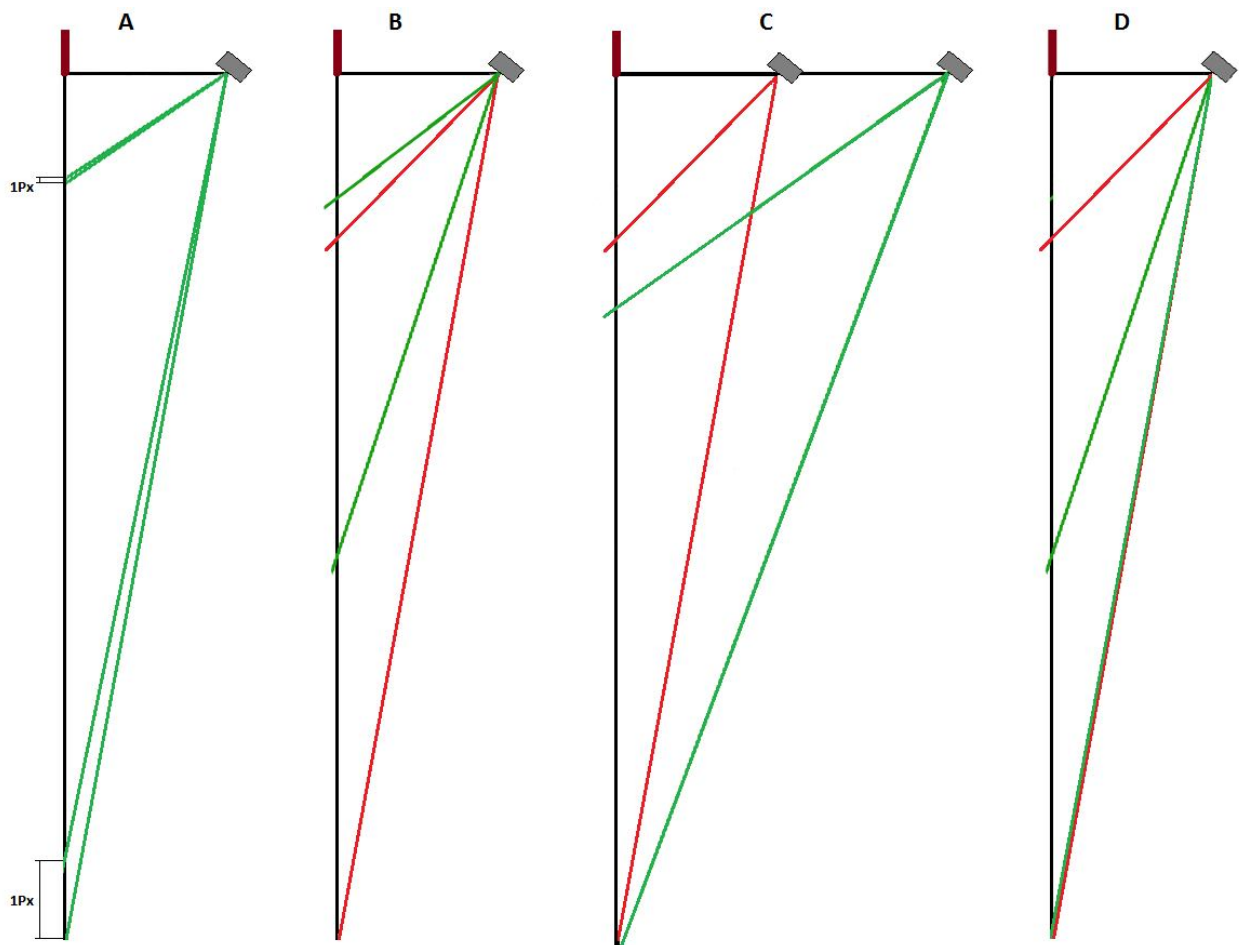
Estos valores representan la resolución del instrumento en cero y a fondo de escala. Se puede ver que este aumenta la resolución a medida que el objeto se acerca al medidor. La resolución mínima es de 0,544 cm midiendo a 800 mm la cual permite que se pueda medir en centímetros como lo requiere el problema. Con esto se puede ver que con esta configuración se cumple con los requerimientos comprobando que esta correcta la ubicación de cámara y láser a 150 mm que se eligió en un principio arbitrariamente.

La colocación de la cámara y el láser se realiza en una caja de plástico rígido en la cual son fijados en su interior cumpliendo con las características geométricas antes mencionadas.



Otras opciones de configuración.

La disposición geométrica de la cámara y el láser determinan las características del sistema de medida, a continuación se observa un gráfico donde están representadas las posibles variantes de disposición.



