

**ESTUDIO SOBRE VIABILIDAD DE UTILIZACIÓN DE UN SISTEMA DE VISION
ARTIFICIAL PARA LA REALIZACIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD EN LA
FABRICACIÓN DE ADHESIVOS SÓLIDOS EN H.B. FULLER COLOMBIA**



ISAIAS TRUJILLO MACHADO

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACION
DEPARTAMENTO DE FISICA
POPAYAN
2006**

**ESTUDIO SOBRE VIABILIDAD DE UTILIZACIÓN DE UN SISTEMA DE VISION
ARTIFICIAL PARA LA REALIZACIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD EN LA
FABRICACIÓN DE ADHESIVOS SÓLIDOS EN H.B. FULLER COLOMBIA**

ISAIAS TRUJILLO MACHADO

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO FÍSICO en la modalidad de trabajo de investigación**

**Director EDGAR LEONAIRO PENCUE FIERRO
Ingeniero Físico**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACION
DEPARTAMENTO DE FISICA
POPAYAN
2006**

Nota de aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

AGRADECIMIENTOS

El autor manifiesta sus más sinceros agradecimientos a:

- El Grupo de Óptica y Láser por el gran apoyo que me brindó durante el desarrollo de este trabajo. Especialmente a los profesores Leonairo Pencue y Mario Patiño por estar pendientes de la evolución del proyecto y porque creyeron en mí, y confiaron en mis capacidades.
- La compañía H.B. Fuller por brindarme la oportunidad de demostrar mis capacidades mediante la aplicación del conocimiento adquirido. Por la colaboración brindada por todo el personal involucrado directa e indirectamente, que mediante la crítica constructiva ayudaron a especificar mejor la idea para el desarrollo del proyecto, y por la asignación del espacio y los recursos necesarios para el desarrollo integral del estudio.
- El departamento de Física por enseñarme a hacer de la física un conocimiento útil en función de la tecnología, y ofrecerme la oportunidad de formarme científica y tecnológicamente, como ingeniero con un profundo conocimiento en física y como físico con las habilidades propias de un ingeniero.
- La Universidad del Cauca por permitirme un espacio para formarme integralmente como persona y como profesional.
- Ph.D. Jacques Facon Universidad Champagnat da Pontificia Universidad Católica de Paraná por la asesoría y el apoyo brindados.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	15
0. INTRODUCCIÓN	17
0.1 INSPECCIÓN VISUAL AUTOMATIZADA: ¿PORQUÉ Y PARA QUÉ?	18
1. OBJETIVOS	22
1.1 OBJETIVO GENERAL	22
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
2. MARCO REFERENCIAL	24
2.1 GENERALIDADES SOBRE ADHESIÓN	25
2.2 ADHESIVOS HOT MELT	26
2.2.1 Propiedades de los Adhesivos Hot Melt	35
2.2.2 Ventajas de los Adhesivos Hot Melt	41
2.2.3 Desventajas de los Adhesivos Hot Melt	43
2.2.4 Características Especiales de los Adhesivos Hot Melt Elaborados en H.B. Fuller	44
2.3 VISION POR COMPUTADOR	45

2.3.1	Iluminación	48
2.3.1.1	Iluminadores	50
2.3.1.2	Esquemas de Iluminación	51
2.3.2	Óptica	54
2.3.2.1	Lentes	56
2.3.3	Cámaras de Visión Artificial	58
2.3.3.1	Tecnología de los Sensores CCD	62
2.3.3.2	Estándares de Vídeo y Formato Entrelazado	66
2.3.3.3	Cámaras Analógicas y Digitales	69
2.3.3.4	Cámaras de Alta Velocidad	72
2.4	PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	73
2.4.1	Extracción de Planos de Color	77
2.4.2	Manipulación del Contraste	78
2.4.3	Filtrado	82
2.4.3.1	Filtrado Espacial	82
2.4.3.2	Filtrado en Frecuencia	85
2.4.4	Extracción de Características	86
2.4.4.1	Segmentación	87
2.5	EVALUACION FIANCIERA DE PROYECTOS DE INVERSION	92
2.5.1	Equivalencia entre una suma presente y una serie de Sumas Uniformes	93

2.5.2	El valor presente neto	94
3.	DISEÑO METODOLOGICO	96
3.1	ADQUISICION DE IMÁGENES	96
3.2	PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	98
3.3	ANÁLISIS DEL ENTORNO	100
3.4	ANÁLISIS COSTO / BENEFICIO	100
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	102
4.1	ADQUISICION DE IMÁGENES	102
4.2	PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	105
4.3	ANÁLISIS DEL ENTORNO	129
4.4	ANÁLISIS COSTO / BENEFICIO	150
5.	CONCLUSIONES	160
	PARTICIPANTES EN EL PROYECTO	163
	BIBLIOGRAFÍA	165
	ANEXOS	169

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Valor de Umbral para Hot Melt “Blanco”	112
Tabla 2. Valor de Umbral para Hot Melt “Amarillo” antes del mejoramiento	119
Tabla 3. Valor de Umbral para Hot Melt “Amarillo” después del mejoramiento	123
Tabla 4. Datos de flujo contra peso	141
Tabla 5. Lista de precios y equipos sugeridos	151
Tabla 6. Lista de costos por presencia de puntos	154

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Proceso de elaboración de pañales	41
Figura 2. Presentación Adhesivo Sólido Hot Melt Sensitivo a la Presión	45
Figura 3. Sistema típico de visión de máquina	47
Figura 4. Iluminación Difusa	52
Figura 5. Iluminación a Contraluz	53
Figura 6. Formatos de los Sensores CCD	62
Figura 7. Esquema General del Procesamiento y Análisis de Imágenes Utilizado en Sistemas de Visión Artificial	75
Figura 8. Modelo de color RGB	77

Figura 9. Efecto de la Función Seno	81
Figura 10. Equivalencia entre una serie de sumas uniformes de magnitud (R) y una suma presente (P)	93
Figura 11. Montaje experimental	97
Figura 12. Fotografía Hot Melt 38 lado 2 (HM38L2)	107
Figura 13. Histograma de los tres planos de color	107
Figura 14. Histograma del plano Azul	108
Figura 15. Plano Azul de Hot Melt 38 lado 2	109
Figura 16. Estructura del Procesamiento	115
Figura 17. Umbralización de Hot Melt 38 Lado 2	116
Figura 18. Hot Melt Amarillo 10 lado 1	117
Figura 19. Histograma de Hot Melt Amarillo 10 lado 1	118

Figura 20. Umbralización de Hot Melt Amarillo 10 lado 1	118
Figura 21. Hot Melt Amarillo 10 lado 1 (Mejorado)	122
Figura 22. Histograma de Hot Melt Amarillo 10 lado 1 (Mejorado)	122
Figura 23. Umbralización de Hot Melt Amarillo 10 lado 1 Mejorada	124
Figura 24. Nueva Estructura del Procesamiento	125
Figura 25. Planta de Producción Línea Sensitivo	129
Figura 26. Línea de descarga por <i>Pillows</i>	132
Figura 27. Esquema de Montaje	138
Figura 28. Grafica de Flujo contra Peso	142
Figura 29. Descripción del área que debe ser capturada por el sensor	144
Figura 30. Grafica de flujo Ingresos - Egresos	155

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Cálculo de la cantidad de <i>Pillows</i> producidos	170
Anexo B. Descripción de los equipos sugeridos	171
Anexo C. Código en Visual C++, Segmentación de imágenes	174
Anexo D. Código en Visual C++, Función Seno	177
Anexo E. Código en Visual C++, Función reporte de alarmas	178
Anexo F. Código en Visual C++, Función visualizar reporte	179

GLOSARIO

Adhesivo: Sustancia capaz de mantener unido dos materiales por medio de una adherencia superficial

Cámara: dispositivo que se utiliza para la captura de eventos del mundo físico en una imagen de dos dimensiones.

Cámaras Matriciales: Término que se refiere a que el sensor de la cámara cubre un área o que está formado por una matriz de píxels

CCD: sensores *dispositivos de carga acoplada* (por sus siglas en inglés)

Contraste: se refiere a la diferencia en un atributo visual que hace que un objeto sea distinguible de su fondo. O también la relación entre las zonas más claras y más oscuras de una imagen.

Digitalizador: Es un dispositivo que convierte una imagen en una representación numérica (imagen digital).

Hot Melt: (Caliente se Derrite) Indica una característica para la clasificación de los adhesivos que para ser aplicados es necesario fundirlos

Iluminación: En la técnica se refiere al conjunto de dispositivos que se instalan para producir ciertos efectos luminosos, tanto prácticos, como decorativos

Imagen: se refiere a una función bidimensional representando intensidad de luz, donde x e y son las coordenadas espaciales y el valor de f en cualquier punto (x,y) es proporcional al brillo de la imagen en ese punto.

MIL: Matrox Imaging Library

Píxel: Acrónimo formado con las palabras inglesas 'Picture' 'element'. Es el elemento más simple (unidad) de una imagen digital.

Resolución: Es el mayor o menor detalle con el que se aprecian las imágenes.

Tack: Pegajoso típico de las sustancias adhesivas

Traslucido: Medio que transmite la luz pero la dispersa, de manera que no permite que se vea con claridad lo que está al otro lado de él.

RESUMEN

En la planta de H.B. Fuller Colombia existe una dificultad en la línea de producción de adhesivos sólidos sensitivos a la presión (*Hot Melt*), puesto que algunos productos terminados presentan pequeñas impurezas que se manifiestan en forma de partículas oscuras, que impiden que el producto pueda ser despachado al mercado o que este sea regresado por los clientes, y por tanto, debe ser reprocesado, creando así una serie de inconvenientes de tipo operacional y comercial, los cuales generan sobre-costos.

Por ello fue necesario realizar un estudio acerca de la viabilidad de implementación de un sistema de visión artificial para la realización del control de calidad del producto terminado en la línea de producción de dichos adhesivos. El sistema está en capacidad de discriminar cuando el producto, que va pasando por una banda transportadora, presente impurezas que puedan afectar su buen desempeño al momento de ser utilizado.

Esta información permitirá evitar que el producto sea distribuido en el mercado en esas condiciones y evitar daños ocasionados a terceros y devoluciones por rechazos, además de brindar una información oportuna para poder realizar los respectivos ajustes en los equipos de filtración de impurezas durante el bombeo y

control de partículas “extrañas” presentes en el ambiente que pueden afectar el producto, y de esta manera poder eliminar la causa de la no-conformidad, para garantizar al cliente las mejores condiciones de calidad usando tecnología de gama alta para su inspección.

En el estudio realizado se determinó la posibilidad de capturar imágenes a alta velocidad del producto terminado en la línea de producción, que permitieran luego de un procesamiento digital y la aplicación de algoritmos de visión artificial (en un programa desarrollado específicamente para esta tarea), la detección de impurezas, que determinan si el producto se encuentra o no en condiciones para su comercialización.

Se evaluó así la posibilidad de implementar un sistema de visión artificial para la realización del control de calidad de estos productos mediante el procesamiento digital de imágenes y se estudiaron otros parámetros físicos como la iluminación, tipo de cámara y ubicación, velocidad de la banda transportadora, velocidad de circulación de producto, tamaño y color de partículas y producto, entre otras.

Para la realización de este procesamiento se desarrolló un programa en Visual C++, donde se cuenta con la ayuda de herramientas útiles para el trabajo con imágenes capturadas mediante cámaras CCD, y su respectiva adquisición y procesamiento en tiempo real.

0. INTRODUCCIÓN

La industria actual busca la automatización de sus procesos, como es el caso de los sistemas responsables del control de calidad, esto con el fin de mejorar su desempeño, buscando así mantenerse en un nivel competitivo e incrementando los niveles de productividad de sus clientes. En la planta de H.B. Fuller Colombia existe una dificultad en la línea de producción de adhesivos *Hot Melt (PSA)*, puesto que en el producto terminado ocasionalmente se presentan impurezas que se manifiestan en forma de partículas oscuras que logran pasar a través del sistema de filtración, o se adhieren al producto en la aplicación de la Coextrusión o durante el recorrido por el sistema de refrigeración y secado, estas representarían un problema si el producto es suministrado a las máquinas de nuestros clientes que realizan la aplicación del adhesivo sobre las superficies o sustratos, ya que pueden obstruir los filtros, afectando así el flujo normal de adhesivo en las boquillas de los equipos aplicadores.

Se hace así necesaria la realización de este estudio para determinar la viabilidad de implementar un sistema de visión artificial en la realización del control de calidad a los adhesivos sensitivos a la presión que allí se elaboran, puesto que actualmente esta labor esta a cargo de personal entrenado para este oficio (un operario ejecuta una inspección visual a los cojines adhesivos cuando estos ya se

encuentran en sus respectivos empaques), pero este método no es efectivo debido a que el reducido tamaño de las impurezas presentes en el producto no son lo suficientemente fáciles de captar por el ojo humano, además como el producto ya se encuentra empacado, es posible que no se alcancen a distinguir los elementos que se encuentran en el interior del empaque, a esto se le añade el factor humano, que lleva a cometer errores, por el mismo cansancio visual introducido por las labores prolongadas en el mismo producto, lo cual representa una tarea muy agotadora y monótona para el operador, por lo que después de cierto tiempo no se garantiza la detección de impurezas correctamente.

Por ello este estudio se enfocó en investigar y determinar la posibilidad de un mejoramiento de este método, explorando la utilización de un sistema óptico de visión artificial que apoyaría la labor realizada por el operario, buscando con ello una optimización y por lo tanto una mayor efectividad en la inspección del producto, mejorando y garantizando así su calidad, lo que representa un factor que da mayor confiabilidad y competitividad a la compañía.

0.1 INSPECCIÓN VISUAL AUTOMATIZADA: ¿POR QUÉ Y PARA QUÉ?

La inspección visual de materiales o productos es necesaria en los procesos industriales, es importante para la caracterización y clasificación de materias

primas, para el control de procesos de manufactura, y para determinar la calidad de los productos finales. Las aplicaciones típicas de la inspección visual incluyen la inspección de las dimensiones y la calidad de las superficies de piezas elaboradas, la calidad de impresión de etiquetas y billetes, la verificación de circuitos impresos, el análisis de imágenes de rayos x, el control de calidad de juntas de soldadura y de herramientas, la inspección de productos alimenticios como pollo, carne, frutas y hortalizas, y el reconocimiento de defectos en textiles, papel, acero y madera, entre otros.

A pesar del alto grado de automatización en las líneas de producción, las tareas de inspección visual de las piezas se confía principalmente al sistema visual humano ya que el proceso de inspección visual se ha automatizado a pasos relativamente lentos. El desarrollo de sistemas de inspección visual automatizada no es fácil. La falta de flexibilidad de las estrategias de diseño existentes, la carencia de métodos bien establecidos de caracterización del desempeño y la escasez de estudios en la materia complican el desarrollo de este tipo de sistemas. Además, la identificación visual automática es bastante difícil, las tareas de inspección son a menudo más complejas de lo esperado y muchos problemas requieren alta velocidad, lo que representa un gran desafío para los diseñadores.

La mayoría de los beneficios de la inspección visual automatizada se encuentran comparando la inspección automatizada con la inspección humana. Un sistema de

inspección automatizado puede operar incansablemente y proporciona calidad y exactitud consistentes en los productos inspeccionados. La inspección automatizada puede encontrar defectos que son demasiado sutiles para la capacidad discriminativa de un humano y operan con velocidades mucho más altas que este, por ejemplo, en las bandas transportadoras en una línea de producción que se mueven a varios metros por segundo.

En un ambiente automatizado, se puede tener en cuenta la información sobre cada defecto, su tipo, posición y clasificación según el tamaño, y es posible manejar simultáneamente una variedad mucho mayor de opciones de las que sería capaz un inspector humano. Por otro lado, no deben subestimarse la flexibilidad y robustez de los inspectores humanos. De aquí que sea difícil incorporar la capacidad de los humanos para manejar situaciones inesperadas en un sistema de inspección automatizado.

Aunque las ventajas de la inspección automatizada están mejorando la productividad de tal manera que se han superado las desventajas de la inspección manual inconsistente, ahorrando esfuerzo, hay también subsecuentemente un trasfondo humano ya que muchas tareas de inspección son difíciles, tediosas y, muchas veces, hostiles o peligrosas.

También se han comparado las ventajas de la inspección visual automatizada con los métodos de inspección automatizada sin visión, por ejemplo con los basados en inspección por contacto. La visión artificial puede aliviar la necesidad de implementación de líneas de retención y posicionamiento precisos. Además, las operaciones de inspección mediante visión artificial se hacen sin contacto (pruebas no-destructivas) y no hay riesgo de daño para el producto durante la inspección.

Con todo esto, la inspección visual automatizada no siempre puede ser factible. Para que sea factible, debe ser rápida, fiable, robusta, y rentable. El concepto de rapidez (relacionada con el concepto de tiempo real) es dependiente de la aplicación, por lo que los requerimientos de respuesta del sistema pueden variar de milisegundos a minutos. El funcionamiento en tiempo real de un sistema de inspección es un gran reto debido a los grandes volúmenes de datos y a la complejidad de los métodos. La fiabilidad y la robustez son las capacidades del sistema para operar con iluminación cambiante, objetos inesperados, polvo, humo, vibraciones, o el cambio de velocidad del producto, etc. Debe considerarse también el costo de desarrollo e implementación.

Típicamente, la inspección automatizada es económicamente factible cuando el proceso tiene grandes volúmenes, requiere inspección muy consistente o exacta, o está en un ambiente que implica algún riesgo para la integridad de los humanos.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

- 1.1.1** Realizar un estudio acerca de la factibilidad de implementar un sistema de visión artificial que realice la tarea de inspeccionar el producto terminado en la línea de producción para facilitar la labor de control de calidad de los cojines adhesivos Hot Melt sensitivos a la presión elaborados en la planta de H.B. Fuller Colombia.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.2.1** Analizar la posibilidad de optimizar el método como actualmente se realiza el control de calidad, mediante la aplicación de algoritmos de procesamiento digital de imágenes que permitan extraer una serie de características específicas del producto, que determinen cuando se presenten impurezas en las imágenes correspondientes a la escena captada del producto en circulación.

- 1.2.2** Estimar condiciones del ambiente y del entorno de ubicación donde posiblemente se implementaría en el futuro el sistema de visión artificial, determinar que tipo de adecuaciones se deben hacer en la planta para lograr una ubicación del equipo que realice satisfactoriamente la tarea de inspección sin afectar el proceso de producción.
- 1.2.3** Conocer qué tan rentable y eficiente resultaría para la compañía la adquisición de un sistema automático de detección de impurezas presentes en el producto elaborado, estableciendo la relación costo/beneficio que implicaría la implementación de un equipo que realice la labor de inspección del producto terminado mediante un sistema de visión artificial, realizando una evaluación financiera del proyecto de inversión.

2. MARCO REFERENCIAL

H.B. FULLER es una compañía multinacional dedicada a la elaboración de adhesivos, sellantes, pinturas, y comercialización de productos químicos especializados, usados en cientos de miles de aplicaciones en el mundo. Fundada en 1887, la compañía hace presencia directa en 33 países distribuidos en Norteamérica, Latinoamérica, Europa y Asia. La misión de la compañía es ser el líder mundial en formulación, fabricación y mercadeo de tecnología especialmente dirigida a productos químicos, servicios y soluciones relacionados.

La especialidad en la planta de Colombia, ubicada en Itagüí, es la fabricación de adhesivos Hot Melt Sensitivos a la Presión (PSA), utilizados en la elaboración de pañales y toallas femeninas, al igual que adhesivos Hot Melt donde su base es un copolímero de Etil Vinil Acetato (EVA), empleados en la industria de empaque, encuadernación, laminación, madera y ensamble, entre otros.

Este estudio se enfocó en analizar la viabilidad de implementación de un sistema de visión artificial para la realización del control de calidad en la línea de producción de los adhesivos Hot Melt sensitivos a la presión, donde es mas crítico el inconveniente con las impurezas.

2.1 GENERALIDADES SOBRE ADHESIÓN

Un adhesivo es una sustancia capaz de mantener unidos dos materiales por medio de una adherencia superficial; dicha adherencia se desarrolla en dos etapas: En la primera etapa se debe realizar una Adhesión (específica) entre el adhesivo y el sustrato, que es resultante de las fuerzas producidas por las atracciones dipolo - dipolo, Van der Waals y/o enlaces químicos. Las fuerzas dipolo - dipolo y Van der Waals se presentan por las interacciones de los dipolos permanentes e inducidos de las moléculas del adhesivo y del sustrato; los enlaces químicos producen el tipo de adherencia más resistente, se desarrollan cuando el sustrato tiene grupos químicos que reaccionan con el adhesivo. En la segunda etapa se debe desarrollar una resistencia cohesiva dentro del adhesivo conforme este "cure", pierda humedad/solvente o solidifique; cuando los sustratos son porosos, se da la adhesión mecánica en la que el adhesivo líquido es forzado hacia las cavidades del sustrato, donde se endurece, quedando entonces como anclado a cierta profundidad de las mismas. La fuerza adherente es el resultado de la suma de la fuerza de adhesión más la fuerza de cohesión.