En el gráfico A se observan dos ángulos iguales los que representan el angular de un pixel de la cámara, estos están exagerados para que se puedan apreciar mejor, se observa que la distancia en la medición que representa un pixel es mayor mientras mas lejos se da la medición. Como el ángulo de un pixel es la mínima unidad que se puede medir la distancia medida por un pixel da la resolución en la medición. Por esto una característica intrínseca de este método es que la resolución mínima se da cuando se mide lejos de la cámara y esta aumenta mientras la medición se acerca a la cámara. Se puede determinar que la resolución de la medida cuando la posición de la cámara y láser no varían, es proporcional al ángulo con que rebota el rayo en el objeto, cuanto menor es ese ángulo menor será la resolución.

En el gráfico B se pueden observar dos configuraciones hechas con la misma cámara y separación al láser. Aquí en verde se representa el angular de la cámara colocada para un rango de medición, en rojo se representa el mismo angular pero colocado para medir una distancia mayor. Cuando se desea medir una distancia mayor la resolución disminuye y la distancia mínima de medida aumenta.

En el gráfico C se utiliza la misma cámara pero se varía la separación de esta y el láser. Cuando esta separación es mayor aumenta ligeramente la resolución y disminuye el rango de medición.

En el gráfico D se disponen dos cámaras distintas para lograr la misma distancia máxima una de ellas tiene un angular menor (en verde) esto hace que el ángulo de un píxel sea menor aumentando la resolución, pero se disminuye el rango de medida.

Estos ejemplos son para cámaras con igual cantidad de píxeles. Si se utilizaría una cámara con mayor cantidad de píxeles se mejoraría la resolución en cualquiera de estos casos.

Como ejemplo calculamos otra configuración para medir distancia hasta 2 metros con una separación entre el láser y la cámara de 20 cm, utilizando la misma cámara que antes.

Calculando de la misma forma que antes se determinó que se podría medir desde 2 metros a 16 cm, dando un rango de útil de 180 cm. Con una resolución de 2,4 cm

Características del instrumento.

Rango.

Valor absoluto de la diferencia entre los valores extremos de un intervalo de indicación nominal (VIM).

Como se vio anteriormente la medición se puede realizar de 80 a 10,3 cm dando un rango de medición de 69,7 cm este es limitado a 65 cm. Hay que tomar en cuenta que para la medición de cajas la altura 0 cm estaría en el límite de alcance del medidor 80 cm y las cajas más altas de 60 cm cuando este mide a 20 cm de distancia.

Resolución.

Mínima variación de la magnitud medida que da lugar a una variación perceptible de la indicación correspondiente (VIM).

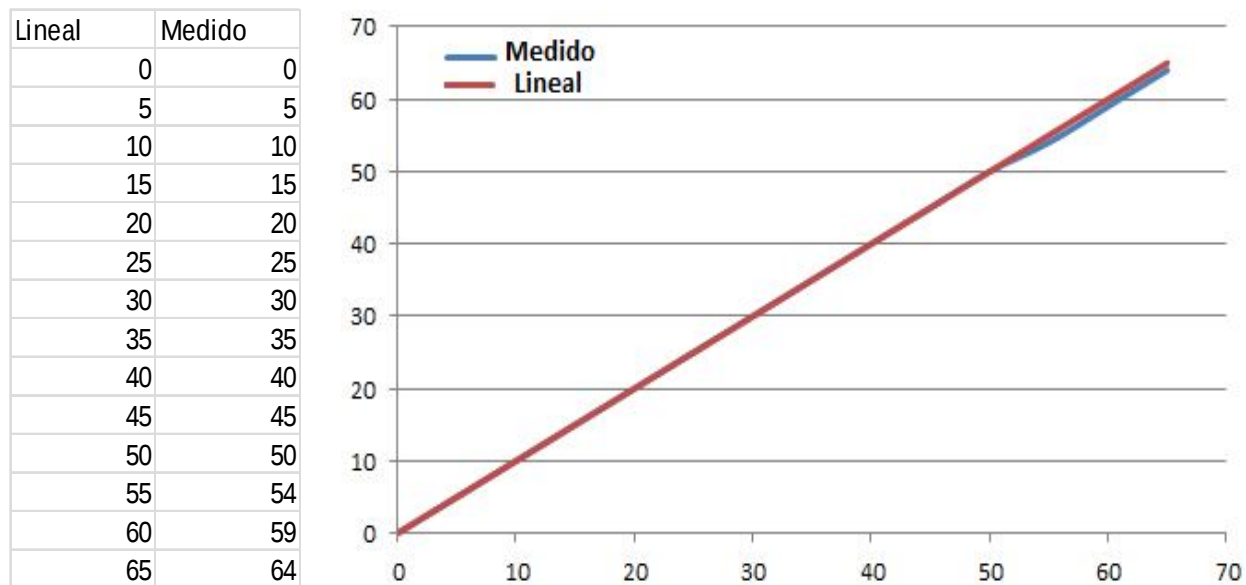
Se expresa en general como un porcentaje del Límite Superior de medición del instrumento (valor a fondo de escala del mismo). En este caso el sensor es capaz de medir con un rango de 65 cm y discriminar 1 cm. Por esto la resolución porcentual a fondo de escala es de **1,53 %**.