La materia existe en forma sólida o líquida a causa de la existencia de una fuerza de cohesión o atracción entre las moléculas y átomos que la constituyen. Las moléculas internas están sujetas a fuerzas de atracción en todas las direcciones, mientras que las que componen la superficie no tienen todas sus fuerzas de

atracción satisfechas; la energía libre que desarrollan en la superficie es la que permite que los sólidos y líquidos sean capaces de atraer las partículas (moléculas y átomos) de otros cuerpos y desarrollar fuerzas de adhesión.

Para que se desarrolle una fuerza de adhesión es necesario que se dé un contacto entre el adhesivo y el sustrato; éste sólo se presenta cuando la energía superficial del sólido es mayor que la tensión superficial del adhesivo, por lo que, la tensión superficial regula la intimidad del contacto entre el sustrato y el adhesivo; al formulador de adhesivo le corresponde entonces disminuir la tensión superficial del adhesivo para obtener un mejor pegue; también se puede aumentar la energía superficial del sustrato por tratamientos especiales (por ejemplo, por tratamiento corona, flameado, bioorientación, lijado etc.).

2.2 ADHESIVOS HOT MELT

Como su nombre lo indica, son una sustancia adhesiva que al calentarse se funde, los adhesivos Hot Melt son 100 % sólidos que son calentados a temperaturas encima de su punto de ablandamiento y aplicados en estado fundido al menos a un sustrato. Estos pegamentos pueden ser materiales muy rígidos o flexibles (pegajosos) según las materias primas usadas.

Los Adhesivos **Hot Melt sensitivos a la presión (PSA)**, son adhesivos que tienen la propiedad de formar una unión bajo una ligera presión a temperatura ambiente. Se utilizan en la fabricación de productos sanitarios (pañales y toallas desechables), etiquetado, cintas autoadhesivas, otros. Los polímeros que se utilizan son unos copolímeros en bloque de la forma A-B-A, donde A representa una cadena termoplástica en los extremos de *poliestireno* y B una cadena intermedia de caucho; la cadena de caucho puede formarse a partir de *isopreno* (I), *butadieno* o de *etileno/butileno* (EB) (resultando los copolímeros S-I-S, S-B-S y S-EB-S respectivamente). Los extremos de la cadena (fase poliestirénica) se asocian formando un gran dominio plástico, responsable de la fuerza de tensión y del comportamiento a altas temperaturas; la flexibilidad a bajas temperaturas es controlada por la temperatura de transición vítrea del bloque intermedio de caucho, las películas de S-B-S, S-I-S y S-EB-S permanecerán flexibles a temperaturas de -85°F, -65°F y -55°F respectivamente.

Los copolímeros S-I-S y S-B-S poseen insaturaciones, haciéndolos susceptibles de ser atacados por el oxígeno, luz U.V, ozono o cualquier otra fuente de energía, por lo que necesitan ser protegidos con antioxidantes; estos copolímeros son recomendados para aplicaciones que no estarán bajo condiciones severas de degradación, por ejemplo. En la construcción de pañales desechables. Los S-B-S son copolímeros completamente saturados, razón por la cual presentan una excelente resistencia a la degradación por oxígeno, luz UV y ozono, son los

polímeros ideales para Hot Melt que requieren altos períodos de vida útil y que estarán en contacto con el medio ambiente.

Las resinas y los plastificantes pueden unirse con una de las dos fases; cuando se asocian con el dominio de poliestireno, se incrementa el volumen de esta fase favoreciendo el comportamiento a altas temperaturas, formando un adhesivo más rígido, disminuyendo la elongación, incrementando la tensión y reduciendo el *tack* (“pegajoso” típico de las resinas poliaromáticas). Cuando se asocian con la fase de caucho, aumentan la elongación, incrementan el *tack* y disminuyen la fuerza de tensión (típico de los hidrocarburos alifáticos, resinas politerpénicas y ésteres de rosin).

Los adhesivos Hot Melt están bien establecidos en la mayor parte de los mercados o industrias donde se utilizan adhesivos, incluyendo empaques o empaçado, encuadernación, tela no tejida, calzado, entre otros, debido principalmente a las ventajas del rápido procesamiento. A diferencia de pegamentos a base de agua o solventes, los pegamentos Hot Melt no requieren un tiempo de secado. El Hot Melt durante el proceso de aplicación pierde fácilmente temperatura, lo cual le permite solidificarse y unir rápidamente los sustratos. Esta solidificación rápida es ideal para el empleo sobre las líneas de producción altamente automatizadas que requieren la rápida formación de partes que enlazan un proceso.

Algunas de las materias primas que se utilizan en la fabricación de estos adhesivos son:

- **POLIOLEFINAS**

Basadas en polietileno de baja densidad. Se utilizan en la industria de empaques (cajas corrugadas, bolsas multicapas), laminación y ensamble. Los adhesivos Hot Melt formulados con polietileno tienen mejor resistencia térmica y química que los basados en EVA, pero poseen menor adhesión específica, menor flexibilidad a bajas temperaturas y menos *tack* en caliente. En una formulación se pueden utilizar entre 60 y 90 %, mezclados con resinas hidrocarbonadas; estas formulaciones poseen menos olor y color que las basadas en EVA.

Amorfos APO. Son utilizados en laminación, cerrado de bolsas multicapas y en adhesivos sensitivos a la presión. Los adhesivos formulados con estos polímeros muestran buena humectabilidad, alto tiempo abierto, buena adhesión específica a substratos poliolefínicos y buen comportamiento a bajas temperaturas; sin embargo por el hecho de ser amorfos son de lenta fijación, blandos, *tacktosos*, tienen muy poca fuerza de cohesión a altas temperaturas a pesar de tener un punto de ablandamiento alto. Las propiedades físicas dependen del polímero seleccionado; los basados en homopolímero de polipropileno tienen baja adhesión con respecto a otros APO, pero tienen más

alta fuerza de tensión; los copolímeros de etileno / propileno tienen excelente adhesión y buen comportamiento a bajas temperaturas, pero tienen muy baja fuerza de tensión; los copolímeros de butano / propileno aportan tanto fuerza de tensión como de adhesión, sin embargo son más costosos.

- **POLIAMIDAS.** Se utilizan en pegues que requieren propiedades especiales como por ejemplo: resistencia química (fabricación de filtros para aire y aceites), pegue de metales y resistencia a los solventes (costura lateral de hojalata), altas fuerzas de pegue (industria del calzado y ensamble en general); las poliamidas son muy costosas para ser utilizadas en empaques. A diferencia de los otros Hot Melt los basados en poliamidas no son mezclas de varios componentes, son el producto de la polimerización de diaminas con diácidos; sus propiedades finales dependen del peso molecular, de la linealidad de la cadena y de la polaridad de la molécula.
- **RESINAS.** Son compuestos de bajo peso molecular, responsables de impartir al Hot Melt la adhesión específica, el *tack*, mejorar la humectabilidad, color, olor y estabilidad térmica. Se usan entre 30 - 60% en los Hot Melt tipo EVA y en los sensitivos a la presión basados en elastómeros. Para seleccionar una resina se debe tener presente la compatibilidad con los polímeros, la adhesión específica, la estabilidad térmica, el color, el olor y el costo.

Las resinas se pueden clasificar de acuerdo a su naturaleza química en:

Derivadas del rosin. Son resinas termoplásticas ácidas obtenidas de los árboles de pino; se subdividen según el método de obtención en: Gum Rosin (derivadas de la goma del pino exudada por ranuras en el árbol), Wood rosin (obtenidas de troncos viejos de pino que son pelados, astillados para extraer la resina por solventes) y Tall oil (después de que la pulpa del papel es removida, el líquido remanente es concentrado, se deja precipitar y se acidifica para obtener la resina); estas resinas derivadas del rosin se pueden estabilizar mediante procesos de hidrogenación del doble enlace conjugado o por esterificación de los ácidos adiabáticos que poseen.

Hidrocarbonadas. Alifáticas de 5 carbonos (se refieren al número de átomos de carbono promedio presente en el monómero de partida) y aromáticas de 9 carbonos. Las hidrocarbonadas alifáticas tienen excelente compatibilidad con polietilenos, APO y con copolímeros en bloque, pero son poco compatibles con los polímeros EVA, por lo que se han preparado mezclas con resinas hidrocarbonadas aromáticas (C5/C9) a fin de mejorar la compatibilidad.

Terpénicas. Son derivadas de los monómeros alfa-pineno, beta-pineno y dipenteno, los cuales son extraídos de los árboles cítricos. Las resinas terpénicas se modifican para dar resinas terpenofenólicas y terpenoestirenadas.

Monómeros puros. Son derivadas de monómeros sintéticos puros tales como el alfa-metil-estireno y el vinil tolueno, se utilizan en formulaciones de Hot Melt transparentes; estas resinas se asocian con el dominio de estireno de los copolímeros en bloque, formando un adhesivo más rígido, disminuyendo la elongación y el *tack*.

○ **DILUYENTES.**

Aceites. Se utilizan en los adhesivos sensitivos a la presión con los copolímeros en bloque, actúan como plastificantes; Su función es reducir la viscosidad, mejorar la humectabilidad, reducen fuerza de cohesión, mejoran la flexibilidad, mejoran comportamiento a bajas temperaturas, incrementan el *tack* y son materiales de bajo costo.

Los mejores plastificantes para copolímero en bloque tienen que ser completamente insolubles en el dominio de estireno, completamente miscible con el caucho, baja volatilidad, baja viscosidad, baja densidad, resistente a la degradación y de bajo costo.

Los aceites hidrocarbonados usualmente son mezclas de parafínicos, aromáticos y nafténico. Cuando estos aceites son adicionados a los copolímeros en bloque, ocurre un fraccionamiento quedando la parte aromática concentrada en los dominios de poliestireno; si los aceites contienen

entre 2 y 3% de aromáticos pueden reducir la fuerza de cohesión. Los aceites con más bajos parámetros de solubilidad y más alto peso molecular son los menos solubles en la fase poliestirénica y tendrá los menores efectos sobre la fuerza de cohesión del adhesivo a altas temperaturas.

Ceras. Se utilizan en los adhesivos tipo EVA. Su función principal es reducir la viscosidad, influyen directamente sobre la fuerza de tensión, elongación, tiempo abierto, tiempo de fijación, resistencia al calor, punto de ablandamiento y reducen costo. Se seleccionan con base en su punto de fusión, contenido de aceite, dureza, color y compatibilidad con el polímero.

Se clasifican en:

Ceras parafínicas. Se utilizan para termosellado por su baja viscosidad y propiedades de no bloqueo, en artes gráficas y empaque más por su bajo costo que por sus propiedades. Están conformadas en un 40 - 90 % por alcanos normales de cadenas con 20 - 40 átomos formando grandes estructuras cristalinas, lo que hace que sean duras, quebradizas e impermeables a los gases y humedad; generalmente son de bajo punto de fusión, menor peso molecular, menos viscosidad y menor tiempo de fijación que las ceras microcristalinas; poseen puntos de fusión exactos y su contenido de aceite es menor de 0.5%.

Ceras microcristalinas. Se utiliza en adhesivos donde se requieran alto tiempo abierto y flexibilidad, como por ejemplo, en adhesivos de etiquetado, empaques con resistencia a las bajas temperaturas; en artes gráficas donde se requiera un balance entre flexibilidad, alta resistencia a la temperatura y alta fuerza se usan microcristalinas con alto punto de fusión.

Las ceras microcristalinas son hidrocarburos iso-parafínicos, iso-cicloalcanos ramificados y nafténicos (cadenas de 30 - 80 carbonos), pueden contener entre 0.5 y 7 % de aceite; tienen pequeños cristales que le dan una apariencia amorfa, por lo que exhiben un rango de ablandamiento y dan alta flexibilidad a los adhesivos donde son utilizadas, son menos impermeables que las parafínicas, mejoran el *tack*, mejoran la adhesión, aumentan el tiempo abierto, aumentan el tiempo de fijación y disminuyen la resistencia a altas temperaturas (dependiendo del peso molecular y el punto de fusión).

Ceras sintéticas. Se utilizan en Hot Melt para empaques donde se requiera alta velocidad de secado, bajo tiempo de fijación y alta resistencia a la temperatura del pegue. Son producidas por polimerización del etileno u otro alqueno y/o son productos del proceso de Fischer Tropsch. Estas ceras son más resistentes al calor, se diferencian por su punto de fusión, el peso molecular y la distribución del peso molecular. A medida que se incrementa el peso molecular, se incrementa la fuerza de tensión, pero llega un momento en

que son incompatibles con el polímero y la resina; una estrecha distribución de peso molecular implica que la cera presenta mayor resistencia a las altas temperaturas, pero son quebradizas a bajas temperaturas.

- **ANTIOXIDANTES.** Su función es proteger a los Hot Melt de la oxidación y posterior degradación. Para su selección se debe tener presente la volatilidad, la solubilidad en el material, la forma, el olor, el color y el costo.

2.2.1 PROPIEDADES DE LOS ADHESIVOS HOT MELT

Viscosidad. Representa la medida de la habilidad de un fluido para oponerse al flujo, indica lo fluido del producto a la temperatura de aplicación. Influye directamente en la penetración del adhesivo al substrato y en el espesor de la película. La viscosidad de los Hot Melt varía de manera inversamente proporcional a la temperatura (si aumenta la temperatura la viscosidad disminuye y viceversa).

Punto de ablandamiento. Temperatura a la cual el Hot Melt se ablanda lo suficiente para permitir el flujo bajo un pequeño esfuerzo, comúnmente está representado por el Ring and Ball (R&B) corresponde a la temperatura a la cual una bola de acero pasa a través de un disco de Hot Melt que está inmerso en un fluido, el cual está siendo calentado a una rata determinada. El punto de

ablandamiento no corresponde a la máxima temperatura que resistirá un pegue de Hot Melt, éste corresponde a la temperatura de resistencia al calor.

Tiempo abierto. Es el tiempo disponible para formar un pegue satisfactorio después que el Hot Melt haya sido aplicado sobre uno de los sustratos; depende de la temperatura de aplicación, de la cantidad de adhesivo aplicado, de la temperatura del medio y del sustrato, de la temperatura de solidificación del Hot Melt y de la conductividad térmica del sustrato. Como regla general el tiempo abierto del adhesivo tiene que ser mayor que el tiempo abierto de máquina.

El tiempo abierto puede ser incrementado mediante aumento de la temperatura de aplicación, mayor cantidad aplicada, precalentamiento del sustrato, utilizando un sistema resina/polímero más compatible y/o seleccionando una cera de bajo punto de fusión. Los Hot Melt sensitivos a la presión tienen un tiempo abierto ilimitado.

Tiempo de fijación. Es el tiempo que toma el adhesivo para desarrollar una fuerza de adherencia suficiente para mantener unidos los dos sustratos. Depende fundamentalmente de la temperatura de solidificación del Hot Melt y de qué tan rápido se desarrollan las fuerzas durante el enfriamiento (o sea de la naturaleza del Hot Melt), de la temperatura de aplicación, de la cantidad aplicada y de la conductividad térmica del sustrato. El tiempo de fijación puede ser reducido por la selección de una cera de alto punto de fusión o con un rango de fusión estrecho

(menos ramificaciones), usando un sistema resina/polímero menos compatible, seleccionando un polímero con alta fuerza de cohesión y/o disminuyendo la temperatura de aplicación y/o masa.

Resistencia al calor. Es la temperatura a la cual un pegue falla bajo una fuerza, bien sea en forma de pelado o de corte; esta temperatura siempre es menor que la temperatura de ablandamiento.

Estabilidad térmica. Es una de las características del adhesivo que le permiten en mayor o menor grado conservar sus propiedades cuando esta en estado líquido y es sometido a calentamiento por largos periodos de tiempo. Un método común consiste en determinar variaciones en su viscosidad, pegajosidad, punto de ablandamiento y color después de 96 horas de estar a 350°F. Con esta prueba se analiza también la resistencia del producto a la carbonización

Variables de aplicación

Temperatura. Los adhesivos Hot Melt se diferencian de otros adhesivos por la ausencia de agua o cualquier otro solvente en su formulación; el calor cumple con las funciones que cumplirían estos solventes, o sea que es el vehículo y promueven la humectación o penetración en las superficies a adherir, es por lo tanto esencial para desarrollar máximo potencial de los Hot Melt.

El calor debe fundir al Hot Melt, pero debe darse una distribución uniforme de forma tal que no se presenten localizaciones en el proceso y equipo, que puedan causar irregularidades en la aplicación.

Los Hot Melt se aplican en un rango de temperaturas entre 100 - 180°C. A mayor temperatura mayor es el tiempo abierto, menor es la viscosidad y mayor es la humectabilidad, siempre y cuando se mantengan constante las otras variables (es de anotar que la naturaleza de las superficies sobre la cual se aplica el Hot Melt tiene una gran influencia sobre el grado de humectación o penetración). Existen limitaciones de tipo mecánico y químico con relación al uso de altas temperaturas, excesivo calor causado por altas temperaturas iniciales o prolongados tiempos de exposición, pueden causar una degradación del Hot Melt que se manifiesta por la pérdida de propiedades o presencia de carbonizaciones que pueden causar problemas en la operación por obstrucción frecuente de filtros y boquillas. Si la temperatura es muy baja el pegue será deficiente; la mejor práctica consiste en realizar pruebas para determinar la temperatura más baja a la cual se puede tener un pegue satisfactorio y aplicar el adhesivo a esa temperatura, sin exceder los rangos recomendados por el fabricante.

Masa aplicada. La masa aplicada tiene un efecto directo sobre la fuerza de selle; incrementando el tamaño de la aplicación y el peso de recubrimiento, se obtiene mayor fuerza de pegue. Para mantener una regularidad durante la aplicación, la

cantidad y el patrón de la masa aplicada deben mantenerse constante; el equipo aplicador debe ser capaz de mantener esta regularidad. El patrón y la cantidad aplicada de adhesivo influyen sobre el tiempo abierto, puesto que inciden sobre la disipación del calor (más masa implica mayor tiempo abierto; mayor área implica menor tiempo abierto).

Presión mecánica. Es la que se ejerce sobre los substratos unidos durante un determinado periodo de tiempo para asegurar un pegue óptimo. Los HM presentan una penetración superficial, debido a que la viscosidad se incrementa a medida que se enfrían dificultándose su flujo; mediante la aplicación de presión mecánica se puede mejorar la penetración, sin embargo el grado de compresión sobre los dos substratos también afecta la penetración. Si la presión de unión es muy grande, la aplicación será más ancha y más delgada, lo cual puede causar un rápido enfriamiento del adhesivo, reduciendo la penetración. Para obtener un mayor anclaje, como regla general cuando los substratos son porosos, debe ejercerse por un medio mecánico una mayor presión y durante un tiempo corto, (rodillo, bandas, etc.) para mejorar la penetración. Cuando los substratos no son porosos se requiere una ligera presión por un tiempo prolongado (si se hace mayor presión el adhesivo se escurre).

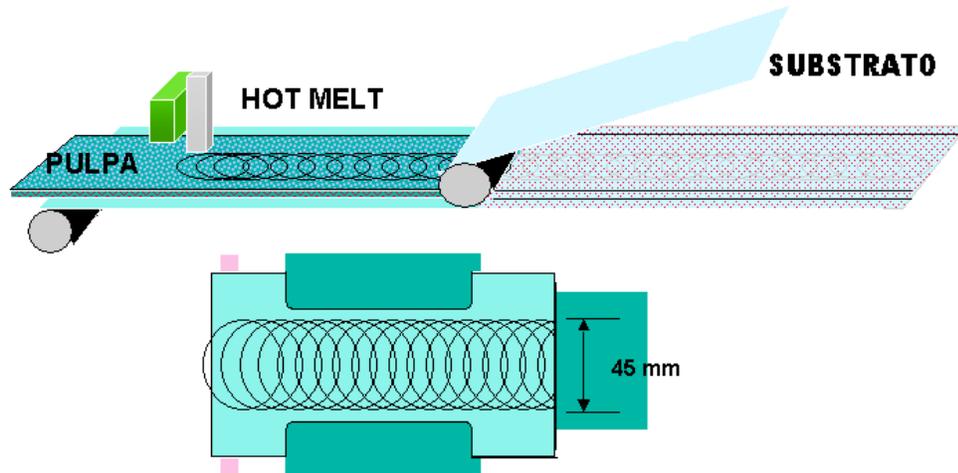
En la realización de un pegue el segundo substrato debe unirse a una temperatura suficientemente alta para que humecte, además la presión no debe suspenderse

hasta que el adhesivo haya enfriado lo suficiente (el tiempo abierto del adhesivo tiene que ser menor que el tiempo abierto de máquina más el tiempo de compresión).

Tiempo abierto de máquina. Es el tiempo que transcurre desde el momento en el cual se aplica el adhesivo fundido sobre el primer sustrajo hasta que entra en contacto con el segundo sustrato (momento en el cual se aplica la presión). El tiempo abierto de máquina depende de la velocidad de la máquina y de la distancia abierta de máquina (la distancia abierta de máquina es la distancia lineal desde el punto donde se aplica el adhesivo, hasta el punto donde se ejerce la presión). En general entre más corta es la distancia abierta y más corto es el tiempo abierto de máquina más eficiente es el sistema Hot Melt.

En la figura 1 se muestra una parte del proceso de elaboración de pañales, así como la aplicación del adhesivo sobre la superficie del sustrato, y la forma que va describiendo el adhesivo sobre la superficie.

Figura 1. Proceso de elaboración de pañales



2.2.2 VENTAJAS DE LOS ADHESIVOS HOT MELT.

- ✓ *Permiten altos niveles de productividad.* Los Hot Melt son mucho más rápidos que los adhesivos de base acuosa o base solvente, ya que la disipación de su vehículo (calor) es mucho más rápida que la evaporación del agua y cualquier otro solvente. Las altas velocidades de fijación requieren cortas secciones de compresión y permiten el rápido despacho del producto terminado, reduciendo los espacios de almacenamiento.
- ✓ *Son 100 % sólidos,* libres de solventes, permitiendo máxima eficiencia en el transporte (los adhesivos base acuosa presentan unos sólidos máximo de

60%, el resto es agua que hay que transportar a muy altos costos), y mínimos espacios para almacenaje. No se requiere remover solventes que podrían ser tóxicos e inflamables, permitiendo la conservación del medio ambiente y reduciendo los riesgos de ignición.

- ✓ *La amplia variedad de materias primas que se pueden utilizar los hace versátiles; se pueden obtener formulaciones con resistencia al frío, al calor, flexibles, tacktosas (“pegajosas”), que no permitan el bloqueo, etc., según las necesidades del usuario.*

- ✓ *Por ser termoplásticos resisten repetidos ciclos de calentamiento y enfriamiento, sin perder sus propiedades.*

- ✓ *Son resistentes a la humedad, resisten ataques de micro-organismos. Se pueden formular resistentes a las grasas y aceites. Algunas fórmulas no presentan olor y se pueden utilizar en empaques que estarán en contacto directo con alimentos.*

- ✓ *Son útiles para unir substratos difíciles (foil, laminados con poliolefinas, otros); algunos substratos no porosos sería imposible pegarlos con adhesivos base acuosa bien sea por ser hidrofóbicos o por no tener porosidades por donde el agua pueda ser absorbida o evaporada; estos substratos se pueden adherir*

con Hot Melt por la acción de la adhesión específica o por la acción del calor que realiza un tratamiento mecánico de las películas (substratos a unir) permitiendo la adhesión.

2.2.3 DESVENTAJAS DE LOS ADHESIVOS HOT MELT.

- x *Por ser termoplásticos los pegues realizados con Hot Melt se reblandecen con la temperatura* (los materiales adheridos con Hot Melt no podrán sostenerse a altas temperaturas en el almacenamiento ni en su uso).

- x *Los Hot Melt para su aplicación requieren ser calentados (100 - 180 °C), lo que implica un riesgo inminente de quemadura por el contacto con el material fundido; con una adecuada protección (guantes resistentes al calor y gafas) y un adecuado entrenamiento, se puede minimizar este riesgo.*

- x *Se sabe que los Hot Melt endurecen a medida que enfrían, algunas veces este enfriamiento es muy rápido haciendo que la penetración sea muy superficial formando pegues débiles (sobre todo en materiales poco porosos).*

- x *Se requieren equipos especializados de aplicación, lo que puede implicar una alta inversión inicial.*

2.2.4 CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DE LOS ADHESIVOS HOT MELT ELABORADOS EN H.B. FULLER

- Excelente presentación *Pillows*, esta presentación consiste en unos pequeños cojines de aproximadamente 4 cm de largo.
- Fácil manejo gracias a su presentación y a su recubrimiento (*Coextrusión*) protector que evita que se adhieran entre ellos y que impide que se adhiera suciedad del ambiente (polvo, pulpa de papel, etc.)
- Excelente estabilidad
- No se tienen que realizar labores tediosas de desempaque esto es gracias a que el producto viene empacado en bolsas especiales conocidas como ZERO PACK que están hechas con componentes similares al adhesivo, y por lo tanto el producto puede ser llevado a los equipos aplicadores sin necesidad de ser desempacado, es decir que se evitan los empaques removibles y las cajas siliconadas.
- Fabricación de acuerdo a necesidades del cliente y del mercado, se realizan estudios sobre los requerimientos de los clientes, con el fin de brindar satisfacción y confianza en nuestros productos.

Para tener una mejor idea del aspecto físico de estos adhesivos y de las características mencionadas anteriormente se muestra la figura 2. Fotografía adhesivo sólido Hot Melt sensitivo a la presión fabricado en H.B. Fuller Colombia.

Figura 2. Presentación de Adhesivo Sólido Hot Melt Sensitivo a la Presión



2.3 VISION POR COMPUTADOR

La visión por computador (conocida también como visión de máquina o visión artificial) es una alternativa electrónica para inspecciones manuales o humanas que ayuda a las compañías a incrementar su productividad y ahorrar dinero al eliminar productos defectuosos con una efectividad muy considerable, el esquema de un sistema típico de visión artificial se puede observar en la figura 3, donde se encuentran cámaras con su respectiva iluminación registrando escenas del producto en circulación en una banda transportadora y envían la información en imágenes a un sistema de procesamiento que determina si el producto pasa o

debe ser expulsado con el sistema eyector. Lo que se pretende es imitar la visión humana, pero con muchas ventajas, como por ejemplo, eliminar el cansancio visual y mental introducido por la labor, aumentar la velocidad de inspección de productos sin llegar al agotamiento físico, eliminar los errores introducidos por factores humanos como los criterios personales para la determinación de fallas o selección de productos, así como la capacidad visual humana que varía según el individuo.

El propósito de la visión artificial es programar un computador para que "entienda" una escena capturada o las características de una imagen.

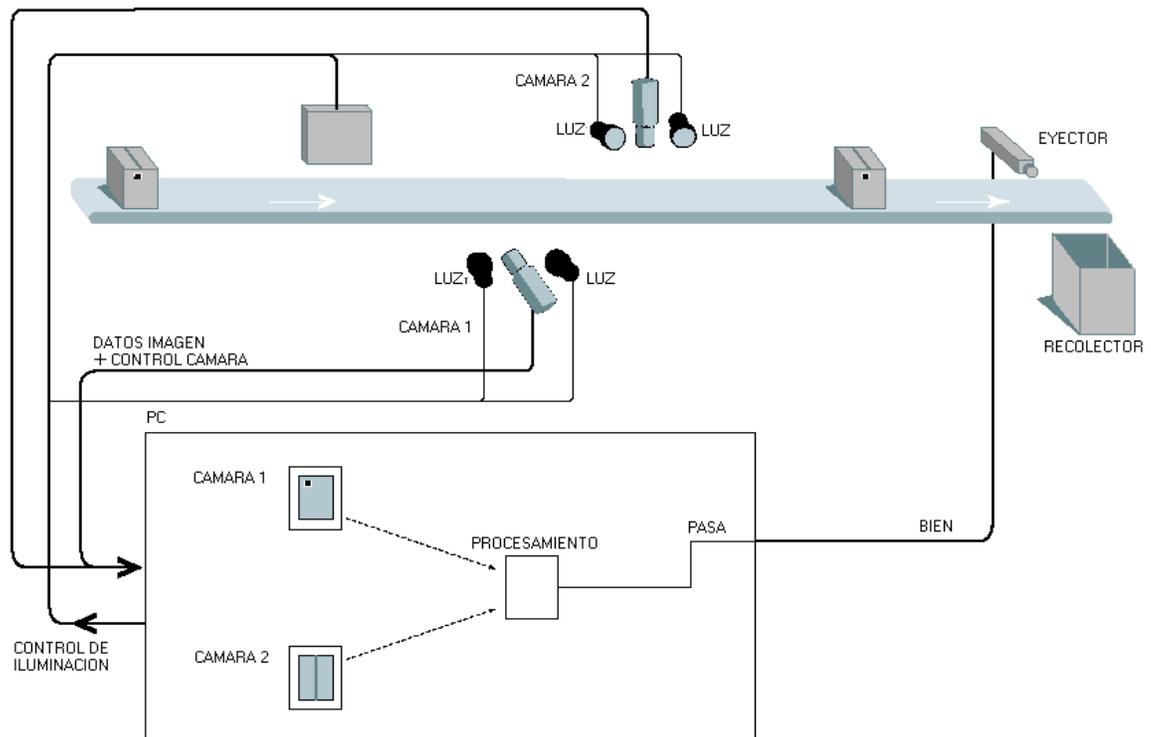
Los objetivos típicos de la visión artificial incluyen:

- La detección, segmentación, localización y reconocimiento de ciertos objetos en imágenes (impurezas en productos).
- La evaluación de los resultados (segmentación, registro).
- Registro de diferentes imágenes de una misma escena u objeto, hacer concordar un mismo objeto en diversas imágenes.
- Mapeo de una escena para generar un modelo tridimensional de la escena; tal modelo podría ser usado por un robot para navegar por la escena.

- Estimación de las posturas tridimensionales de humanos.
- Búsqueda de imágenes digitales por su contenido.

Estos objetivos se consiguen por medio de reconocimiento de patrones, aprendizaje estadístico, geometría de proyección, procesamiento de imágenes, teoría de grafos y otros campos.

Figura 3. Sistema típico de visión por computador



2.3.1 ILUMINACION

En la técnica se refiere al conjunto de dispositivos que se instalan para producir ciertos efectos luminosos, tanto prácticos, como decorativos. Con la iluminación se pretende, en primer lugar conseguir un nivel de iluminancia, adecuado al uso que se quiere dar al espacio iluminado, nivel que dependerá de la tarea que los usuarios hayan de realizar.

La iluminación juega un papel vital en la visión artificial, pues simplifica de manera considerable el análisis y posterior interpretación de la escena captada. Es un factor que suele afectar de forma considerable la complejidad de los algoritmos de visión; por otro lado, siempre será más rápido solucionar un problema cambiando la iluminación que cambiando el algoritmo. Por ello, en muchos casos, más que confiar en los algoritmos para obtener un buen resultado, hay que dedicar tiempo y esfuerzo a mejorar las condiciones luminosas.

La iluminación se puede considerar la parte más crítica dentro de un sistema de visión. Las cámaras, de momento, son mucho menos sensibles y versátiles que la visión humana y las condiciones de iluminación deben optimizarse al máximo para que una cámara pueda capturar una imagen que el ojo humano podría distinguir sin necesidad de una iluminación tan especializada. Esto se hace mucho más

evidente cuando el objeto a iluminar presenta formas complejas o superficies muy reflectantes.

Las cámaras capturan la luz reflejada de los objetos. El propósito de la iluminación utilizada en las aplicaciones de visión es controlar la forma en que la cámara va a ver el objeto. La luz se refleja de forma distinta si se ilumina una bola de acero, que si se ilumina una hoja de papel blanco y el sistema de iluminación por tanto debe ajustarse al objeto a iluminar.

Si se utiliza una iluminación adecuada, la aplicación se resolverá más fácilmente, mientras que si la misma aplicación recibe una iluminación incorrecta puede que sea imposible de resolver. Si para resolver una aplicación es necesario utilizar muchos filtros de software, significa que la iluminación que se está aplicando no es lo suficientemente correcta. Una iluminación adecuada permitirá emplear menos filtros en la imagen y por tanto aumentar la velocidad de proceso en esa aplicación.

La iluminación existente en el entorno no suele ser aceptable ya que se obtienen imágenes con bajo contraste (poco o demasiado iluminadas), sombras no deseadas, puede ser modificada inadvertidamente por operarios, etc. Por ello es necesario diseñar un sistema de iluminación propio e independiente donde además se tenga en cuenta el tipo de superficie del producto. Los sistemas de

iluminación para aplicaciones industriales pueden emitir luz de forma continua o de forma pulsada (estroboscópica).

2.3.1.1 ILUMINADORES

ILUMINACIÓN FLUORESCENTE

Los tubos fluorescentes se usan en muchas ocasiones en aplicaciones de visión artificial, aunque debido a su limitada variedad de formas, también es limitada su utilización.

Para las aplicaciones industriales es importante que los fluorescentes funcionen a alta frecuencia, al menos a 25kHz. En aplicaciones de visión no pueden utilizarse fluorescentes estándar debido a su efecto de parpadeo, que dependiendo de la velocidad a la que la cámara funcione, puede verse reflejado en la intensidad de la imagen capturada.

Los tubos fluorescentes estándar no presentan un balance de color uniforme, incorporando longitudes de onda mayoritariamente azules. Para aplicaciones de visión artificial es necesario utilizar fluorescentes con espectro conocido. Para aplicaciones donde se requiere una gran intensidad de iluminación y una larga longitud, se utilizan fluorescentes de apertura, en estos fluorescentes la luz se

emite solo en una dirección y con un ángulo muy estrecho, esto permite que la intensidad lumínica pueda ser hasta 10 veces superior a la de un fluorescente estándar.

Las fuentes de alimentación que proporcionan electricidad a los fluorescentes pueden venir equipadas con fotodiodos, que permiten controlar y regular automáticamente la estabilidad de la luz en todo momento, de forma que cuando la intensidad de la luz del fluorescente disminuye la fuente hace que aumente la potencia hasta devolver la intensidad anterior. La vida media de los tubos fluorescentes es algo superior a las 20000 horas.

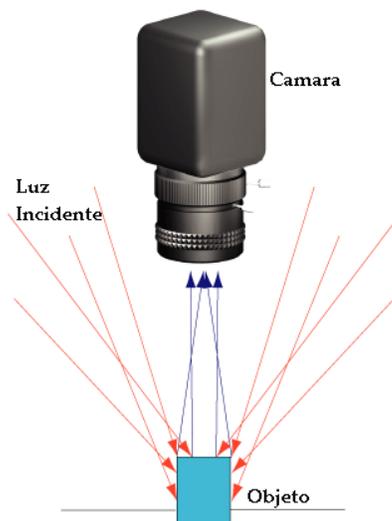
2.3.1.2 ESQUEMAS DE ILUMINACION

ILUMINACIÓN DIFUSA

A esta iluminación se le denomina también "Iluminación de Día Nublado" ya que no produce ningún tipo de sombra. Puede utilizarse para iluminar las superficies especulares más complejas, con este tipo de iluminación se intenta que los haces luminosos incidan desde todas las direcciones como se muestra en la figura 4. Se utiliza cuando los objetos de las imágenes que se van a capturar presentan superficies suaves y regulares, o se necesitan imágenes desde diferentes puntos de vista, por lo que no se pueden favorecer a unas zonas mas que a otras. Hay

que tener en cuenta que proporciona el mínimo contraste del objeto, debido a la ausencia de sombras. Como fuentes de luz se pueden utilizar difusores de color blanco mate, o fluorescentes circulares.

Figura 4. Iluminación Difusa



ILUMINACION A CONTRALUZ

A esta iluminación se le denomina también iluminación por contraste, esta técnica se utiliza colocando el objeto entre la iluminación y la cámara, es decir consiste en iluminar el objeto por detrás de forma que la fuente luminosa, el objeto y la cámara estén alineados como se muestra en la figura 5. De esta forma se puede reconocer la silueta del objeto por contraste y realizar mediciones muy precisas, esta técnica se adapta muy bien en aplicaciones diseñadas para la localización de

piezas, análisis dimensional y presencia de partículas en objetos translucidos. Aunque no permite reconocer los detalles superficiales de las piezas a inspeccionar. Se utiliza también en aplicaciones con materiales translucidos o transparentes para visualizar manchas, rayas, grietas, entre otras características de interés del objeto.

Figura 5. Iluminación a Contraluz



ILUMINACION ESTROBOSCÓPICA

Se conoce también como iluminación pulsada o de Encendida / Apagada, la duración del pulso para la señal estroboscópica es determinada por el periodo de exposición del producto, en este caso es la velocidad de paso del producto ante el sensor de la cámara, son ideales cuando hay que analizar objetos en movimiento o piezas en una cinta transportadora. Dan una iluminación intensa, por lo que la

iluminación ambiente influye poco, aunque presentan algunos inconvenientes como el requerimiento de una fuente de tensión especial, hay que sincronizarlos con las cámaras y su intensidad va decreciendo con el tiempo.

2.3.2 ÓPTICA

En un sistema de visión artificial es importante tener en cuenta que la función de la óptica de una cámara es la de captar los rayos luminosos y concentrarlos sobre el sensor de la cámara de video. Después de determinar el tipo de iluminación que mejor se adecua al problema, la elección de una óptica u otra influirá en la calidad de la imagen y el tamaño de los objetos, es decir que se debe tener en cuenta el tipo de lente y la distancia focal del mismo, este es el principal factor a la hora de calcular la posición y el tamaño de los objetos en la imagen.

Para saber exactamente qué óptica debe utilizarse para la aplicación que se desea resolver se deben tener en cuenta una serie de parámetros. Por una parte se debe conocer el tamaño del sensor de la cámara, también se debe saber a qué distancia estará el objeto de la cámara y por último se debe conocer el campo de visión que se desee abarcar en la aplicación.

En los sistemas de visión artificial es necesario utilizar óptica de calidad para tener la mejor imagen posible y permitir medidas con mayor precisión. Hay muchos fabricantes de óptica, que pueden producir lentes de distintas cualidades. No hay ningún fabricante que tenga un rango total de óptica para cubrir todas las necesidades que se plantean en las aplicaciones de visión. Para definir el tipo de óptica se deben seguir una serie de consideraciones:

- El tipo de iluminación utilizado
- Las especificaciones del sensor de la cámara
- El tamaño y geometría del objeto
- La distancia y el espacio disponible
- Tamaño mínimo de los defectos que se desean observar

La correcta selección de una óptica en la mayoría de ocasiones no es obvia. Ya que incluso, algunas veces, si no se selecciona correctamente, aún utilizando una óptica de excelente calidad, no se obtiene el resultado deseado.

Óptica para aplicaciones industriales y científicas

En la mayoría de aplicaciones de visión se utilizan óptica de foco fijo, no es habitual utilizar óptica zoom y menos aún óptica motorizadas, aunque en ocasiones sean de gran utilidad. En visión industrial normalmente lo habitual es que la distancia entre los objetos y la cámara siempre sea la misma y que el

tamaño de los objetos en una aplicación determinada también siempre permanezca más o menos constante.

Es importante también ajustar la calidad de la óptica al resto de los componentes de visión. Por ejemplo, si se utiliza una cámara de alta definición será necesario poner una óptica de calidad para aprovechar al máximo las características de la cámara. Del mismo modo no tiene sentido poner una lente de mucha calidad en una aplicación donde solo sea necesario distinguir entre objetos oscuros y claros.

2.3.2.1 LENTES

Las lentes son vidrios (u otras sustancias transparentes) tallados de tal manera que todos los rayos de luz que salen de un punto y llegan a la lente, son desviados por ésta debido a su curvatura. Según el tipo de curvatura de la lente, los rayos son desviados de forma distinta. En general, hay dos tipos de lentes: convergentes y divergentes. Las lentes convergentes desvían los rayos de luz hacia el eje óptico, y las divergentes desvían los rayos de luz alejándolos del eje óptico cuando el punto de donde proviene la luz está sobre el mismo eje óptico.

Para que la imagen se forme, la lente debe colocarse a una distancia fija llamada *distancia focal*, Se define la distancia focal de una lente convergente como la

distancia de la lente al punto donde convergen los rayos de luz si estos vienen paralelos (ondas planas convergen en el foco F como ondas esféricas convergentes).

Para aplicaciones de visión artificial, donde el trabajo se realiza con cámaras CCD, la selección de lentes involucra la selección del campo de visión, la distancia de trabajo y la profundidad del campo necesarios para su aplicación. A continuación se da un cálculo rápido para la distancia focal del lente, tomando en consideración el tamaño del sensor de la imagen (tamaño del CCD), la distancia entre el objeto, el lente y el área de visión.

$$\text{Tamaño del lente} = \frac{\text{Tamaño del CCD} * \text{Distancia de Trabajo}}{\text{Campo de Visión}} \quad (1)$$

donde

Tamaño del lente es la distancia focal.

Campo de Visión es el tamaño real del objeto o de la zona a ser medida.

Para cámaras CCD se debe medir el Campo de Visión y el tamaño del CCD diagonalmente.