Linealidad.

Capacidad de un instrumento de medición para proporcionar una indicación que tenga una relación lineal con una magnitud determinada distinta de una magnitud de influencia (IEV 311-06-05).

Se suelen expresar en valor porcentual de la máxima desviación respecto de la salida lineal en todo el rango del instrumento respecto del valor del fondo de escala del mismo.

Para analizar la linealidad se colocan objetos a una distancia del punto cero de medición (a 80 cm de distancia a el sensor) estos son colocados de a 5 cm medidos con una resolución mayor que la del instrumento (mm) y se toman datos de la medición del instrumento.



Como la desviación máxima respecto de lo lineal es de 1cm con un fondo de escala de 65cm la linealidad porcentual a fondo de escala es **1,53 %**.

Tiempo de respuesta.

Intervalo de tiempo comprendido entre el instante en que un valor de la magnitud de entrada de un instrumento o sistema de medida sufre un cambio brusco entre dos valores constantes especificados, y el instante en que la indicación correspondiente se mantiene entre dos límites especificados, alrededor de su valor final en régimen estacionario (VIM).

Para determinarla se procedió a grabar un video del funcionamiento del programa mientras se medían objetos de diferentes características y diferentes tamaños, luego evaluando la grabación de video cuadro por cuadro se pudo determinar el tiempo máximo que le requirió al sensor realizar la medición fue de 0,3 s.

Por lo tanto el tiempo de respuesta se estima en **0,3 s**.

Repetibilidad.

Precisión de medida bajo un conjunto de condiciones de repetibilidad (VIM).

Es la capacidad de un instrumento de repetir la salida cuando se llega a la medición en sucesivas ocasiones bajo exactamente las mismas condiciones.

Un detalle muy importante de esto es que se debe exigir que la medición se deba realizar con la variable en sentido creciente o decreciente pero no en ambos sentidos, pues en ese caso la medición queda influida por la histéresis.

Como otros parámetros de especificación de los instrumentos se acostumbra a especificar la repetibilidad como un valor porcentual de la medición o bien del fondo de escala del instrumento.

Las condiciones de repetibilidad necesitan el mismo procedimiento de medición, el mismo observador, el mismo instrumento de medición utilizado en las mismas condiciones, el mismo lugar y repetición dentro de un período de tiempo corto.

Para probar esto se midieron tres objetos 5 veces cada uno usando el mismo método, estas mediciones arrojaron el mismo valor para cada objeto individualmente con lo que se establece que la repetibilidad es de **0 cm**. Estos resultados se dan porque este instrumento mide con una resolución acotada.

	Objeto 1	Objeto 2	Objeto 3
1ª medición	5 cm	18 cm	43 cm
2ª medición	5 cm	18 cm	43 cm
3ª medición	5 cm	18 cm	43 cm
4ª medición	5 cm	18 cm	43 cm
5ª medición	5 cm	18 cm	43 cm

Referencias de las definiciones: Vocabulario internacional de metrología VIM JCGM 200:2008
Vocabulario Electrotécnico Internacional (IEV) IEC 60050

Resumiendo, las características metroológicas del instrumento son las siguientes:

Rango	65 cm
Resolución	1 cm
Tiempo de respuesta	0,3 s
Linealidad	1 cm
Repetibilidad	0 cm

Factores que influyen en la medición.

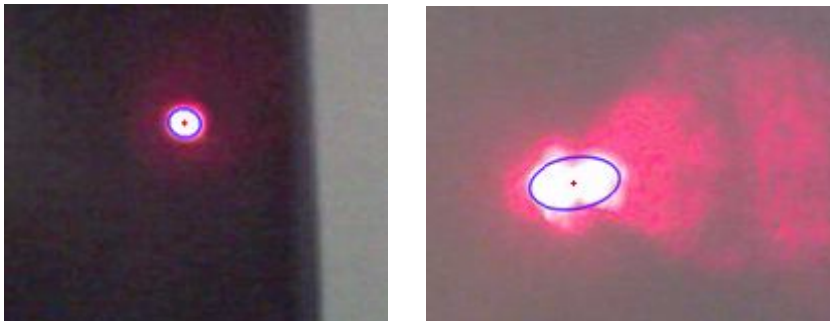
Influencia de la superficie y color:

El color del objeto a medir influye en la medición, los colores oscuros necesitan una potencia de láser mayor para que se pueda ver bien el punto de luz, esto produce un inconveniente cuando las superficies son claras y se ubican cerca de la cámara ya que estas reflejan mucho más esa luz y producen reflexiones internas en la cámara que complican o imposibilitan la medición. Por esto este sistema funcionara mejor con objetos de colores similares. El problema surge cuando los objetos medidos se alternan entre claros y oscuros ya que para los oscuros que se ubican lejos se necesita más potencia de láser y los objetos claros que se ubican cerca menos potencia.