2.3.3 CAMARAS DE VISION ARTIFICIAL

Las cámaras o sensores de imágenes son los elementos encargados de captar la información luminosa de la escena, y transmitirla al computador como una señal analógica o digital. Aunque inicialmente se utilizaron las cámaras de tubos, en la actualidad son las denominadas cámaras de estado sólido las que se utilizan en la inmensa mayoría de las aplicaciones. Estas cámaras se basan en el empleo de *dispositivos de carga acoplada*, CCD, como elementos sensores. Las CCD son circuitos integrados de silicio, que se usan como transductores de imagen. Debido a su reducido tamaño y bajo consumo de potencia se consigue disminuir drásticamente el volumen de las cámaras.

Cámaras Matriciales

Una cámara matricial produce una imagen de un área, normalmente con una relación de aspecto de 4 a 3. Esta relación viene de los tiempos de las cámaras Vidicon y de los formatos de cine y televisión. Actualmente existen muchas cámaras que ya no mantienen esta relación y que no siguen los formatos de la televisión. Los sensores de cámaras modernos son mayoritariamente CCD que utilizan material sensible a la luz para convertir los fotones en carga eléctrica. Miles de diodos sensibles se posicionan de forma muy precisa en una matriz y los registros de desplazamiento transfieren la carga de cada píxel para formar la señal de video.

En las cámaras de visión artificial se requieren una serie de características especiales que no acostumbran a tener las cámaras utilizadas en otro tipo de aplicaciones como la televisión o la vigilancia y seguridad. Este tipo de características son: Obturación, Integración, Captura Asíncrona, Sincronización, Píxel Clock.

- **Velocidad de Obturación (Shutter)**

Las imágenes de objetos en movimiento a menudo aparecen movidas, incluso utilizando cámaras progresivas. Esto es debido a que la luz se acumula en los píxels durante un determinado tiempo de exposición. Para reducir el efecto de desenfoque se debe reducir el tiempo de exposición utilizando un obturador. En las cámaras fotográficas esto se hace mecánicamente, pero en las cámaras CCD se hace de forma electrónica. A medida que se aumenta la velocidad de obturación se reduce el tiempo de exposición y los objetos aparecen más nítidos en la imagen. En muchas aplicaciones de visión artificial es necesario aumentar la velocidad de obturación, sin embargo el efecto inmediato es que el sensor es menos sensible debido a que la luz incide durante menos tiempo. Por tanto, a medida que se aumenta la velocidad de obturación se debe también aumentar la intensidad de iluminación.

- **Integración**

Es el tiempo durante el cual los píxeles están acumulando luz. Es el factor

opuesto a la obturación y se utiliza normalmente en aplicaciones donde hay muy poca iluminación para incrementar la sensibilidad de la cámara. Evidentemente, en este caso, el objeto a inspeccionar debe estar parado. El término Largo Periodo de Integración se utiliza cuando el sensor esta expuesto durante un tiempo superior al de un cuadro. El máximo tiempo de integración esta limitado por el ruido térmico del sensor, que puede mejorarse si se refrigera el sensor.

- **Captura en modo de reset Asíncrono**

Este método de capturar imágenes es muy importante en muchas aplicaciones de visión artificial donde los objetos a capturar se mueven por delante del campo de visión de la cámara y donde se debe capturar el objeto en una posición concreta de la imagen. El concepto de captura asíncrona radica en re-inicializar internamente la señal de sincronismo vertical. Para activar esta cualidad, se necesita una señal externa de control que se toma como referencia del estado de reset. De este modo, se realiza la captura siempre en el mismo instante de tiempo independientemente del estado inicial de la señal de sincronismo vertical. Es decir, no se debe esperar a que llegue el siguiente pulso de sincronismo vertical para realizar la captura. En un estándar CCIR, la frecuencia de la señal de sincronismo vertical es de 25Hz, lo que equivale a un periodo de 40ms. Si no se emplea reset asíncrono en la captura, puede existir un desfase temporal de hasta 20ms en distintas adquisiciones. Si el objeto a

capturar está en movimiento, este se desplazara a lo largo de la imagen dependiendo del instante de la captura. Este problema se soluciona con la captura en modo de reset asíncrono. La captura asíncrona permite que las imágenes sean capturadas en un momento preciso. Este concepto permite que el sincronismo vertical de la cámara sea activado en el momento preciso de modo que el objeto esté centrado en el campo de visión de la imagen. La captura asíncrona se activa a partir de un *trigger* (circuito de disparo o de activación) externo.

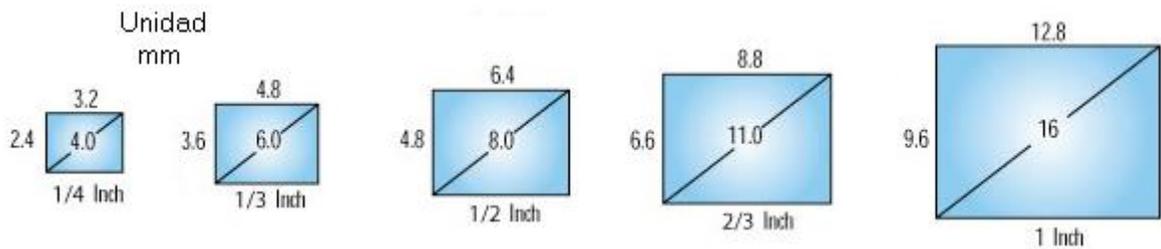
- **Sincronización y Píxel Clock**

Cuando un *frame grabber* que es la tarjeta encargada de digitalizar la imagen y realizar la comunicación entre el computador y la cámara, interrumpe una señal de video de entrada, generalmente es necesario esperar algunos cuadros para volver a sincronizar la entrada de video. Esto puede ocurrir cuando se pasa de una cámara a otra en un *frame grabber* con entradas multiplexadas. Cuando se conecta a una nueva cámara no hay unos pulsos previos que informen al *frame grabber* acerca del sincronismo de la cámara y por tanto el este necesita ser informado mediante señales de sincronismo por separado para interpretar rápidamente la señal de video que le llega. Los *frame grabber* estándar de bajo coste no son capaces de aceptar este tipo de señales por separado y por tanto es necesario utilizar unos avanzados con barrido variable.

2.3.3.1 TECNOLOGÍA DE LOS SENSORES CCD

Los tamaños de los CCD están definidos en pulgadas, sin embargo su tamaño real no tiene que ver con el tamaño que viene especificado, sino que están basados en la relación de los primeros CCD con los tubos Vidicon. Los formatos más comunes actualmente son de 1/3", 1/2", y 2/3" (figura 6).

Figura 6. Formatos de los Sensores CCD.



CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES

Tiempo de exposición

El tiempo de exposición se refiere al tiempo que el CCD localizado en la cabeza del sensor está expuesto a la luz durante la adquisición de la imagen, mientras más largo sea el tiempo de exposición, más luz entra al CCD. Tres factores determinarán el tiempo de exposición que se deben tener en cuenta y programar para una inspección.

1. La velocidad de las partes. Para partes de alta velocidad, se necesitará de un periodo corto de exposición para minimizar imágenes borrosas.
2. Tiempo de inspección (partes por minuto). En situaciones en que la frecuencia es alta, se debe tratar de reducir el tiempo de exposición.
3. La luz disponible. Ya sea que se use una luz estroboscópica de intensidad alta o se use luz de fondo, el tiempo de exposición deberá programarse adecuadamente.

Se tienen las siguientes opciones para reducir el tiempo de exposición y mantener una intensidad general de la imagen:

- Incrementar la iluminación en área de inspección.
- Incrementar la ganancia en el CCD, (hace al CCD más sensible a la luz), ganancias altas pueden producir una imagen granulosa que puede afectar inspecciones sensibles.
- Usar un lente de apertura ajustable. Muchos lentes de montaje C y CS tienen controles de apertura que es el agujero que permite la entrada de la luz a través del lente a la superficie donde se forma la imagen. Mientras más grande el agujero, más luz entrará al CCD. Al abrir la apertura se puede reducir la profundidad del campo lo que hará más difícil enfocar los objetos si su distancia al lente varía.

Al incrementar el tiempo de exposición, se hace mas lento el proceso de adquisición de la imagen y puede originar imágenes borrosas en inspecciones en movimiento.

Factor de Relleno

El factor de relleno es el porcentaje del área de píxel que es sensible a la luz. El caso ideal es 100%, cuando los píxeles activos ocupan el 100% del área del sensor. Sin embargo, circuitos como los registros de lectura y los circuitos anti-*blooming* (evitan que se presente efecto de apantallamiento en el sensor, que al recibir un exceso de luz producen más electrones de los máximos que tienen de cabida, desbordándose sobre sensores adyacentes) reducen este factor, en algunas ocasiones hasta al 30%. El efecto de esta reducción se traduce en una menor sensibilidad y en efectos de aliasing (es el efecto indeseable que causa que señales continuas distintas se tornen indistinguibles cuando se les muestrea digitalmente). Para mejorar esto, muchos sensores con bajo factor de relleno (normalmente CCD con Transferencia Inter Línea) utilizan microlentes que cubren cada uno de los píxeles incrementando la efectividad del factor de relleno.

Tipo de Transferencia

Hay varios tipos de sensores que se clasifican según la forma de transferencia de la información de los píxeles, entre las cuales figuran las siguientes:

Transferencia Inter Línea (ITL) Los CCD que incorporan esta tecnología son los más comunes y utilizan registros de desplazamiento, que se encuentran entre las líneas de píxeles y que se encargan de almacenar y transferir los datos de la imagen. La principal ventaja de este tipo de CCD es la alta velocidad de obturación, pero no son tan sensibles y precisos como otros tipos de tecnología. Tienen un bajo nivel de factor de relleno y un rango dinámico más bajo.

Transferencia de Cuadro Los CCD que emplean este tipo de transferencia tienen un área dedicada al almacenamiento de la luz que está separada del área activa y otra área para los píxeles activos que permiten un mayor factor de relleno. El inconveniente en este tipo de sensores es que la velocidad de obturación no puede ser tan rápida y que el coste de estos sensores es más alto al ser más grande su tamaño.

Cuadro Entero (Full Frame).- Son los CCD que tienen una arquitectura más simple. Emplean un registro paralelo simple para exposición de los fotones, integración de la carga y transporte de la carga. Se utiliza un obturador mecánico para controlar la exposición. El área total del CCD está disponible para recibir los fotones durante el tiempo de exposición. El factor de relleno de estos tipos de CCD es del 100%

2.3.3.2 ESTANDARES DE VÍDEO Y FORMATO ENTRELAZADO

Hay distintos estándares de transmisión de señales de video entre la cámara y otros sistemas como monitores de TV, *frame grabbers* o videos. Cada uno de estos estándares definen la frecuencia de la señal de video, el número de líneas por cuadro y el número de cuadros por segundo. Distintos comités internacionales establecieron estos estándares en los primeros tiempos de la televisión. Cualquier tipo de señal de video que se ajusta a estos principios se denomina señal de video estándar.

Los estándares más comunes en Europa son CCIR (Consultative Comité for International Radio) y PAL (Phase Alternation by Line). Y en Estados Unidos, RS-170 (EIA) y NTSC (National Televisión System Comite). CCIR y RS-170 son estándares para video monocromo y PAL y NTSC son para color.

Las frecuencias de estas señales son las siguientes:

- CCIR y PAL 625 Líneas Entrelazadas 25 cuadros por segundo (50 campos por segundo)
- RS-170 y NTSC 525 Líneas entrelazadas 30 cuadros por segundo (60 campos por segundo)

Para las señales CCIR y PAL, las imágenes son capturadas a una velocidad de 25 imágenes por segundo. La señal de video entrelazada está compuesta por dos campos horizontales, el campo impar (líneas de video horizontales impares) y el campo par (líneas de video horizontales pares). El término entrelazado se refiere a la forma en que los campos son barridos secuencialmente, primero el campo impar y después del campo par, y entrelazados posteriormente para formar la imagen. La mayoría de los monitores de televisión funcionan de esta forma, y de hecho el ojo humano no se da cuenta de que funcionan así debido a la gran velocidad de refresco.

En las aplicaciones de visión artificial, los objetos frecuentemente pasan con cierta velocidad por delante de la cámara. Cuando se utilizan cámaras entrelazadas, los objetos se han movido entre la captura del campo impar y la del campo par, el resultado es que la imagen aparece desenfocada y como si tuviera una doble exposición. Para paliar este efecto algunas cámaras entrelazadas pueden configurarse para leer solo un campo. La resolución vertical en este caso es la mitad, pero la velocidad de captura de imagen se aumenta al doble (50 en el caso de CCIR o PAL). Esta forma de funcionamiento de la cámara se denomina modo campo o modo no entrelazado, y es muy útil en muchas aplicaciones de visión. El modo campo puede proporcionar la ventaja adicional de tener el doble de sensibilidad si se utiliza la opción de binnig que se refiere a un modo especial de funcionamiento del CCD, donde se hace que el sensor lea 2 o más píxeles a la

vez y la carga acumulada para cada uno de los píxeles se suma, de esta forma se reduce la resolución, pero se incrementa la velocidad, y la relación señal / ruido.

En aplicaciones con objetos en movimiento donde se necesita toda la resolución vertical, se deben utilizar las cámaras progresivas, se trata de cámaras con señal de video no estándar.

SEÑAL DE VIDEO NO ESTÁNDAR

Las señales de video no estándares, pueden ser una combinación de: Frecuencias no estándar, Resolución no estándar o Barrido progresivo.

Frecuencia No Estándar

Las señales de video que no se ajustan a uno de los estándares descritos anteriormente no pueden ser interpretadas por *un frame grabber* convencional con circuitos de codificación para estándares. Las cámaras que tienen este tipo de señal son las cámaras de alta velocidad o alta resolución o las cámaras que se activan mediante *trigger*, o captura asíncrona.

Resoluciones No Estándar

En la actualidad están apareciendo un gran número de cámaras con mayor resolución de la estándar, es decir, con más píxeles. La señal CCIR una vez digitalizada permite obtener resoluciones de 768*576 píxeles, mientras que las

nuevas cámaras, denominadas de megapíxeles, tienen resoluciones de 1024 * 768, 1300*1030, o incluso superiores. Este tipo de cámaras se está utilizando cada vez más en aplicaciones de medidas precisas.

Barrido Progresivo

El termino barrido progresivo significa que toda la imagen, y no solo la mitad de ella, se acumula simultáneamente en un mismo instante. El resultado es una resolución vertical completa en formato de video no entrelazado. De esta forma se pueden capturar objetos en movimiento a la máxima resolución sin efecto de desenfoque.

La mayoría de los sensores que se fabrican actualmente son entrelazados (para aplicaciones de televisión y vigilancia). De forma que las cámaras progresivas tienen un precio más elevado que las entrelazadas pero son más adecuadas para las aplicaciones de visión artificial

2.3.3.3 CÁMARAS ANALÓGICAS Y DIGITALES

En el pasado todas las cámaras de video eran analógicas. La señal de video analógica se puede conectar directamente a cualquier monitor, video grabador o *frame grabber*. El sensor CCD es también analógico y las primeras generaciones

de cámaras CCD se pensaron para hacerlas compatibles con todos los sistemas analógicos existentes en el momento de su aparición. En las cámaras más modernas la salida puede ser analógica o digital dependiendo si la cámara incorpora un ADC y toda la electrónica asociada.

En el caso de las cámaras analógicas, la salida es una señal analógica de video, que puede venir acompañada o no, por otras señales de sincronización. La señal de video viene limitada por la anchura de banda y por el ruido análogo que puede proporcionar el cable. Además, pequeños errores de la señal entre la cámara y el ADC del *frame grabber* pueden causar pérdidas de fidelidad en la imagen.

Las cámaras digitales utilizan la misma tecnología CCD que las analógicas, sin embargo el ADC está dentro de la cámara, digitaliza el video directamente y proporciona una señal de salida digital que puede ser de distintos tipos. El hecho de que la señal se digitalice en la propia cámara hace que la calidad de la señal sea mejor, pero tiene el inconveniente de que los cables entre la cámara y el *frame grabber* no pueden ser muy largos y que, debido a que pasa cada una de las señales por cada cable, normalmente tienen un alto precio.

Salida de Vídeo Analógica

Una señal de video compuesto analógico contiene la información de los píxeles con todas las señales de sincronismo en un mismo cable, lo que hace que la

conexión sea simple y barata. Si la señal de video es de barrido variable, el cable es algo más complejo y debe llevar algunos hilos pero sigue siendo simple. El cable además puede tener algunas decenas de metros sin perder potencia la señal. Todas las cámaras estándar son analógicas, existen algunas cámaras de alta velocidad y de alta definición que también son analógicas.

Salida de Vídeo Digital Paralela

La salida digital paralela permite conectar la cámara con un *frame grabber* mediante un cable multi hilos. Esta salida normalmente tiene el formato RS-422 o LVDS (EIA-644). RS-422 ha venido utilizándose durante muchos años con velocidades de reloj de hasta 20MHz. Los sistemas LVDS se denominan actualmente EIA-644 y son pin a pin compatibles con el estándar RS-422. Si un *frame grabber* esta preparado para EIA-644 también puede ser conectado a una cámara con salida RS-422. Actualmente todos los *frame grabbers* son compatibles con EIA-644 con una velocidad de reloj superior a los 40MHz.

Salida de Vídeo Digital FireWire - IEEE 1394

El protocolo de comunicación digital IEEE 1394 es un bus digital que puede alcanzar 400Mbps/segundo que proporciona una interfase cámara computador flexible y de coste razonable. Algunas características de esta tecnología son:

- Puede conectar varias cámaras a una sola placa
- Varios computadores pueden capturar imágenes desde la misma cámara.

- El control de la cámara, la alimentación y las señales se transmiten a través de un mismo cable.
- Se debe utilizar placas IEEE 1394 específicas para visión artificial.
- Para aplicaciones científicas se está convirtiendo en un estándar real.

2.3.3.4 CÁMARAS DE ALTA VELOCIDAD

Hay diferentes formas de aumentar la velocidad o número de imágenes por segundo que pueden capturar las cámaras. Algunos de los métodos utilizados son: mediante *binning* vertical, doblando la velocidad de reloj, barrido parcial o tecnología de sensor multitap.

Vertical Binning

Esta tecnología reduce el número de líneas verticales, de forma que el sensor lea 2 o más píxels a la vez. La carga acumulada para cada uno de los píxels se suma, de esta forma se reduce la resolución, pero se incrementa la velocidad y la relación señal/ruido.

Doble Velocidad

Son cámaras que utilizan una velocidad de reloj doble, para transferir las cargas de los píxeles del CCD. Esta técnica puede proporcionar doble velocidad en cámaras con formato estándar.

Barrido Parcial

Es una técnica que permite utilizar un número menor de líneas consecutivas del sensor. Esta técnica permite capturar imágenes con resolución vertical $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ de la normal, y con velocidades dobles, triples o cuádruples respectivamente.

Sensor Multitap

Permite leer áreas del sensor en paralelo para incrementar la velocidad. Si un sensor funciona a 25MHz y tiene 4 salidas la velocidad final de la cámara será de 100MHz. De esta forma en una cámara con sensores de 4 taps se pueden alcanzar velocidades de hasta 1000 imágenes por segundo.

2.4 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE IMÁGENES

Desde los años sesenta, el procesamiento de imágenes digitales se ha convertido gradualmente en una de las áreas de investigación científica más importantes. Sin embargo, como cualquier algoritmo de procesamiento de imágenes requiere una

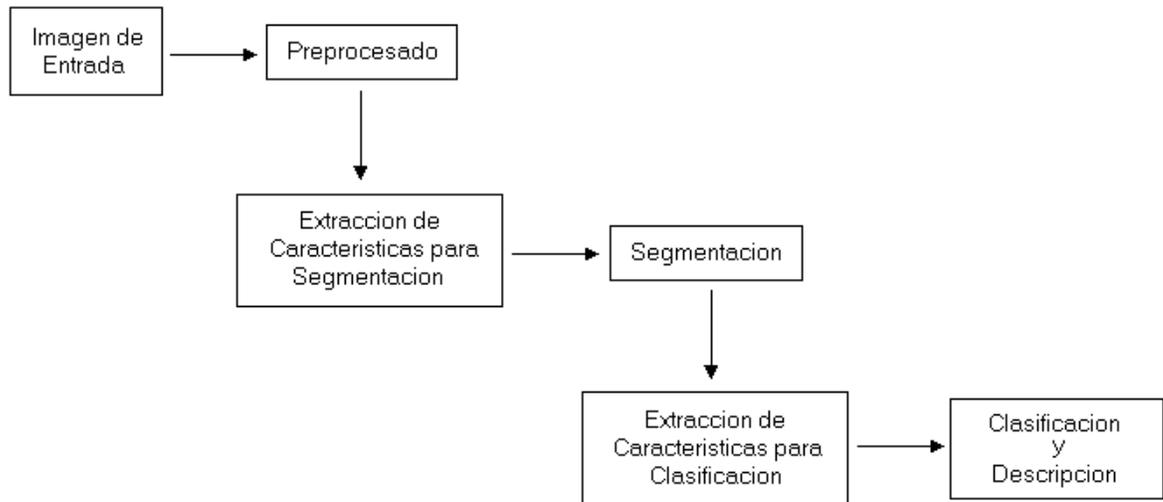
vasta capacidad de procesamiento, su desarrollo limitado ha estado en las manos de unos pocos expertos. Pero con el desarrollo rápido de los computadores, muchas personas han ido manifestando su gran interés por el procesamiento de imágenes. El desarrollo del procesamiento de imágenes está siendo acelerado aún más con el rápido avance de las tecnologías relacionadas con la computación en paralelo, la maximizada capacidad de memoria de los chips, y los sistemas de visualización en color de alta-resolución.

El procesamiento de imágenes comprende aquellos algoritmos cuya finalidad es conseguir una mejora en la apariencia de la imagen original. Esta consiste en resaltar determinadas características de la imagen o en eliminar aquello que las oculta. Por lo tanto, no se trata de mejorar la imagen de manera que quede lo más ideal posible, sino que pueda ser analizada de la forma más simple.

El procesamiento digital de imágenes se efectúa dividiendo la imagen en un arreglo rectangular de elementos, Cada elemento de la imagen así dividida se conoce con el nombre de píxel. El siguiente paso es asignar un valor numérico a la luminosidad promedio de cada píxel. Así, los valores de la luminosidad de cada píxel, con sus coordenadas que indican su posición, definen completamente la imagen. Todos estos números se almacenan en la memoria de un computador. El tercer paso es alterar los valores de la luminosidad de los píxeles mediante las operaciones o transformaciones matemáticas necesarias, a fin de hacer que

resalten los detalles de la imagen que sean convenientes. El paso final es pasar la representación de estos píxeles a un monitor de televisión de alta definición, con el fin de mostrar la imagen procesada.

Figura 7. Esquema General del Procesamiento y Análisis de Imágenes Utilizado en Sistemas de Visión Artificial



Como se muestra en la figura 7, la imagen de entrada siempre pasa por una etapa de preprocesado que en general suelen consistir en una serie de filtros de restauración, realzado, para obtener una buena óptica de la imagen que se quiere analizar, o bien una representación de algunas de sus propiedades que luego servirán para poder extraer propiedades (filtros, contraste, etc.). Posteriormente, ciertas características son extraídas para la segmentación de la imagen en cada uno de sus componentes. La imagen segmentada alimenta a un sistema de clasificación que identifica cada uno de los objetos en la imagen. Las formas que

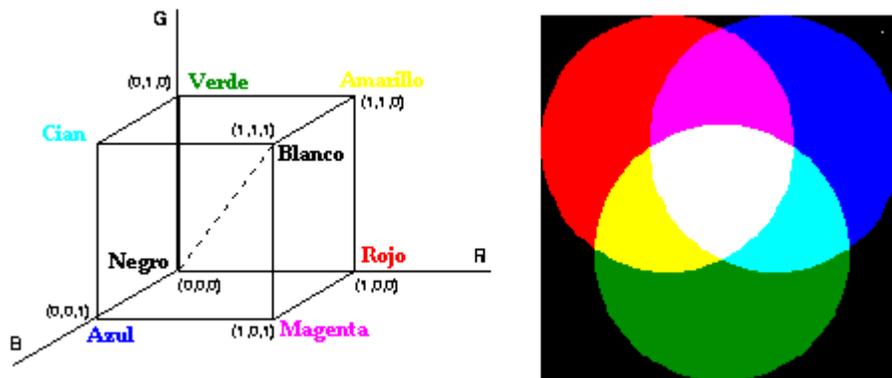
pueden tomar cada uno de los bloques de la figura 7 son muy variables, y dependen en gran medida de la naturaleza de los objetos que se quieren reconocer, y del tipo de imagen en la que se encuentran. El procesamiento de imágenes digitales, en términos generales, envuelve al reconocimiento de imágenes 2D, 3D y secuencias de imágenes, análisis, manipulación, transmisión y otras áreas relacionadas. Partes cubiertas por esta área son: transformaciones de intensidad y filtros espaciales, procesamiento en el dominio de la frecuencia, restauración de imágenes, procesamiento del color, compresión de imágenes digitales, procesamiento morfológico, segmentación, representación y descripción, reconocimiento de formas y objetos, interpretación.

Con el procesamiento de imágenes se busca realizar el tratamiento correspondiente que permita obtener una imagen adecuada para la identificación de impurezas presentes en el producto (adhesivos Hot Melt). Para optimizar esta imagen, es necesario aplicar técnicas de procesamiento digital de imágenes como extracción de planos de color, mejoramiento mediante funciones matemáticas, filtrado espacial, umbralización y morfología matemática, entre otras.

2.4.1 EXTRACCION DE PLANOS DE COLOR

Para la extracción de planos de color se analiza el contenido de los canales de la imagen RGB que es el acrónimo inglés *Red, Green, Blue* (Rojo, Verde, Azul). Es un modelo de color basado en la síntesis aditiva, en el cual es posible representar un color mediante la mezcla por adición de los tres colores luz primarios: rojo, verde y azul, el modelo está basado en un sistema de coordenadas cartesiano. El subespacio de interés es el cubo que se muestra en la figura 8. donde la diagonal principal indica los niveles de gris, desde el negro en el origen $(0, 0, 0)$ al blanco en el punto $(1,1,1)$.

Figura 8. Modelo de color RGB



Por conveniencia se supone que todos los colores han sido normalizados y escalados, es decir se supone que todos los valores de rojo, verde y azul están en el rango $\{0, 1, \dots, 255\}$. Los puntos de la diagonal pueden representarse

“visualmente” por 256 niveles de gris, escalados desde el negro (nivel de gris 0 ó (0,0,0) en RGB) al blanco (nivel de gris 255 ó (255, 255, 255) en RGB).

Las imágenes en el modelo de color RGB están formadas por tres planos de imágenes independientes, cada una de ellas asociada a cada uno de los colores primarios, por eso la idea básica en este procedimiento de extracción de planos de color es obtener de la imagen el plano más adecuado para la extracción de características, es decir el canal de color donde se encuentre concentrada la mayor cantidad de información sobre los detalles de la imagen que se pretende analizar. Esta es la primera etapa que se debe realizar para que los algoritmos de procesamiento sean mucho más veloces y no gasten tiempo buscando características en los planos de color donde no se encuentra mucha información, lo que se pretende es obtener una imagen en escala de grises, a la cual se le puedan aplicar filtros de mejoramiento y adecuación para posteriores tratamientos.

2.4.2 MANIPULACION DEL CONTRASTE

La obtención de una imagen ideal se basa en dos supuestos:

1. La iluminación es uniforme
2. La ganancia entre la luz de entrada y la imagen resultante es lineal

La linealidad quiere decir que si un píxel recibe el doble de luz que otro, su valor también será el doble. Sin embargo esto no es cierto, bien porque la ganancia no es lineal, bien porque se necesita una iluminación mínima, por ello para algunos valores de entrada la salida es cero, y a partir de un cierto valor de la iluminación, el sensor está saturado, con lo que la salida es constante.

El contraste muestra las variaciones locales del brillo. Su manipulación busca favorecer unas zonas en perjuicio de otras, y así distanciar más los píxeles con valores bajos o a la inversa. Lo que se pretende es encontrar una función que produzca una nueva imagen que cubra todo el conjunto de valores posibles y así se mejora el contraste (separación entre los niveles de gris) para poder apreciar mejor los detalles, pero esta separación es igual para todos los niveles de gris y aunque la apariencia de la imagen sea mejor, la información es la misma en ambas imágenes, lo único que se hace es asignar nuevos niveles de gris, pero los píxeles que tenían un nivel de gris determinado en la imagen distinto al nivel superior e inferior, son los mismos en la imagen nueva.

Ahora, si lo que se quiere es modificar el contraste en lugar de manipularlo, entonces se debe aplicar una función a cada uno de los píxeles de la imagen, un claro ejemplo es el grupo de funciones derivadas de la siguiente ecuación:

$$p = m^\alpha \quad (2)$$

donde:

m es el valor de gris de la imagen original

p es el nuevo valor de gris en la imagen resultante

α es la potencia a la que se eleva

Sin embargo, las transformaciones que se generan a partir de la ecuación 2 son funciones que favorecen los niveles de gris claros en perjuicio de los oscuros o viceversa, pero si lo que se quiere es modificar la relación entre los niveles de gris centrales respecto a los valores extremos se utilizan las funciones sigmoides (por tener forma de s) dos de ellas son la función senoidal (ecuación 3) y la función tangencial (ecuación 4), formulas en las aparece 255 que es el nivel de gris mas alto de la imagen, con el fin de normalizar los valores entre 0 y 255.

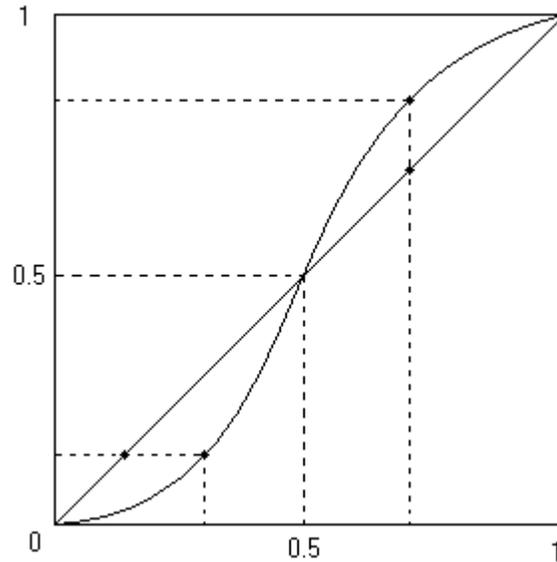
$$f(x) = \frac{255}{2} \left(1 + \frac{1}{\operatorname{sen}\left(\alpha \frac{\pi}{2}\right)} \operatorname{sen}\left(\alpha \pi \left(\frac{x}{255} - \frac{1}{2}\right)\right) \right) \quad (3)$$

donde:

x es el valor de gris de la imagen original

α está ente cero y uno según se quiera que la función sea mas pronunciada o no

Figura 9. Efecto de la Función Seno



Con la función senoidal se favorecen los valores intermedios respecto a los más claros y oscuros como se puede observar en la figura 9, pero si lo que se quiere es el efecto contrario, es decir, favorecer los valores más claros y más oscuros respecto a los intermedios, como en la función tangencial.

$$f(x) = \frac{255}{2} \left(1 + \frac{1}{\tan\left(\alpha \frac{\pi}{2}\right)} \tan\left(\alpha \pi \left(\frac{x}{255} - \frac{1}{2}\right)\right) \right) \quad (4)$$

Los métodos anteriores modifican cada nivel de gris y dependen únicamente de su valor; son por tanto métodos puntuales. Si se quiere tomar una información global

de toda la imagen, la manera más sencilla es analizar y modificar el histograma. Con ello se pretende que este se ajuste lo máximo posible a una forma predeterminada. La forma más usual es la llamada ecualización del histograma, en la que se pretende que este sea horizontal, es decir, que para todos los valores de gris se tenga el mismo número de píxeles.

2.4.3 FILTRADO

Los métodos de mejora de imagen se pueden dividir en dos campos diferentes: métodos en el dominio de la frecuencia y métodos en el dominio espacial. Los primeros se basan en modificar la transformada de Fourier de la imagen, mientras que los segundos se basan en manipulaciones directas sobre los píxeles de la imagen. A continuación se explica un poco más en detalle en que consiste cada uno de estos métodos.

2.4.3.1 FILTRADO ESPACIAL

Filtrado espacial es la operación que se aplica a las imágenes para mejorar o suprimir detalles espaciales con el fin de mejorar la interpretación visual. Ejemplos comunes incluyen aplicar filtros para mejorar los detalles de bordes en imágenes,

o para reducir o eliminar patrones de ruido. Es una operación local en el sentido que modifica el valor de cada píxel de acuerdo con los valores de los píxeles que lo rodean; se trata de transformar los niveles de gris (NG) originales de tal forma que se parezcan o se diferencien más de los correspondientes a los píxeles cercanos.

Frecuencia espacial

Una característica común a todos los tipos de datos es la llamada "frecuencia espacial", que define la magnitud de cambios de los datos por unidad de distancia en una determinada zona de la imagen. Áreas de la imagen con pequeños cambios o con transiciones graduales en los valores de los datos se denominan áreas de bajas frecuencias. Áreas de grandes cambios o rápidas transiciones se conocen como áreas de altas frecuencias. Así, los filtros espaciales se pueden dividir en tres categorías:

1. *Filtros pasa bajos:* Enfatizan las bajas frecuencias, suavizando las imágenes y suprimiendo ruidos. Se trata de asemejar el NG de cada píxel al NG de los píxeles vecinos, reduciendo la variabilidad espacial de la imagen. Ello produce un emborronamiento de los bordes, perdiéndose en nitidez visual de la imagen, pero ganando en homogeneidad.

2. *Filtros pasa altos*: Enfatizan las altas frecuencias, para mejorar o afilar las características lineales como carreteras, fallas, o límites en general. Realizan por tanto el efecto contrario a los filtros pasa-bajos, eliminando estos las bajas frecuencias.

Otra forma de obtener una imagen así filtrada es sustraer a la imagen original, la misma imagen filtrada paso-bajos. Es lógico ya que si a la imagen le restamos los componentes de baja frecuencia, quedan con las de alta frecuencia.

El filtrado espacial se realiza trasladando una matriz rectangular de dos dimensiones (también llamada ventana) que contiene "pesos" o ponderaciones sobre la imagen en cada localización de píxel. Se evalúa el píxel central de la ventana de acuerdo con los píxeles de alrededor y sus valores de ponderación. Cuando un nuevo valor es así calculado, se desplaza la ventana sobre el siguiente píxel, realizando la misma operación. Este proceso de evaluar la vecindad ponderada del píxel se denomina "convolución bidimensional", y a la matriz de filtro se le conoce como "kernel de convolución".

2.4.3.2 FILTRADO EN FRECUENCIA

En el dominio frecuencial también puede realizarse el proceso de filtrado, con mayor grado de comprensión o interpretación de lo que se está viendo, ya que en una imagen en el dominio frecuencial se sabe dónde se encuentran los distintos rangos de frecuencias. De esta forma, en vez de realizar la convolución, se efectúa su operación correspondiente en el dominio frecuencial: el producto.

Una convolución se puede realizar directamente en una imagen moviendo la matriz de convolución (imagen) para alternadamente, después centrarla en cada píxel de la imagen multiplicando los elementos correspondientes y sumando los productos.

Esto es un proceso derrochador de tiempo para imágenes grandes, y la velocidad puede ser aumentada al usar la transformada de Fourier. Una transformada es simplemente el mapeo a partir de un sistema de coordenadas a otro, la transformada de Fourier es el mecanismo matemático para moverse dentro y fuera del dominio de la frecuencia.

El hecho que una imagen se pueda convertir en una representación del dominio de la frecuencia implica que la imagen puede contener información de alta frecuencia o de baja frecuencia. Si el nivel gris de una cierta porción de la imagen

cambia lentamente a través de las columnas, entonces sería representado en el dominio de la frecuencia teniendo una frecuencia baja. Una cierta cosa que cambia rápidamente, por ejemplo un borde, tendrá componentes de alta frecuencia. Es por lo tanto posible construir los filtros que quitarán o realzarán las frecuencias en la imagen, y éstas tendrán a veces un efecto reconstituyente, de hecho, el ruido consiste principalmente en información de alta frecuencia, y así el filtrado de alta frecuencia debe tener un efecto de reducción del nivel de ruidos, desafortunadamente también tiene un efecto de la reducción del borde..

2.4.4 EXTRACCION DE CARACTERISTICAS

Una vez que la imagen ha sido procesada, se está en disposición de detectar los objetos presentes en ella. Para ello se buscan en la imagen aquellas características que definen al objeto que se desea encontrar.

Transformaciones Morfológicas

Las transformaciones morfológicas son aquellas que modifican la estructura o forma de los objetos que están presentes en la imagen. Inicialmente estas técnicas se desarrollaron para imágenes binarias (dos niveles de gris) aunque ahora es posible aplicarlas a imágenes en niveles de gris. Estas herramientas morfológicas, además de ser útiles para la extracción de características, permiten

la eliminación de ruido que se produce en todo proceso de segmentación. Algunas de las herramientas de morfología son: *erosión* que resalta mas los niveles de gris mas oscuros, *dilatación* que resalta mas los niveles de gris mas claro, *apertura* que es una combinación y *cierre* que se encarga de suavizar los contornos pero rellena figuras y pequeños agujeros, *esqueletización*, donde se representa una región u objeto por su mínima expresión geométrica, dada de acuerdo a su elemento estructurante, es útil para la representación y es una de las características que definen un objeto, y *extracción del perímetro*, que consiste en buscar un píxel perteneciente al borde del objeto e ir siguiendo la forma de este encontrando los sucesivos.

2.4.4.1 SEGMENTACION

La segmentación es una conversión entre una imagen en niveles de gris y una imagen binaria (blanco y negro). Dicha imagen binaria debe contener toda la información esencial de la imagen en niveles de grises (mismo número de objetos, misma posición y la misma forma de los objetos).

Hay varias maneras para realizar la segmentación, pero la forma más común es elegir un valor de umbral. Todos los píxeles de las imágenes en escala de grises con un valor menor se consideran negros (0), y todos aquellos cuyo nivel de gris

sea igual o superior se consideran blancos (1). El problema de la segmentación es elegir ese valor de umbral, según el nivel de gris de cada píxel, y el umbral elegido, cada píxel va a pertenecer a una de los siguientes conjuntos:

* Conjunto de píxeles negros: $\text{Imagen}(i,j) < T$

* Conjunto de píxeles blancos: $\text{Imagen}(i,j) \geq T$

Donde T es el valor de umbral elegido.

No todas las imágenes al aplicarle este método mantienen su información esencial. Esto puede ser debido a la presencia de ruido o de efectos de iluminación en la imagen original.

MÉTODOS DE SEGMENTACIÓN EN NIVELES DE GRIS

Método valor de nivel de gris medio. El valor de umbral debe determinarse de los valores de los píxeles de la imagen. En este método en valor de umbral se determina de una medida del conjunto de propiedades de la imagen. Un simple ejemplo, pero no especialmente bueno, es usar el nivel medio de gris de la imagen como valor de umbral. El efecto de esto es que casi la mitad de los píxeles serán considerado como blancos, y los demás como negros.

Método de porcentaje de píxeles negros. Una forma fácil de encontrar este valor de umbral es usar el histograma de niveles de grises de la imagen. Dado un histograma, y un porcentaje de píxeles negros deseados, se determina el número de píxeles negros multiplicando el porcentaje por el número total de píxeles. Luego se cuentan el número de píxeles de cada nivel del histograma, empezando por el nivel cero, hasta llegar al número de píxeles negros deseados. El umbral será el nivel de gris del histograma, en el que la cuenta llegue al número de píxeles negros deseados. Este método es bastante antiguo y a veces es llamado p-tile.

Método de los dos picos. Una observación práctica de estos métodos es que cuando se encuentra este valor, suele aparecer en el punto bajo entre dos picos del histograma. Si el histograma muestra dos picos, esta selección para valor de umbral puede ser la buena. El problema de seleccionar el umbral automáticamente ahora consiste en encontrar los dos picos y encontrar el punto bajo entre ellos.

Encontrar el primer pico es fácil (aquel que tenga el mayor valor). El segundo pico es más difícil de encontrar, ya que el segundo valor más grande del histograma puede ser el que está más a la derecha del mayor, en vez de ser el segundo pico. Una manera simple que suele funcionar para encontrar el segundo pico es multiplicar los valores del histograma por el cuadrado de la distancia del primer pico. Esto da preferencia a aquellos picos que no están cercanos al máximo. Así si

el pico más alto está al nivel f en el histograma, luego seleccionar el segundo pico mediante la fórmula:

$$\max\{((k - f)^2 h[k]) \mid (0 \leq k \leq 255)\}$$

donde,

h representa al histograma

k 256 niveles de gris, de 0 a 255.

f El valor del pico mas alto del histograma

La mejor manera de identificar los picos en el histograma es observar que resultan de muchas observaciones de niveles de grises que aproximadamente son el mismo excepto algunas perturbaciones (ruido). Si el ruido está normalmente distribuido, los picos del histograma pueden aproximarse por curvas gaussianas. Dichas curvas pueden ajustarse al histograma, y las dos mayores son usadas como los picos más altos, el umbral debe estar comprendido aquí. Esta proposición es más costosa y sin compromiso de un mejor resultado.