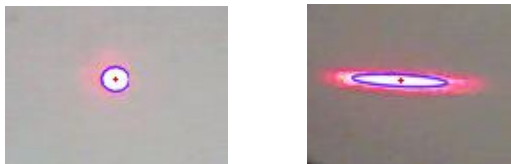
Como se mencionó anteriormente con este sistema no se puede medir objetos con superficies reflectantes.

En la siguientes imágenes se observa primero el punto de luz de correcta potencia sobre una superficie oscura, en la segunda imagen se ve como aumenta el punto de luz y su reflejo interno en

la cámara debido a una superficie clara cercana al sensor en esta situación la potencia resulta un poco excesiva.



La inclinación de la superficie no presenta inconvenientes ya que esta deformará el punto de luz pero el centro no se alterará. Se observa en las imágenes siguientes primero un objeto con superficie perpendicular y luego uno inclinado.



Temperatura:

Todo dispositivo tiene especificado un rango de temperatura de operación, en este caso está limitado principalmente por el rango de temperatura de la cámara o sensor, ya que el láser es de baja potencia y no necesita disipar calor, no teniendo mayor inconveniente con la temperatura, el cuerpo del sensor construido de plástico resistente tampoco sufre cambio por la temperatura en estos rangos. No se tienen datos de temperatura de la cámara que se utilizó, pero cámaras similares tienen rango de temperatura de -20 a 50 °C.

Imposibilidad de visión:

Como este sistema basa su funcionamiento en la imagen tomada por una cámara, ésta debe poder tomar bien la imagen si en el ambiente donde se va a medir hay mucho polvo, vapor, humo u otro factor que impida la correcta visualización este puede funcionar mal.

Descripción del programa.

Mediante un programa generado en DEV-C++ y utilizando las librerías de visión OpenCV, se determinará en qué píxel se encuentra el centro del punto de luz generado por el láser y calcular la altura de la caja a través de ecuaciones anteriores.

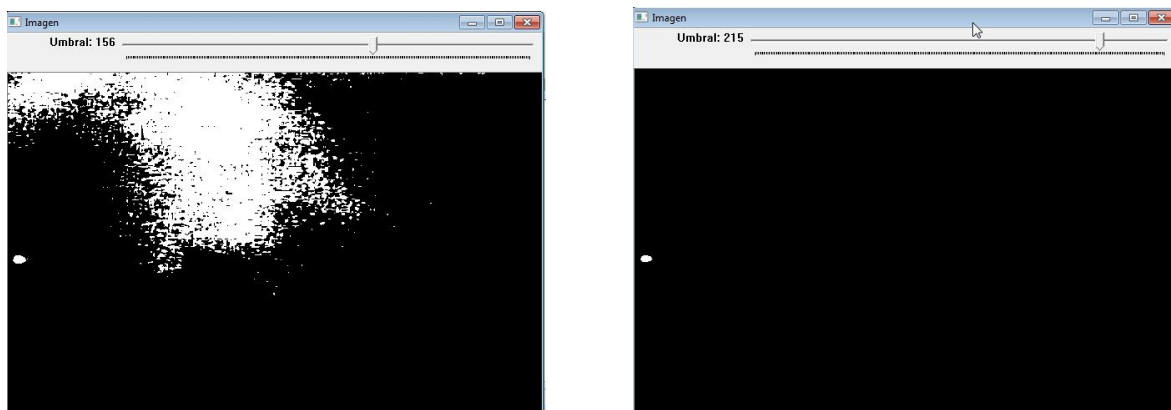
El programa comienza realizando la captura de la cámara Web en 640 x 480 píxeles, luego esta imagen se convierte a escala de grises, lo cual es necesario para realizar las acciones que luego se llevarán a cabo.

Luego se aplica la función que `cvThreshold()` la cual genera una imagen binaria, a través de un umbral de luminosidad, este valor es comparado con la imagen, los píxeles con una luminosidad mayor o igual a este valor son representados en blanco, y si el valor es menor se representan en negro.