Método de histogramas de nivel de gris. Los métodos de obtención de umbral que están basados en seleccionar el punto bajo entre dos picos de un histograma usan el concepto que los píxeles correspondientes a objetos y píxeles correspondientes

al fondo tienen niveles medios diferentes, y son números aleatorios dibujados de una de dos distribuciones normales. Estas distribuciones también tienen sus propias desviaciones estándar y varianzas, donde la varianza es el cuadrado de la desviación estándar. Si hay dos grupos de píxeles en la imagen, entonces esto es una tarea simple calcular el general, o el total, la varianza de los valores de nivel grises en la imagen, denotado por σ_t^2 para cualquier valor t de umbral dado, también es posible calcular separadamente la varianza de los píxeles de objeto y de los píxeles de fondo; estos representan los valores de varianza dentro de clases, denotado por σ_w^2 . Finalmente, la variación de los valores medio para cada clase del total medio de todos los píxeles define una varianza entre-clases, que será denotada por σ_b^2 . Esto es el principio de un método estadístico llamado *análisis de varianza*. La cuestión importante es que un umbral óptimo puede ser encontrado reduciendo al mínimo la proporción de la varianza entre-clase de la varianza total:

$$\eta(t) = \frac{\sigma_b^2}{\sigma_t^2} \quad (5)$$

Esta fórmula define el radio necesitado y el valor de t que da el valor más pequeño para η , que será el mejor umbral. Como la varianza total σ_t^2 es fácil de calcular de la imagen, así como su valor medio μ_T . La varianza entre-clases es calculado por:

$$\sigma_b^2 = \omega_0 \omega_1 (\mu_0 \mu_1)^2 \quad (6)$$

donde

$$\omega_0 = \sum_{i=0}^t p_i \omega_1 = 1 - \omega_0 \quad (7)$$

Con p_i siendo la probabilidad de nivel de gris i , o el valor de i en el histograma dividido por el número total de píxeles. También:

$$\mu_0 = \frac{\mu_t}{\omega_0} \quad \mu_1 = \frac{\mu_T - \mu_t}{1 - \omega_0} \quad \mu_t = \sum_{i=0}^t i \cdot p_i \quad (8)$$

Todos estos valores son fáciles de obtener del histograma de la imagen. El valor de t que minimice $n(t)$ será el valor de umbral óptimo.

2.5 EVALUACION FINANCIERA DE PROYECTOS DE INVERSION

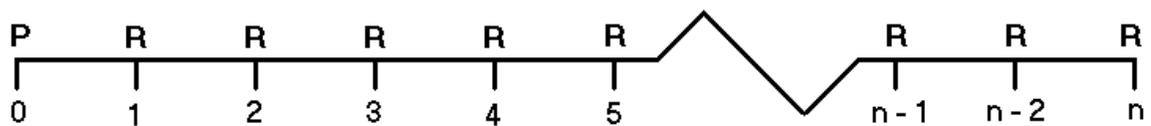
Para conocer qué tan rentable y eficiente resultaría para la compañía la adquisición de un sistema automático de detección de impurezas presentes en el producto elaborado, es necesario realizar un análisis costo / beneficio que implicaría la implementación de un equipo que realice la labor de inspección del

producto terminado mediante un sistema de visión artificial, para ello es necesario conocer algunos ítems utilizados para la elaboración del calculo y evaluación financiera del proyecto de inversión.

2.5.1 EQUIVALENCIA ENTRE UNA SUMA PRESENTE Y UNA SERIE DE SUMAS UNIFORMES

Es una serie de equivalencia fundamental que existe entre una serie de sumas (R) y una suma presente (P), las sumas de magnitud R aparecen al concluir cada uno de los n períodos y la suma P aparece en el momento cero. La figura 10, muestra en detalle las características de esta relación.

Figura 10. Equivalencia entre una serie de sumas uniformes de magnitud (R) y una suma presente (P)



Formula Básica:

$$P = R \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (9)$$

donde

i tasa de interés de oportunidad

P Suma Actual a valor presente

R Sumas Uniformes

n Número de períodos

2.5.2 EL VALOR PRESENTE NETO

El valor presente neto (VPN) de un proyecto de inversión no es otra cosa que su valor medido en dinero de hoy, o expresando esta idea de otra manera, es el equivalente en dinero actual de todos los ingresos y egresos, presentes y futuros, que constituyen el proyecto.

Se puede afirmar lo siguiente respecto al valor presente neto como índice para evaluar la bondad económica de los proyectos de inversión:

1. Su valor depende de la tasa de interés que se emplea para computarlo
2. Si i es la tasa de interés que se utiliza en el cálculo del valor presente, entonces:

$VPN(i^*) > 0$, indica que los dineros invertidos en el proyecto rinden mas del i^* .

$VPN(i^*) = 0$, señala que los dineros invertidos en el proyecto rinden exactamente el i^* .

$VPN(i^*) < 0$, muestra que los dineros invertidos en el proyecto rinden menos del i^* .

3. Si además i^* es la tasa de interés de oportunidad, entonces:

$VPN(i^*) > 0$, señala que el proyecto es conveniente.

$VPN(i^*) = 0$, indica que el proyecto es indiferente

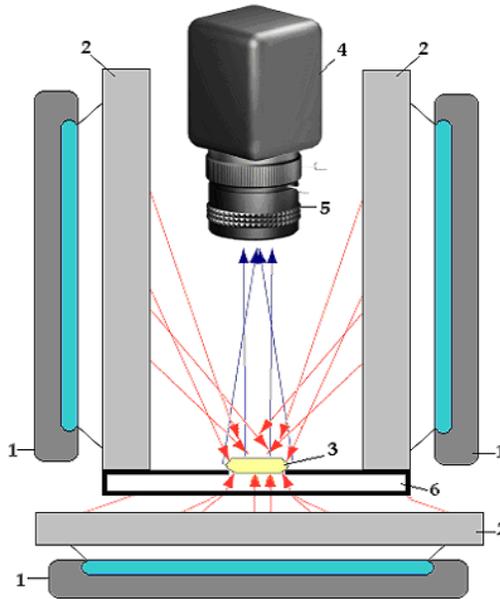
$VPN(i^*) < 0$, muestra que el proyecto no es atractivo

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 ADQUISICION DE IMÁGENES

Como una primera etapa del estudio se realiza la adquisición de imágenes de una cierta cantidad de muestras del producto a estudiar (adhesivos Hot Melt) en diferentes condiciones, es decir producto con y sin impurezas en las cuales se incluyen también diferencias en tonalidades, tamaños y tipos de impurezas. Para llevar a cabo la captura de las imágenes se implementa el montaje experimental descrito en la figura 11, el cual se realiza con la ayuda del equipo *LEICA*, que está diseñado para la ejecución de labores de visión artificial, especializado en adquisición y análisis de imágenes, este equipo cuenta con su respectiva cámara CCD con resolución VGA de 640x480 con una lente de 12 mm, acoplada al equipo de procesamiento donde se encuentra su software llamado Leica Q-Win para llevar a cabo el completo proceso, ya que este mismo equipo hace la labor de acople entre la cámara y el software, porque es un equipo integrado que tiene su propia tarjeta digitalizadora.

Figura 11. Montaje experimental



donde,

- 1 Lámparas fluorescentes
- 2 Paneles difusores
- 3 Muestra (Adhesivo)
- 4 Cámara CCD
- 5 Lente
- 6 Porta muestras

También es necesario realizar el estudio de las condiciones de iluminación sobre las respectivas muestras y el entorno, para garantizar que las imágenes sean adquiridas de la mejor manera posible, es decir evitar la presencia de sombras,

como también efectos introducidos por factores de iluminación externos y que, además, no se presenten variaciones si estas imágenes son capturadas a diferentes horas del día, todo esto se realiza con el fin de determinar cual es la iluminación más adecuada para obtener una mejor calidad en las imágenes que se adquieren, lo cual arroja un parámetro requerido para el estudio en caso de llevar a cabo la implementación del sistema. Estas pruebas se realizaron en el Laboratorio de Óptica del Grupo de Óptica y Láser de la Universidad del Cauca.

Esta etapa es realmente una de las más importantes dentro del estudio, puesto que es aquí donde se determina qué tipo de iluminación se debe utilizar, el tamaño de la imagen (resolución en píxeles) que se tendría que adquirir para detectar la presencia de impurezas, del orden de los milímetros, así como el tipo de lente que se debe utilizar, además de brindar una idea de cómo debe ser el montaje para que cuente con las condiciones necesarias que garanticen una buena calidad en la imagen a ser adquirida.

3.2 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

En esta etapa se realiza un completo análisis de las imágenes adquiridas previamente y se realiza la extracción de características por medio de la utilización de técnicas y herramientas de procesamiento digital de imágenes como son

extracción de planos de color, mejoramiento mediante la aplicación de funciones matemáticas, filtrados espaciales y segmentación por umbralización, entre otras. Como fase inicial se realiza un pre-procesamiento en el software FEPI* para tener una referencia, es decir, que aquí se puede observar que técnicas de procesamiento resultarían más convenientes para trabajar con este tipo de imágenes, y establecer unos parámetros con el fin de conocer como abordar exitosamente el problema, posteriormente se desarrolla el algoritmo que realice la tarea de articulador del sistema de visión artificial, es decir un programa que sea capaz de capturar las imágenes desde las cámaras, y realice su procesamiento para obtener la información que se requiere de la imagen, donde se pueda detectar la presencia de partículas extrañas (impurezas) presentes en el producto y por último genere una alarma indicando que se presentó una falla, el desarrollo de dicho algoritmo se realiza en Visual C++, ya que en este software se puede contar con la ayuda de librerías especializadas en el trabajo con imágenes como las MIL (*Matrox Imaging Library*), así como un trabajo en tiempo real y herramientas para la sincronización y comunicación del sistema con las cámaras y viceversa.

* Software libre especializado en Procesamiento Digital de Imágenes, desarrollado por Jacques Facon y su equipo de la Pontificia Universidad Católica de Curitiba (Brasil).

3.3 ANALISIS DEL ENTORNO

Se realiza un análisis detallado sobre las condiciones del ambiente y del entorno donde se podría implementar en el futuro el sistema de visión artificial, en este análisis cabe resaltar el estudio de condiciones a las cuales va a estar sometido el sistema óptico, como por ejemplo, la ubicación de la(s) cámara(s), velocidad y tipo de banda transportadora por donde va circulando el producto, cantidad de producto, además observar como afectarían las condiciones externas de iluminación, y también revisar algunos otros factores que serían relevantes para el desarrollo del estudio y que estén directamente relacionadas con el óptimo funcionamiento del sistema de visión artificial.

3.4 ANALISIS COSTO/BENEFICIO

Se realiza una cotización de los equipos que se tendría que adquirir para poder realizar la implementación del sistema de visión artificial, y a su vez se ejecuta el análisis de inversión que tendría que efectuar la compañía en el caso de implementar el sistema de visión artificial para la realización del control de calidad de sus productos (adhesivos Hot Melt en forma de cojín), y de esta manera establecer una relación entre el costo que representaría esta inversión respecto al

beneficio que se va a obtener con su utilización comparado a la forma como se realiza actualmente el mismo proceso.

Adicionalmente se realiza una evaluación financiera del proyecto de inversión, teniendo en cuenta el modelo económico del valor presente neto como índice para medir la bondad financiera del proyecto, y el concepto de interés para realzar la relación de equivalencia entre una suma presente y una serie de sumas uniformes, factores que determinan la evaluación del proyecto de inversión.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

Se realizó la adquisición de imágenes de 285 muestras del producto a estudiar (adhesivos Hot Melt) en diferentes condiciones, es decir, producto con y sin impurezas en las cuales se incluyen también diferencias en tonalidades, tamaños y tipos de impurezas, clasificados de la siguiente manera: :

95 muestras sin puntos “amarillas” y “blancas”

95 muestras “amarillas” con puntos

95 muestras “blancas” con puntos

Se hace referencia a puntos como partículas o impurezas presentes en el producto, que son materia de estudio, es decir que esos puntos son los que se pretende detectar por medio del procesamiento de las imágenes. Las imágenes fueron capturadas por ambos lados del producto, lo cual establece una cantidad doble de imágenes adquiridas, que se nombraron de la siguiente manera:

Muestras sin puntos = HMSPXXL1 y HMSPXXL2; $1 < XX < 95$

Muestras “amarillas” con puntos = HMAXXL1 y HMAXXL2; $1 < XX < 95$

Muestras “blancas” con puntos = HMXXL1 y HMXXL2; 1<XX<95

Donde, XX hace referencia al número de la muestra, y L al lado del producto al cual le fue tomada la fotografía, con lo cual se establece un total de 570 imágenes de trabajo. El nombre blancas y amarillas no quiere decir que ese sea estrictamente su color real, se usa para representar su tonalidad, ya que las muestras “amarillas” son más oscuras que las “blancas”.

Para la llevar a cabo la captura de las imágenes se usó el montaje experimental descrito en la figura 11, con la ayuda del equipo *LEICA* con una cámara CCD con resolución de 640x480 y con una lente de 12 mm, acoplada al equipo de procesamiento donde con su software (Leica Qwin) se pudo realizar el proceso de adquisición de las imágenes. Para la captura de estas imágenes fue necesaria la ubicación manual de las muestras sobre el porta-muestras, ordenando la captura por medio del software, posteriormente se volteaba la muestra con el fin de poder capturar la imagen por el lado posterior del producto. Las imágenes capturadas fueron imágenes a color (RGB) las cuales se almacenaron en formato de imágenes con la extensión *.bmp (mapa de bits) y posteriormente clasificadas en carpetas.

El tipo de iluminación escogida fue iluminación difusa a contraluz que consiste en iluminar el objeto por detrás, de forma que la fuente luminosa, el objeto y la

cámara estén alineados, esto debido a que el producto aunque presenta diferentes tonalidades de amarillo, es translucido, permitiendo así pasar parcialmente los rayos de luz, lo cual permite una detección más fácil de partículas extrañas, puesto que estas presentan una oposición total al paso de la luz, quedando en evidencia la presencia de una impureza en el producto. Esta fue apoyada por una iluminación axial (lateral) desde todos los costados, con el fin de eliminar la presencia de sombras en la imagen.

Toda la iluminación fue hecha en forma difusa para que los ases luminosos incidieran sobre el objeto desde todas las direcciones, esto se consiguió con unos paneles difusores diseñados en icopor, los cuales garantizan una superficie blanco mate (ubicados entre las lámparas y el objeto) como se mostró en la figura 4, para eliminar los reflejos y las sombras que se puedan producir en la superficie del producto y que pudieran ocultar las características de la muestra que requieren ser detectadas además evitando con esto, que se deslumbre la cámara con la incidencia directa de la luz. Las lámparas utilizadas fueron fuentes de luz fluorescente con tubos blancos de neón.

4.2 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

En esta etapa se realizó un análisis de las imágenes adquiridas previamente en el laboratorio, este análisis consistió en revisar muy bien todas las imágenes para comprobar que estas estuvieran con una adecuada iluminación, y conocer qué características tenían en común y en qué grupos se podían clasificar, y así poder realizar un sondeo acerca de qué tipo de herramientas serían las adecuadas para poder abordar el problema integralmente. Una vez conocidas las condiciones de las imágenes (producto e iluminación), es decir, teniendo en cuenta que el producto es traslúcido y las impurezas son oscuras, además como se logró conseguir una adecuada condición de iluminación, entonces es detectable la diferencia entre el producto que presenta las impurezas y el que no las presenta, quedando muy bien discriminado el espacio y el color que corresponde al producto (área del producto) y el que corresponde a las impurezas (área de las impurezas).

Teniendo en cuenta, además, que el producto no varía sustancialmente en su color, únicamente en su luminosidad (de claro a oscuro), entonces se determina que no es tan importante la información del color que se pudiera obtener de la imagen, es decir se necesitaba conocer qué tanta información era posible extraer de una imagen en niveles de gris de un solo plano de color en comparación a una imagen a color con los tres planos.

Debido a esto, se realizaron pruebas con las imágenes para tener una referencia acerca del camino que se debía tomar para abordar exitosamente el problema, y es aquí donde se encuentra la necesidad de realizar una extracción de planos de color, porque en las imágenes que se habían adquirido, al ser imágenes a color existía mucha información que posiblemente no iba a ser muy valiosa para el análisis, entonces fue necesario descomponer cada una de las imágenes en sus respectivos canales de color (canales RGB), Luego se realizó un análisis cualitativo para saber que canal era el que proporcionaba la mayor cantidad de información respecto al contenido de toda la imagen, es decir, en cuál se podía conseguir una mayor cantidad de detalles con los que se pudiera describir claramente la imagen original sin perder información acerca de las características.

El análisis cualitativo consiste en extraer el histograma de cada uno de los canales de la imagen como se muestra en la figura 13 (para este ejemplo se utiliza la imagen de Hot Melt 38 lado 2 que muestra en la figura 12) con la ayuda del software FEPI. y con esto observar su comportamiento para determinar cuál de todos los canales es el que contiene mayor cantidad de información, es decir conocer en qué canal la curva tiene una mejor distribución sobre el rango dinámico que permita reconocer y discriminar en qué lugar se encuentran ubicados el objeto, el fondo y la impureza.

Figura 12. Fotografía Hot Melt 38 lado 2 (HM38L2)

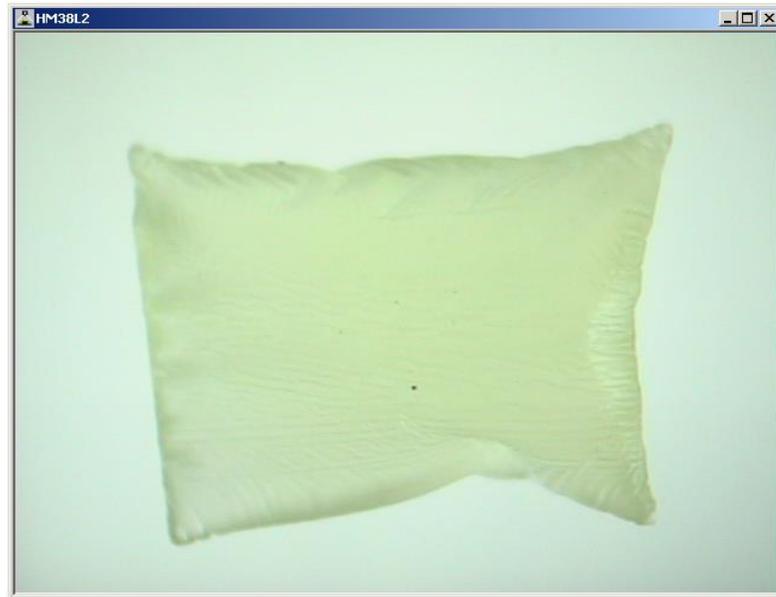
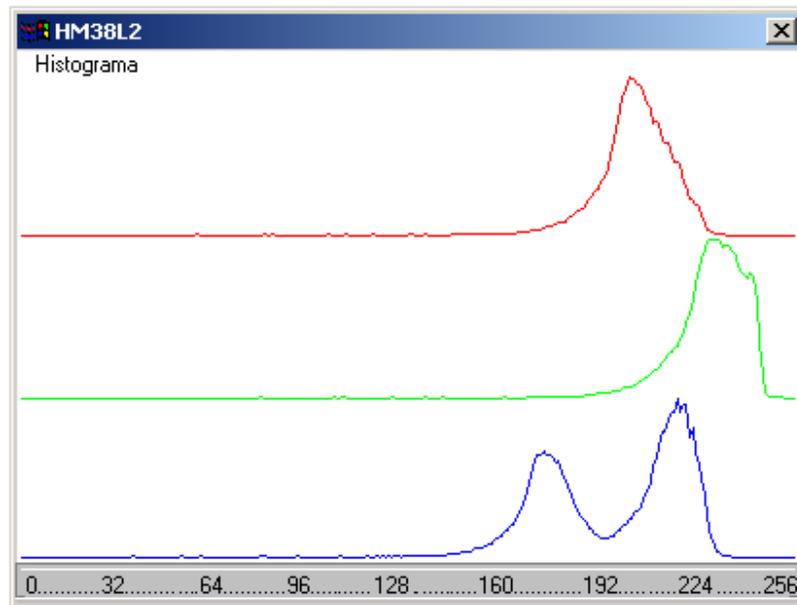


Figura 13. Histograma de los tres planos de color



Después de haber realizado este análisis, se encontró que realmente no se presenta gran variación en la cantidad de información entre los canales de color rojo y verde, únicamente se presenta un pequeño desplazamiento que en realidad no aporta mucho a la información de los detalles que se desean conocer, pero en cambio si se presenta una buena cantidad de información en el plano de color azul, teniendo en cuenta esto se tomó como canal de trabajo en niveles de gris ese canal de color (figura 14) porque contiene una cantidad mayor de información, tiene una mejor distribución de los niveles de gris en el rango dinámico donde se alcanzan a apreciar y discriminar los detalles, se alcanza a clasificar cada uno de los grupos del histograma como una característica de la imagen (fondo, objeto, impureza), a diferencia de los planos de color verde o rojo.