Para que se pueda detectar el punto de luz que produce el láser sobre las superficies a medir este debe tener una luminosidad mayor a la del ambiente, para lograr esto con una iluminación normal se requiere un láser de baja potencia ($<5\text{mW}$) el cual no genera inconvenientes a la vista.

El umbral de luminosidad puede ser ajustado con una barra deslizante, esto es necesario porque este valor debe fijarse entre la luminosidad ambiental y la del punto de luz que produce el láser, cuando esto ocurre la imagen resultante es totalmente negra y se observa el punto de luz láser en blanco, quedando de esta forma luego se podrá determinar el centro del punto de luz.

En las imágenes que siguen se ve primero una imagen con un umbral muy bajo que provoca que parte del fondo se detecte como punto luminoso lo cual impedirá la detección y medición, luego en la otra imagen se ve un umbral elegido correctamente de forma que solo se destaca en blanco el punto de luz producido por el láser.



Para poder determinar el centro del punto de luz este es aproximado por elipses, cada contorno de la imagen binaria es representado por una elipse la cual tiene los ejes y la inclinación adaptada al contorno.

Antes de esto es necesario encontrar los contornos de la imagen: a cada sección de la imagen donde cambia de negro a blanco se la adjudica un contorno. Esto se lleva a cabo con la función `cvFindContours()`.

Luego de esto se puede aproximar por elipses, quedando elipses que se adaptan al contorno de las zonas blancas de la imagen.

Si el sistema está bien calibrado solo el punto de luz láser quedara en blanco en la imagen y estará representado por una elipse. La ventaja de trabajar con elipses es que ellas están representadas por su ancho alto y su centro, en píxeles de esta forma sob se necesita consultar estos valores para determinar el centro del punto luminoso.

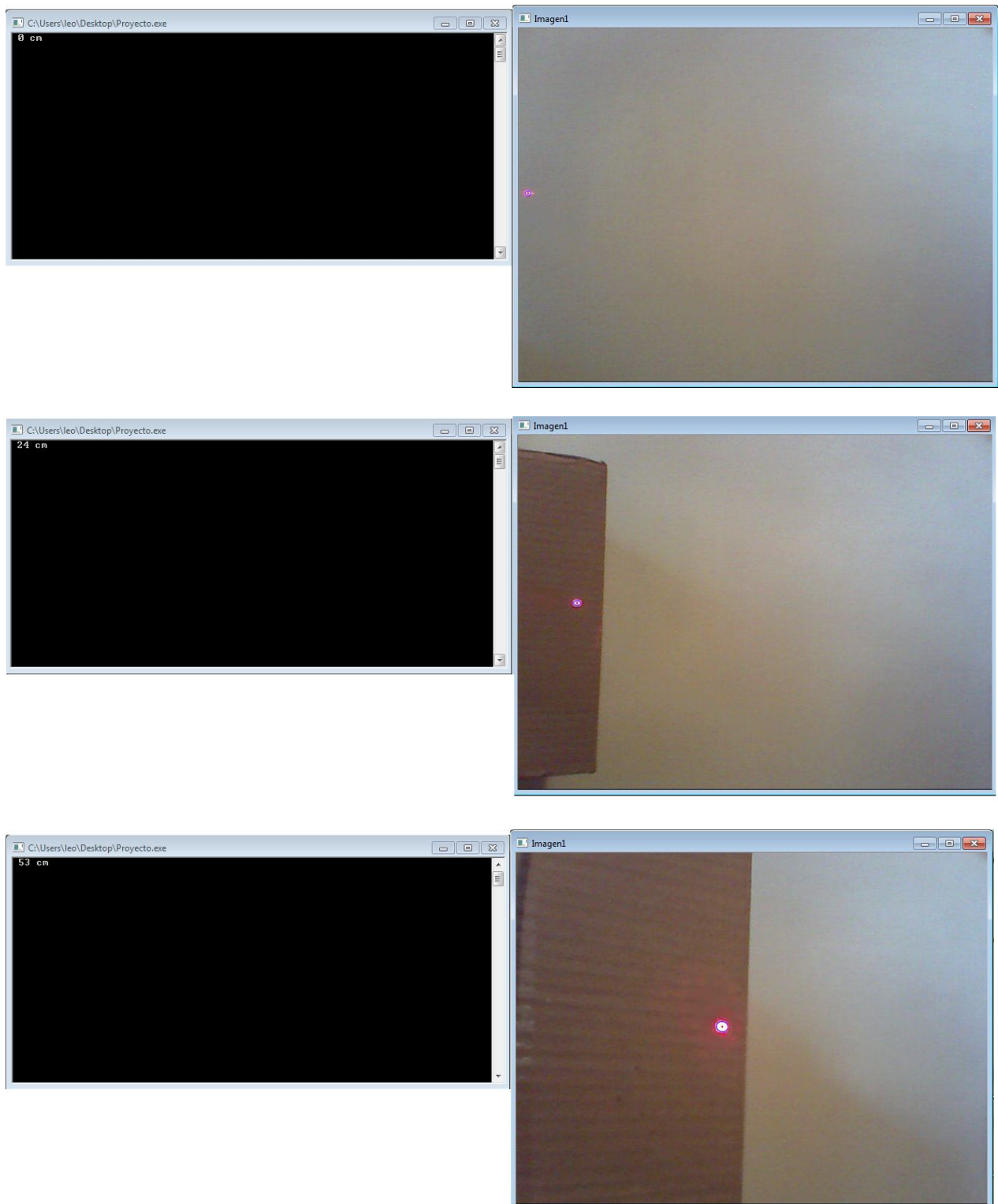
Se puede dar el caso que aparezca más de una elipse encontrada, esto puede ser por una mala calibración de luz, reflejos en otras superficies, reflejos internos de la cámara, o mucha potencia de iluminación láser. En este caso la medición no es posible.

Para solucionar algunos de estos problemas la elipse encontrada deberá tener la dimensión correcta (mayor a 2 y menor a 60 píxeles), y la ubicación de la misma se debe dar en un determinado lugar del cuadro (de 220 a 260 píxeles verticales).

En caso de detectarse más de una elipse o ninguna (por ejemplo si no está encendido el láser) el sistema no efectuará la medición y colocará un leyenda de ERROR n donde n es el número de elipses encontradas (0 ó >2).

Si se encuentra una sola elipse se realiza el cálculo y se muestra la distancia en cm, esta es limitada a 65 cm, en caso de superarse se indicara (-----).

A continuación se muestran tres imágenes del funcionamiento del programa, la primera sin objetos a medir, y las otras dos con objetos de 24 y 53cm respectivamente.



Este sistema debe ser capaz de calibrar el cero, es decir que si por alguna razón el sensor no se encuentra a 800 mm de la cinta transportadora este no indicaría 0 a pesar de que no haya objetos presentes. Para solucionar esto se puede calibrar a través del menú, se deberá hacer que el sistema mida sin presencia de objeto y presionando una tecla este indicara cero.

El programa mostrara dos ventanas una de texto en la cual se mostrara la medida o la indicación de error, y en la otra se mostrara la imagen tomada por la cámara, con una elipse alrededor del punto láser y además se indicara su punto central. En caso de error este se indicara en la ventana de texto y si este es producido por la detección de más de una elipse esta se dibujaran en la imagen en color rojo.

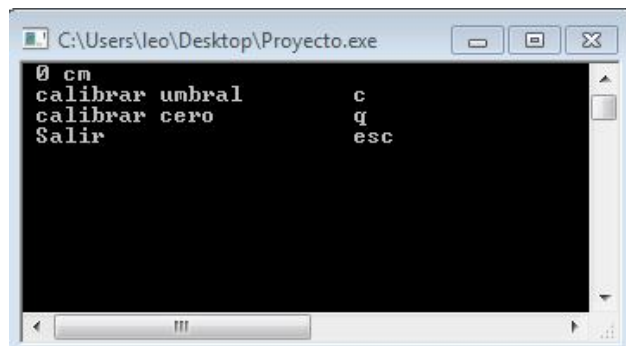
Presionando la tecla m se accede a un menú, el cual permitirá:

Presionando q : calibrar a cero presionando luego la tecla w si no se efectúa la medición en ese momento se indica que no se pudo calibrar.

Presionando c : se accederá a la calibración de umbral, aquí se abre una nueva ventana donde se muestra la imagen binaria luego de la acción de umbral, esta ventana posee una barra deslizante la cual configura el valor de umbral, de esta forma se puede calibrar la imagen para que solo aparezca en blanco el punto de luz generado por el láser para que de esta forma se produzca la detección correctamente.

Luego se indica que la acción termina presionando la tecla k donde se cierra la nueva ventana abierta.

Presionando Esc : se cierra el programa.



Si por algún defecto de construcción o algún otro inconveniente el ángulo de la cámara respecto del láser no es el correcto se verá afectada la medición debido a que una referencia a 80 cm no indicara el píxel 10 como fue el diseño previo. Para solucionar esto se realiza un menú que permite calibrar el instrumento, este menú no está destinado para el usuario común si no para efectuar una calibración de fábrica o si surge algún malfuncionamiento. Para esto se oprimir la tecla p y luego de confirmar se procede a colocar un objeto a 80 cm de distancia y calibrar el instrumento. Esto se lleva a cabo detectando el píxel del centro del punto de luz a 80 cm y este se incorpora en la ecuación que da la medición reemplazando el número 10 que es el píxel inicial.