Figura 14. Histograma del plano Azul

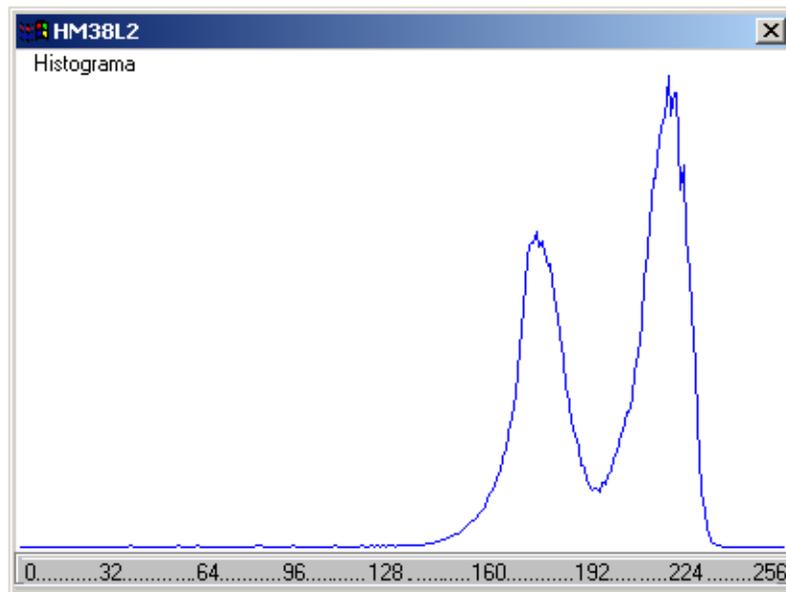
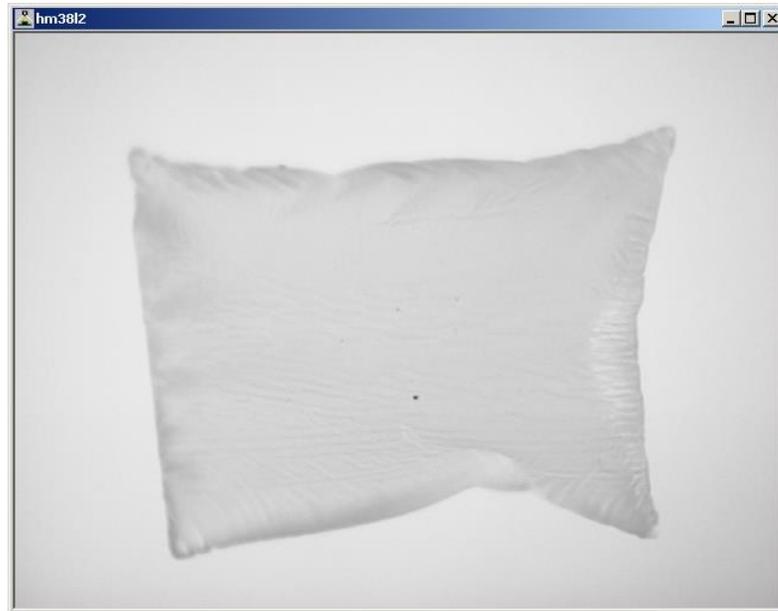


Figura 15. Plano Azul de Hot Melt 38 lado 2



Una vez establecido el plano de color con el cual se trabajaría, ya se cuenta con una imagen en 256 niveles de gris (figura 15) donde se encuentra la información que se requiere de la escena captada, ahora había que definir que era lo que se pretendía hacer sobre la imagen, es decir, normalmente lo que hace es separar el objeto del fondo, pero en este caso el problema se enfoca en detectar la presencia de impurezas en el producto, lo que significa entonces una separación no entre el objeto, que sería el producto y el fondo, sino lo que se quiere es la separación entre las impurezas y el resto de la imagen, debido al tipo de iluminación que se utilizó, las impurezas se evidencian en la imagen generando un buen contraste, por lo cual, son fácilmente detectables y por lo tanto son diferenciables entre el objeto y el fondo de la imagen.

Para ahorrarse el tiempo de operación de extracción del plano de color, lo mas adecuado es adquirir una cámara monocromática, es decir que solo trabaja con un plano de color o con promedio entre estos, y entrega una imagen directamente en 256 niveles de gris y se estaría ahorrando el tiempo y los recursos necesarios para extraer un solo plano de color de la imagen, además generalmente estas cámaras monocromáticas suelen ser un poco mas económicas.

Lo que hace falta es determinar qué tipo de segmentación se debe aplicar para realizar la correspondiente separación, para esto, con la ayuda del software FEPI se probaron varias rutinas de segmentación, entre las cuales figuran detección de bordes, métodos de umbralización global, local, multimodal, manual y multiumbralización. Aparte de esto, también se ejecutaron varias pruebas para analizar la posibilidad de cambiar un poco la imagen con el fin de resaltar más las características que se requerían de la imagen, esto se realizó mediante la aplicación de algoritmos de morfología matemática como dilatación, erosión, apertura, cierre, tophat, reconstrucción, entre otras, esperando que de esta manera se pudiera obtener una imagen a la cual al aplicarle algoritmos de segmentación fuese “más fácil” la extracción de las características deseadas.

En algunos casos (muy pocos) funcionaba este tipo de cambio en la imagen y se lograba resaltar una parte de las características requeridas, pero este cambio no era realmente significativo comparado con la cantidad de recursos necesarios para

lograr conseguirlos, es decir, que el mejoramiento que se obtenía en la imagen no era tan considerable ni tan significativo, pero en cambio había que invertir una gran cantidad de recursos computacionales para conseguir este “mejoramiento“, debido a que las operaciones relacionadas con las transformaciones morfológicas modifican la estructura o forma de los objetos que están presentes en la imagen y se basan en la teoría de conjuntos y en la topología, lo cual acarrea una cantidad de operaciones matemáticas robustas que se deben llevar a cabo para realizar una de estas transformaciones.

Además no se puede olvidar que la idea principal de este estudio es determinar la viabilidad de implementación de un sistema de visión artificial en una planta de producción, por lo tanto, el principal parámetro a tener en cuenta es la velocidad de procesamiento porque en la planta de producción el producto va circulando de una manera muy rápida y el sistema debe estar en capacidad de captar la escena del producto en circulación, y posteriormente debe procesarla, así que la velocidad de procesamiento debe ser alta, y esta depende de la robustez de los algoritmos que se usen para realizarlo, los algoritmos a su vez dependen de la cantidad de operaciones internas que se deban realizar con las imágenes, por esta razón se decidió no implementar algoritmos de morfología matemática.

Entonces se decidió utilizar únicamente técnicas de segmentación por umbralización, ya que estas no demandan una gran cantidad de recursos

computacionales, debido a que solo se recorre la imagen una sola vez y se revisa si el valor del nivel de gris de las posiciones de la imagen es mayor o menor que el valor del umbral, y de allí se obtiene una imagen binaria (segmentada), en la cual los píxeles de un color corresponden a las características de interés que se querían resaltar y los píxeles del otro color corresponden al resto de la imagen.

Ahora era necesario determinar en que valor de umbral oscilaban las muestras, es decir en que valor o nivel de gris se separara el objeto de interés (que en este caso viene a ser las impurezas o puntos negros) y el fondo (que sería el resto del producto junto con el fondo de la imagen) como se mencionó anteriormente, al realizar esta tarea se obtuvo el valor de umbral en un rango entre 135 y 146, tras la realización de un análisis estadístico aplicando el método de histograma de niveles de gris se obtuvieron los datos registrados en tabla 1.

Tabla 1. Valor de Umbral para Hot Melt “Blanco”

Valor de Umbral Promedio	139.56
Desviación Estándar (σ)	3.88
Varianza (σ^2)	15.05

De esta manera se establece que el valor de umbral óptimo es por aproximación igual a 140, ya que este valor debe ser un entero porque los niveles de gris son valores enteros que van desde 1 hasta 256.

Pero esto no es suficiente, porque lo que es bueno para una imagen, puede no serlo tanto para otra, para comprobar, se realizó la inspección de todas las imágenes aplicándoles ese valor de umbral, se observó su comportamiento, y se analizó que realmente no se afectaba de forma considerable la información de las imágenes, es decir, que a todas las imágenes de Hot Melt blanco se les podía aplicar el método de segmentación por umbralización utilizando el valor de umbral establecido sin tener pérdidas considerables en la información de las características que se deseaba extraer.

Algunas veces suele suceder que al fijar un valor de umbral global (para todas las imágenes) a algunas les afecta, de forma que se les pierde información correspondiente a las características que se querían extraer o una aparición de ruido en la imagen, otras veces se presenta una variación en el tamaño original del objeto o de sus características debido al valor del umbral.

Una vez encontrado el valor de umbral adecuado y teniendo en cuenta (debido a las pruebas), que este método sí era válido y que realmente funcionaba, entonces se procedió a desarrollar el código en visual C++ que me permitiera realizar la

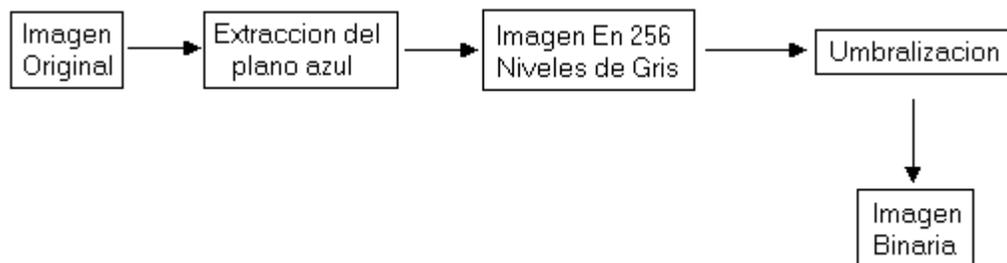
extracción de características como se había previsto, y que además estuviera en capacidad de poder integrarse con el resto del sistema, es decir que se pudiera establecer una comunicación con un periférico externo, con el fin de conectarse a la cámara e importar las imágenes de la escena que estuvieran registrando en ese momento.

Se escogió visual C++* para desarrollar el código debido a que este software presenta una serie de ventajas que facilitan las labores con imágenes y con cámaras, haciendo que esta actividad sea más sencilla y rápida, como por ejemplo el trabajo en tiempo real, además aquí se puede contar con la ayuda de librerías de Matrox (MIL – *Matrox Imaging Library*) para trabajo con imágenes que permiten ver en tiempo real las escenas y procesar las imágenes que están siendo captadas por las cámaras, así que la idea principal de este algoritmo es que además de realizar las funciones de procesamiento, también realice la tarea de articulador del sistema de visión artificial, es decir un programa que sea capaz de capturar las imágenes desde las cámaras, y realice su respectivo procesamiento con el fin de extraer la información que se requiere, de tal forma que pueda detectar la presencia de partículas extrañas (impurezas) presentes en el producto y por último genere una alarma.

* Este Software fue adquirido y licenciado por la compañía H.B. Fuller.

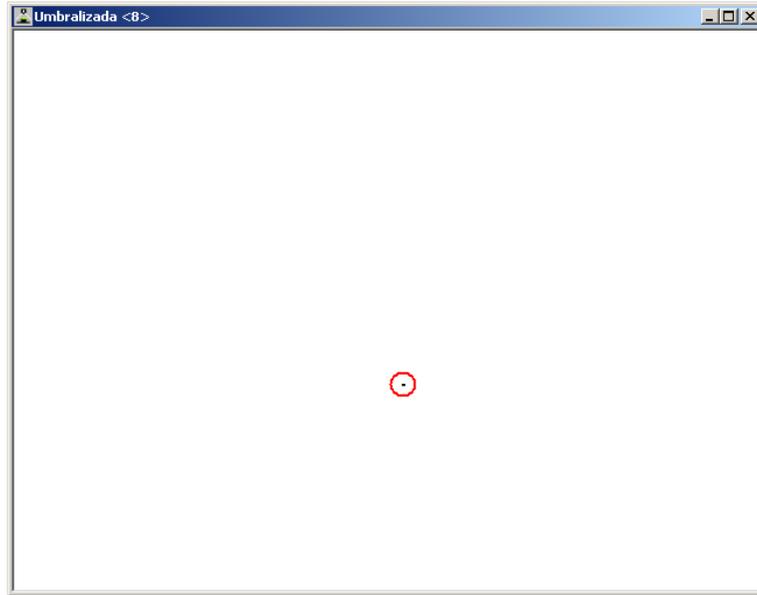
Se desarrolló el código que realiza la labor de umbralizar la imagen, y se obtiene una imagen en dos niveles de gris (este código se puede observar en el anexo C), el proceso que se siguió para llevar a cabo esta tarea se observa en la figura 16.

Figura 16. Estructura del Procesamiento



Ahora, ya se tiene una imagen en dos niveles de gris únicamente, donde los píxeles negros representan las impurezas, y los píxeles blancos representan el resto de la imagen, un ejemplo de esto se puede observar en la figura 17 con la imagen a la cual le hemos estado realizando el seguimiento (HM38L2), donde se observa únicamente el punto (impureza) de interés y el resto de la imagen no contiene información requerida para la resolución del problema.

Figura 17. Umbralización de Hot Melt 38 Lado 2



Donde se ha señalado el punto con un círculo rojo.

Hasta el momento se había logrado detectar la presencia de impurezas en las imágenes de los adhesivos Hot Melt “blancos”, ahora había que continuar con la extracción de características de las imágenes de los otros adhesivos, es decir, los que presentaban una tonalidad más oscura denominados Hot Melt “amarillos” como se muestra en la figura 18, pero al usar el mismo algoritmo con estas imágenes, se presentaron problemas, porque en estas imágenes al ser más oscuras tomaba mucha información que no era cierta (ruido) como si se tratara de impurezas como se muestra en la figura 20, es decir que al tratarse de un producto más oscuro, estas imágenes deberían ser procesadas con un tratamiento especial, y por lo tanto no funcionaría el mismo valor de umbral, esto se puede

apreciar mas claramente al observar la distribución de los niveles de gris en el histograma mostrado en la figura 29, entonces se realizó el análisis estadístico de este conjunto de muestras para determinar que valor de umbral sería conveniente usar, los datos del valor hallado se encuentra en la tabla 2.

Figura 18. Hot Melt Amarillo 10 lado 1

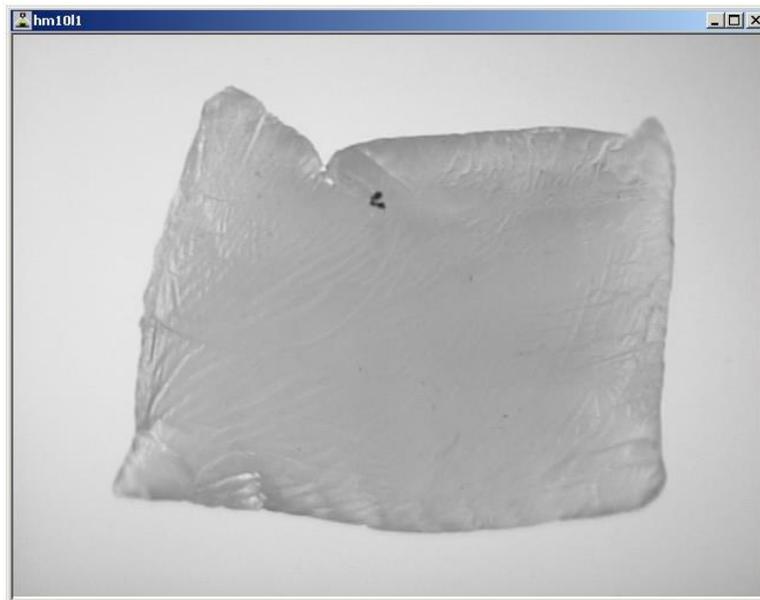


Figura 19. Histograma de Hot Melt Amarillo 10 lado 1

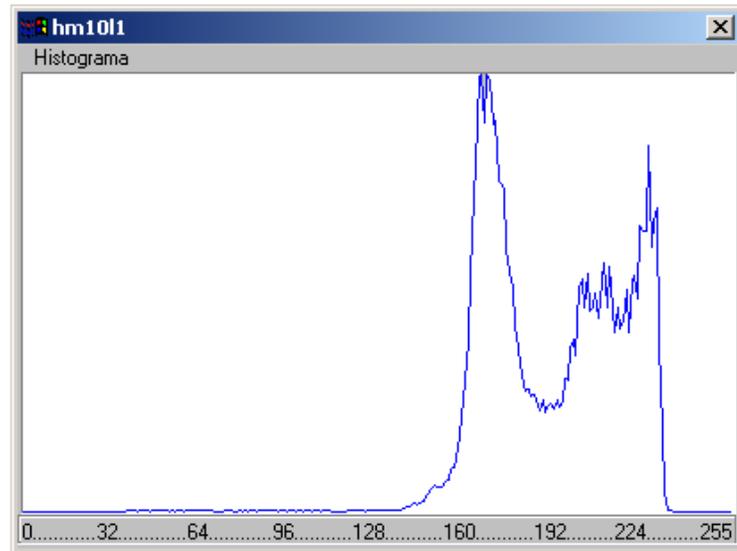
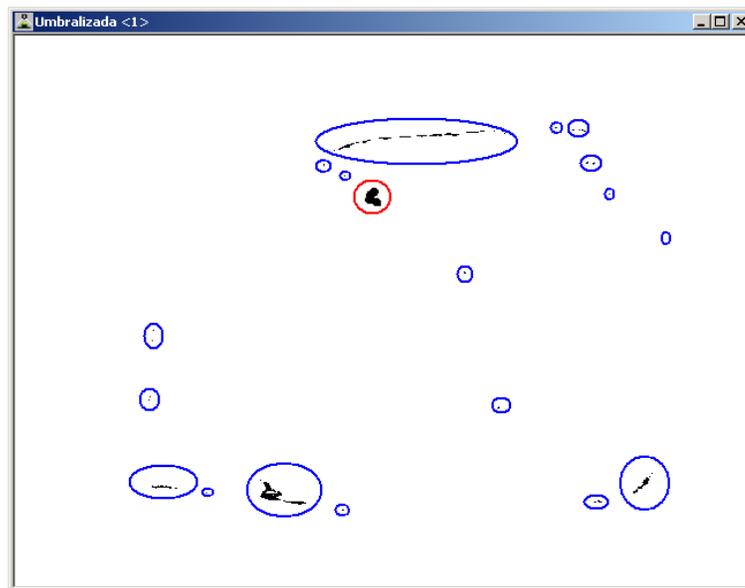


Figura 20. Umbralización de Hot Melt Amarillo 10 lado 1



Donde se ha señalado con un círculo rojo la información de la partícula de interés, y en círculos azules la información no deseada correspondiente a ruido.

No para todas las imágenes de Hot Melt “Amarillo” se encuentra un valor de umbral adecuado, porque para valores de umbral muy pequeños no registra las impurezas, y para valores muy grandes se registra información no deseada (ruido), por lo cual solo se lograron detectar únicamente 84 de las 119 imágenes de muestras que contenían impurezas esto representa un porcentaje de 65.11%, lo cual no es aceptable, además realizando el respectivo análisis estadístico para los valores de umbral se encontraron los siguientes datos (tabla 2) para las imágenes a las cuales se les lograba extraer las características por este método, donde el valor de umbral se encuentra en un rango entre 92 y 133:

Tabla 2. Valor de Umbral para Hot Melt “Amarillo” antes del mejoramiento

Valor de Umbral Promedio	121.36
Desviación Estándar (σ)	7.92
Varianza (σ^2)	62.86

Con estos valores se determina que el método de segmentación por umbralización no resulta ser adecuado para aplicarlo directamente a las imágenes de este tipo de productos.

Para mejorar la calidad de las imágenes de este tipo de productos hay dos opciones: hacerlo por hardware, que sería mejorando las condiciones de

iluminación, o hacerlo por software que sería mejorando la imagen mediante la aplicación de alguna función. Ante esto aparece una respuesta, y es que al cambiar las condiciones de iluminación, puede verse afectado el resto de productos de esa línea, es decir que la iluminación mas adecuada para un producto oscuro, no necesariamente es la mas adecuada para un producto claro, por lo que en este caso resultó más fácil encontrar una solución por software que le realice un mejoramiento a las imágenes dependiendo de la tonalidad del producto que esté siendo analizado.