Tanto el valor de umbral como el que permite calibrar a cero y el ángulo son guardados en el disco rígido, con el fin de conservar la configuración luego de cerrar el programa.

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

Al comienzo se calculó el angular de la cámara midiendo el tamaño del cuadro a una distancia determinada lo que dio un resultado de $45,44^\circ$, esto dividido 640 pixeles dio un valor angular de un píxel $\alpha_R = 0,071^\circ$, una vez con el programa en funcionamiento se vio que la medición se hacía más imprecisa a medida que el punto de luz se desplazaba más hacia la derecha que es cuando más pixeles son involucrados en la medición. Por esto se creyó que el valor del ángulo que representa cada píxel no era lo suficientemente preciso, para calcularlo nuevamente se colocaron objetos a distancias conocidas y se observó en que píxel se ubicaba el centro del punto de luz, luego de los cálculos se obtuvo un valor de $\alpha_R = 0,068^\circ$ lo que mejoro la medición.

$$\text{Alt} = 80 - 15 \cdot \tan(79.38^\circ - (n-10) \cdot 0,068^\circ)$$

Esto cambia la resolución mínima a 0,5208 cm, prácticamente igual a la antes calculada.

En un comienzo se pensaba que el láser (dentro de su potencia de trabajo) mientras más luz produzca mejor funcionaria el sistema, luego se vio que esto era un inconveniente cuando el objeto se ubicaba cerca de la cámara, porque por reflexiones internas de la cámara el punto de luz se deformaba mucho imposibilitando la medición, esto se solucionó bajando la potencia del láser mediante un potenciómetro que permite ajustar su intensidad a un nivel correcto.

CONCLUSIONES

Primeramente, plantearme la resolución de un problema me permitió investigar varias soluciones para resolverlo, interiorizándome de varios métodos y tecnologías en la medición de distancia sin contacto, para luego poder decidir la mejor forma de llevarlo a cabo. El realizar el proyecto de esta forma (utilizar visión para medir) me permitió utilizar e informarme sobre técnicas de visión y conocer la versatilidad de estos sistemas.

ANEXOS:

LISTADOS DE PROGRAMAS

```
#include "cv.h"
#include "highgui.h"
#include <stdio.h>
#include <ctype.h>
#include <iostream>
#include <stdlib.h>
#include <conio.h>

using namespace std;

char c=8,key=0,flag='k';
unsigned int W, H;
CvScalar s;
float dist=0,dist1=0,calib=0,pic=0.0012;
int i=20,j=20,a=0,b=0,ti=230,p1,p2,width,height,counter = 0,nos,tgw,pix=11;
int r1=255,g1=255,b1=255,distd,cal=0,centerx=0,centery=0;
double bl,re,gr,fps,sec;
struct datos{int tre;int pi;float cer;};
//Variable donde se almacenara el frame de la webcam.
IplImage *frame = 0,*frame1=0;
CvSeq* contours = 0;

main()
{

    struct datos data;
    FILE *f;

    f = fopen("archivo.txt", "r");
    fread(&data,sizeof(data),1,f); // lee datos de disco
    fclose(f);

    ti=data.tre;
    calib=data.cer;
    pix=data.pi;

    CvCapture* capture = 0;
    capture = cvCaptureFromCAM(6);

    if( !capture )
    { fprintf(stderr,"No se puede inicializar la captura...\n");
      return -1;
    }

    cvNamedWindow( "Imagen",0);          //crea ventana a tamaño definido
    cvNamedWindow( "Imagen1",0 );

    cvCreateTrackbar( "Umbral", "Imagen", &ti, 255, 0 );

    frame = cvQueryFrame( capture );

    width  = frame->width;
    height = frame->height;
```

```
frame1 = cvCreateImage( cvSize( width, height ), IPL_DEPTH_8U, 1 );

for(;;)
{
    frame = cvQueryFrame( capture );
    CvMemStorage* storage = cvCreateMemStorage(0);

    if(flag=='z')    cvShowImage( "Imagen", frame );

    cvCvtColor(frame,frame1,CV_RGB2GRAY);          //imagen a escala de grises
    if(flag=='x') cvShowImage( "Imagen", frame1 );

    cvThreshold( frame1,frame1, ti,255,0);
    if(flag=='c')
    {
        cvCreateTrackbar( "Umbral", "Imagen", &ti, 255, 0 );
        cvShowImage( "Imagen", frame1 );
        printf(" oprima k para salir\n");
    }

    CvSeq* contour;

    // Crea estructura dinamica y secuencia.
    storage = cvCreateMemStorage(0);
    contour =
    cvCreateSeq(CV_SEQ_ELTYPE_POINT,sizeof(CvSeq),sizeof(CvPoint),storage);

    // Encuentra todos los contornos.
    cvFindContours(frame1,storage,&contour,sizeof(CvContour),CV_RETR_LIST,
    CV_CHAIN_APPROX_NONE, cvPoint(0,0));
    if(flag=='v') cvShowImage( "Imagen", frame1 );

    int eli=0;

    // Dibuja contornos y aproxima por elipses.
    for(;contour;contour = contour->h_next)
    {
        int count = contour->total; // numero de puntos del contorno.
        CvPoint center;
        CvSize size;
        CvBox2D box;

        // para (cvFitEllipse_32f)numero de puntos debe ser mayor o igual a 6.
        if( count < 6 )
            continue;

        CvMat* points_f = cvCreateMat( 1, count, CV_32FC2 );
        CvMat points_i = cvMat( 1, count, CV_32SC2, points_f->data.ptr );
        cvCvtSeqToArray( contour, points_f->data.ptr, CV_WHOLE_SEQ );
        cvConvert( &points_i, points_f );

        // Ajusta la elipse a el contorno actual.
        box = cvFitEllipse2( points_f );

        // Convierte los datos de la elipse de float a representacion integer.
```

```
        center = cvPointFrom32f(box.center);
        size.width = cvRound(box.size.width*0.5);
        size.height = cvRound(box.size.height*0.5);

        if(flag=='b')
        {
            cvEllipse(frame1, center, size, -box.angle, 0, 360, CV_RGB(255,255,255), 1,
CV_AA, 0);
            cvShowImage( "Imagen", frame1 );
        }

        if(size.width>2 && size.height>2 && size.height<60 && size.width<60 &&
center.y>220 &&center.y<265 )
        {   eli++;

            centerx=center.x;
            centery=center.y;

            if(eli==1)
            {
                dist=80-calib-(15)*tan(1.387864-(center.x-pix)*pic);
                distd=(int)dist;

            }
            // dibuja elipse y centro
            cvEllipse(frame, center, size, -box.angle, 0, 360, CV_RGB(r1,g1,b1), 1,
CV_AA, 0);
            cvCircle( frame, cvPoint(center.x,center.y), 1, CV_RGB(255,0,0), -1, 8,0);

        }

        cvReleaseMat(&points_f);
    }

    system("cls");
    if (eli==1)
    {   if(distd<66)
        {
            printf(" %d cm  \n",distd);
            r1=100;g1=0;b1=255;
        }
        else   printf("----- \n");
    }
    else
    {   printf ("ERROR %d \n",eli);
        r1=255;g1=25;b1=0;
    }

    if(c=='q') { cal=1; calib=0;}
    if(cal==1 && eli==1) printf("Oprima w para calibrar a 0  \n ");
    if(cal==1 && eli!=1)
        { printf("No se puede Calibrar oprima w  \n ");
          if(c=='w' && cal==1) cal=0;
        }
    if(cal==1 && eli==1 && c=='w')
        {   calib=dist;
            cal=0;
        }
}
```

```
if(cal==1 && c=='e') cal=0;

if(c=='p') { cal=2; }
if(cal==2) printf(" Si esta seguro de calibrar angulo precione o \n "
                  "si no precione l" );
if(cal==2 && c=='o') cal=3;
if(cal==2 && c=='l') cal=0;
if(cal==3 && eli==1) printf("Coloque objetivo a 80 cm y oprima i para
calibrar angulo \n");
if(cal==3 && eli!=1)
{ printf("No se puede Calibrar angulo oprima i \n ");
  if(c=='i' && cal==3) cal=0;
}
if(cal==3 && eli==1 && c=='i')
{
    pix=centerx;
    cal=0;
}
if(cal==3 && c=='u') {pix=11; cal=0;}

cvShowImage( "Imagen1", frame );
cvReleaseMemStorage( &storage );

if(flag=='k')
{
    cvDestroyWindow("Imagen");
    flag=0;
}

if(flag=='m')
{
    printf(" calibrar umbral      c \n ");
    printf("calibrar cero      q \n ");
    printf("Salir      esc\n ");
}

c = cvWaitKey(1); //entrada de teclado
if (c!=-1) flag=c;

if(c==27) break;

}

data.tre=ti;
data.cer=calib;
data.pi=pix;

f = fopen("archivo.txt", "w");
fwrite(&data,sizeof(data),1, f); //guarda datos en disco
fclose(f);

cvReleaseCapture( &capture );// Libera la memoria utilizada por la variable
capture.
cvDestroyWindow("imagen"); // Destruye las ventanas.
cvDestroyWindow("imagen1");

}
```