Después de realizar un análisis en las imágenes y en sus respectivos histogramas, se observó que lo que realmente se requería era realizar una redistribución de los niveles de gris en el rango dinámico, y lo más adecuado era la aplicación de una función sigmoide (ecuación 3) la cual permite realizar esa redistribución requerida, específicamente mediante la función seno que actúa sobre una imagen favoreciendo los niveles de gris intermedios respecto a los más claros y oscuros, (los píxeles oscuros los vuelve mas oscuros y los claros los vuelve mas claros) como se observa en la figura 10. Al aplicar esta función no se afecta de forma considerable la velocidad de procesamiento debido a que esta función fue implementada mediante la utilización de una tabla de consulta (en inglés *Look Up Table* o LUT), que son tablas en las que su índice es el nivel de gris antiguo del píxel y su valor es el nuevo valor de gris que le corresponde (ver anexo D). Así

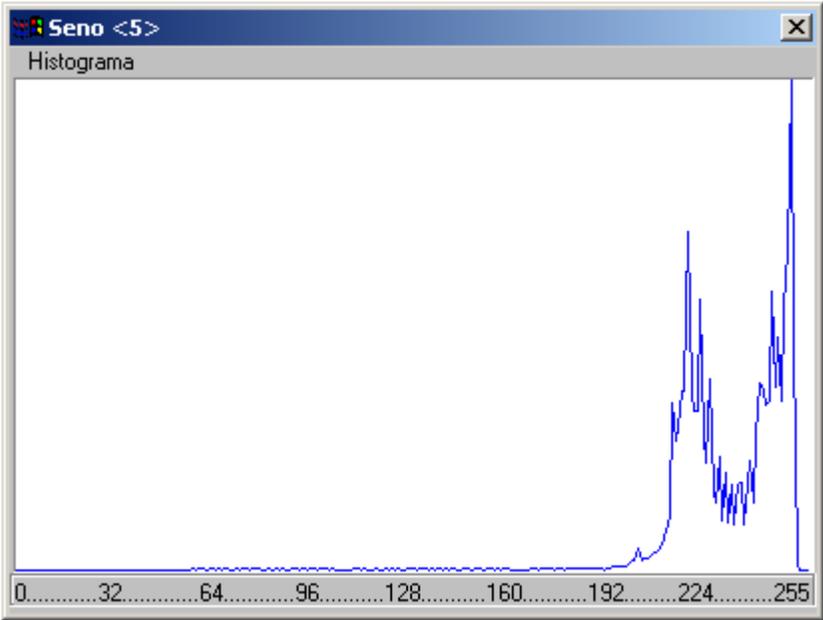
que todos los cálculos se hacen en la parte de inicialización del algoritmo para poder trabajar después en tiempo real.

El resultado que se obtuvo al aplicar la función seno sobre las imágenes de Hot Melt amarillo fue satisfactorio, porque se encontró que los niveles de gris intermedios, al ser redistribuidos, ahora habían tomado valores mayores o menores según su ubicación como se muestra en la figura 10, con lo cual se destacó la presencia de rasgos de la imagen, porque la partícula de impureza al ser oscura se volvió mucho más oscura que el resto de la imagen, que por el contrario se aclaró considerablemente como se observa en la figura 21, quedando en evidencia la presencia de impurezas que podían ser detectables o extraíbles del resto de la imagen. Posteriormente se procedió a calcular nuevamente el umbral de estas imágenes que ahora fueron llamadas Hot Melt amarillo mejoradas, el valor de umbral que se obtuvo se encuentra registrado en la tabla 3.

Figura 21. Hot Melt Amarillo 10 lado 1 (Mejorado)



Figura 22. Histograma de Hot Melt Amarillo 10 lado 1 (Mejorado)



Tras la realización del análisis estadístico aplicando el método de histograma de niveles de gris, se obtuvieron los resultados consignados en la tabla 3, donde el valor de umbral se encuentra en un rango entre 133 y 144:

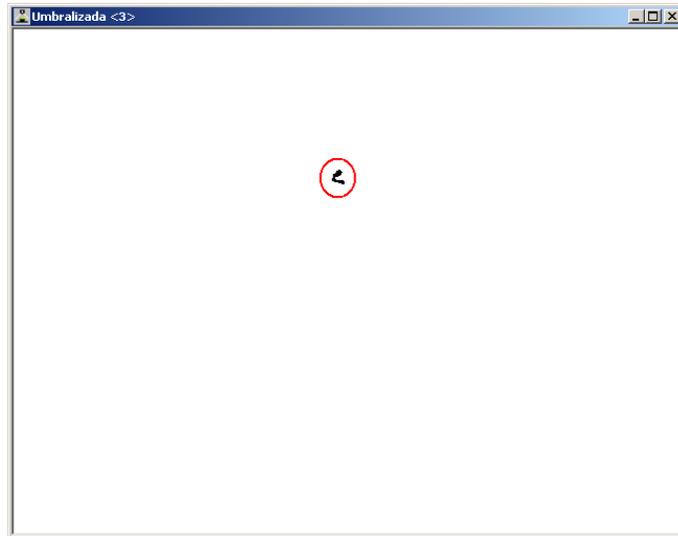
Tabla 3. Valor de Umbral para Hot Melt “Amarillo” después del mejoramiento

Valor de Umbral Promedio	140.33
Desviación Estándar (σ)	2.19
Varianza (σ^2)	4.83

De esta manera se establece que el valor de umbral por aproximación es 140, que además coincide con el mismo valor de umbral que se había establecido para las imágenes de Hot Melt blanco. Ahora, se hace la prueba con este valor de umbral para todas las imágenes con el fin de corroborar que este es el adecuado y que no haya pérdida de datos en la información requerida, y que además no se vaya a introducir información no deseada en la imagen umbralizada.

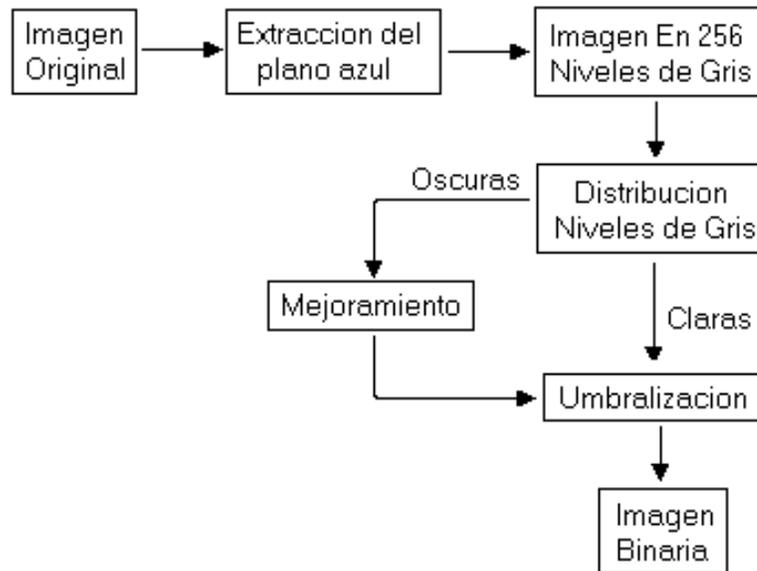
Se encuentra que efectivamente este es el valor de umbral mas adecuado porque no hay pérdida considerable de información en las imágenes mejoradas y además no se introduce información correspondiente a ruido como ejemplo se muestra en la figura 23 la umbralización de la imagen HMA10L1 con la cual se ha venido tratando el caso y desarrollando el ejemplo que se ve en la figura 20.

Figura 23. Umbralización de Hot Melt Amarillo 10 lado 1 Mejorada



Con la introducción de esta función seno como parte de mejoramiento y procesamiento de la imagen entonces cambia un poco la estructura del algoritmo de procesamiento quedando como se indica en la figura 24.

Figura 24. Nueva Estructura del Procesamiento



Una vez solucionados los problemas con las imágenes había que continuar con el desarrollo del algoritmo, la tarea ahora era contar esas impurezas (puntos) y clasificarlas, es decir había que realizar el cálculo del tamaño de los puntos, así como contar cuantos puntos tenía cada una de las imágenes y además el algoritmo debía estar en capacidad de generar una alarma ante la presencia de impurezas, y llevar un reporte donde se incluyera la hora, fecha y motivo por el cual se generó la alarma.

Para realizar la cuenta de los puntos y el tamaño de cada uno de ellos, se procedió primero a recorrer la imagen, y cuando encontrara un punto negro (un píxel negro), guardara su posición y contara cuantos píxeles negros tenía seguidos

(anexo C), y siguiera su recorrido por la imagen, y cuando encontrara otro píxel negro comparara la posición para ver si se trataba un punto anterior y se le sumaban estos píxeles, o por el contrario se trataba de un nuevo punto y se iniciaba de nuevo la cuenta de píxeles negros y se guardaba también la posición de este nuevo punto y así sucesivamente se iba contando el número de puntos y el tamaño de cada uno de ellos en píxeles.

Como el programa deber poder ser entendido por diferente tipos de personas, entonces lo que se hizo fue convertir este número de píxeles en unidades del sistema MKS, lo cual se realizo, tomando una de las muestras de las cuales se tuviera registrada su imagen y registrando sus medidas, posteriormente se realizo la medida de los píxeles que ocupaba la muestra en la imagen y a partir de ello se calculó el tamaño real de la muestra que representa cada uno de los píxeles en la imagen, con lo cual se obtuvo un resultado de 0.086 mm por cada píxel.

Teniendo en cuenta que un píxel es la mínima unidad que se puede registrar en el trabajo con imágenes, entonces esta medida nos da la resolución del sistema es decir que el sistema esta en capacidad de detectar partículas de impurezas en el orden de los mm (entre 0.086 y 0.1 mm) bajo las condiciones ópticas mencionadas anteriormente, con las cuales fueron adquiridas estas imágenes.

Teniendo en cuenta que el programa que se desarrolló estaba encaminado a una aplicación industrial, entonces además de realizar la tarea de procesamiento de las imágenes también debería estar en capacidad de generar una alarma en el momento en que una de las escenas del producto en circulación capturada por la cámara contenga una impureza, además lo que interesa en la industria es llevar un reporte de estas alarmas, para poder realizarle un seguimiento al comportamiento del producto, es decir, llevar un histórico de las alarmas generadas y su causa.

Para dar solución a este problema, ante la detección de una impureza, se genera una alarma audible pulsada, además el programa contiene un algoritmo que se encarga de guardar esta alarma en un reporte (ver anexo E), este algoritmo se encarga de extraer del registro especial presente en la memoria del computador el valor de la hora y la fecha (día /mes /año) en la cual se ha generado el evento, pero el reporte además de estos datos también debe conocer el motivo por el cual se ha generado la alarma, por esto se le añade el valor encontrado anteriormente que es el número de puntos negros (impurezas), y tamaño de estos píxeles en mm, este archivo es guardado en el disco duro.

Para poder acceder a este reporte de alarmas, el programa cuenta en su interfaz gráfica con un icono que llama a un cuadro de diálogo donde se muestran todas las alarmas (una por una en su respectivo orden de llegada), incluyendo los

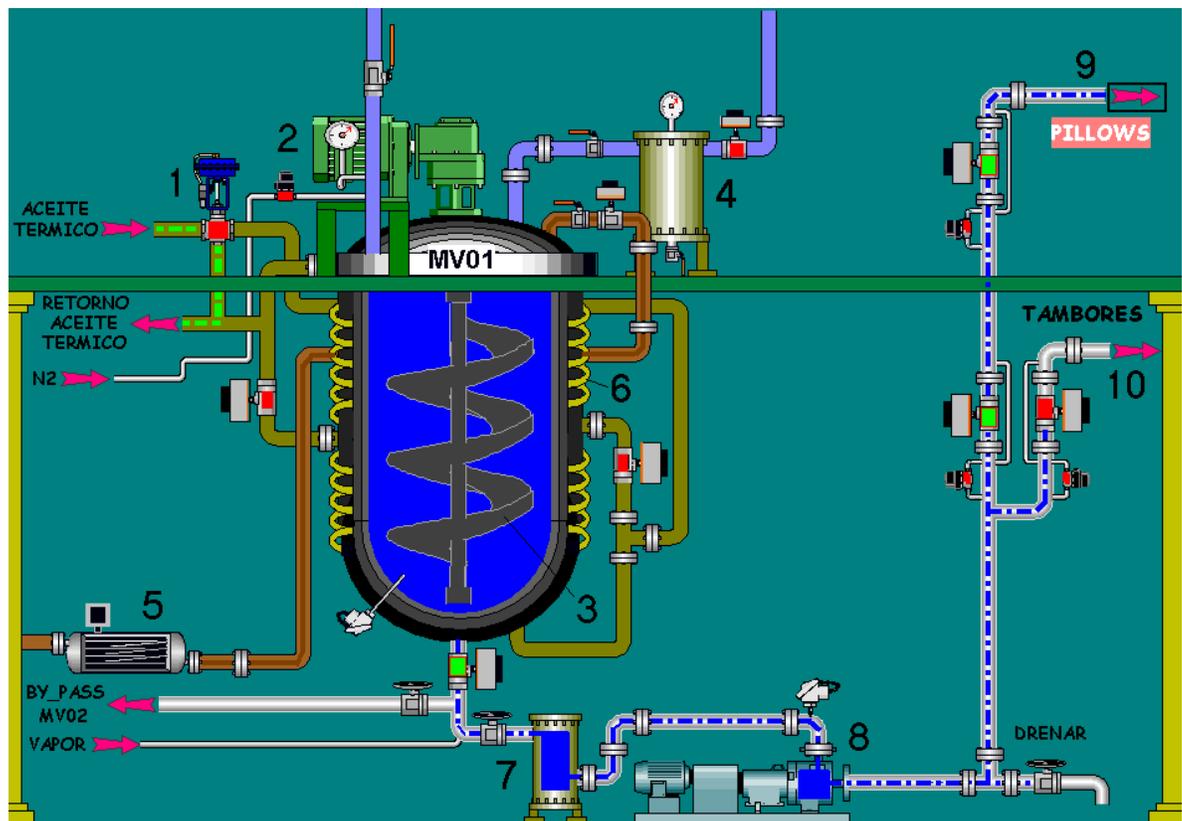
parámetros mencionados anteriormente (el código desarrollado para realizar esta implementación se encuentra en anexo F), o también el usuario dispone de estos datos en un archivo al cual se puede acceder desde Windows a la carpeta donde se encuentre ubicado, este archivo puede ser guardado como un archivo de texto o como una hoja de cálculo (Excel) para ser procesado y analizado posteriormente.

Todo lo anterior se hace en el mismo equipo, ya que se pretende utilizar únicamente un equipo, es decir, que donde se realiza el procesamiento, se cree también el histórico, y cuando se genere una alarma, el operario o el supervisor podrá revisar en este equipo la hora a la cual se generó y porque (que cantidad de puntos y de qué tamaño). También se puede por medio de un puerto (serial) enviar esta información al PLC y de allí al sistema de supervisión, pero lo que se busca es que el sistema no necesite de mas equipos para su operación, en otras palabras, sea independiente, aunque si se quisiera, se enviaría la alarma, la hora y su causa al PLC, y de allí al sistema de supervisión, donde este seria el encargado de guardar el histórico del reporte de alarmas.

4.3 ANALISIS DEL ENTORNO

Para iniciar con un análisis del entorno y establecer la posible ubicación del sistema óptico, primero es necesario conocer el proceso de producción de los adhesivos y el funcionamiento de la planta, este proceso se describe a continuación y su explicación esta basada en la descripción de la figura 25 que muestra un gráfico donde se esquematiza el funcionamiento de la planta de producción de la línea de adhesivos sensitivos a la presión (PSA).

Figura 25. Planta de Producción Línea Sensitivo



donde,

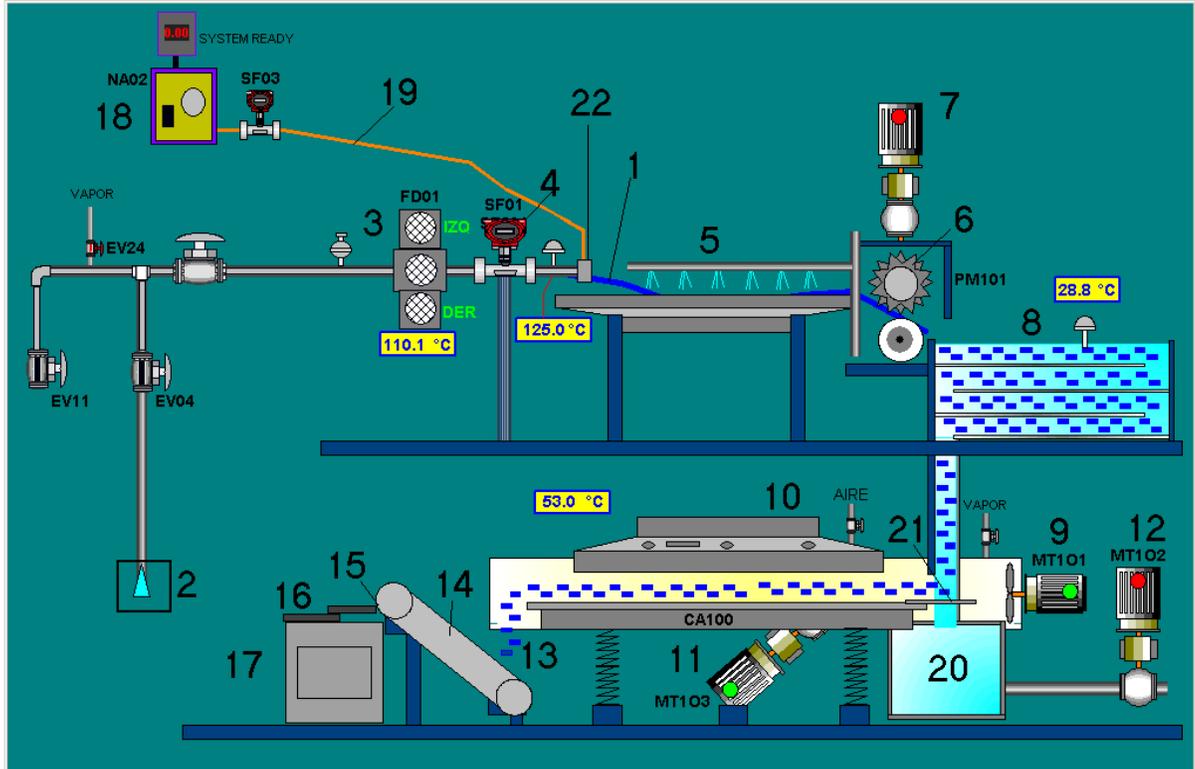
1. Válvula para el paso de aceite
2. Motor Encargado de girar el Agitador
3. Agitador
4. Filtro Trampa
5. Bomba para carga de aceite
6. Circuitos de Calentamiento
7. Filtro de tela
8. Bomba para descargar el producto
9. Tubería para descargar el producto por *Pillows*
10. Tubería para descargar el producto en tambores

Primero se calienta el equipo (mezclador vertical) con el paso del aceite térmico (1) que viene desde la caldera, posteriormente se enciende el agitador (3) y se inicia la carga de materias primas (el orden de la carga y las materias primas varia según el producto que se quiera producir), generalmente se funden los polímeros, se agrega la mitad de la resina y la mitad del aceite (5), se deja un tiempo en agitación, se completa la carga del aceite y la resina, para que la mezcla quede uniforme se deja otro tiempo en agitación, pasado cierto tiempo el producto está listo para ser descargado, en ese momento se enciende la bomba para descargar el producto (8) pero primero se hace pasar por un filtro (7) para eliminar la

presencia de partículas grandes o de materia prima que no logró ser fundida en su totalidad.

Según la forma en la que se vaya a descargar, se habilita la línea de descargue del producto, nuestro interés es la presentación del producto en *Pillows* (9), porque es en esta presentación donde la presencia de partícula extrañas genera problemas de obstrucción en las boquillas de los equipos aplicadores, porque el uso del producto en esta presentación es para aplicaciones de mayor precisión, este proceso de descarga funciona de la forma como se muestra a continuación en la figura 26.

Figura 26. Línea de descarga por *Pillows*



donde,

1. Cordón de Adhesivo
2. Entrada de Adhesivo
3. Filtro
4. Sensor de Flujo
5. Inyectores de agua
6. Cortadoras
7. Motor Encargado de la cortadora

8. Equipo de refrigeración
9. Impulsor de Vapor
10. Vibrador
11. Motor Vibrador
12. Motor para bomba de agua
13. Posible ubicación de la cámara
14. Banda transportadora
15. Posible Ubicación de la cámara
16. Bandejas Vibradoras
17. Empacadora
18. Gomero
19. Coextrusión
20. Tanque
21. Malla
22. Boquilla

La mezcla descrita anteriormente es llevada por medio de la bomba hasta el filtro (3) para retener partículas pequeñas, este filtro tiene 200 MESH (número de agujeros por pulgada lineal) en el recubrimiento exterior y 100 MESH en la parte interior. Luego pasa por el sensor de flujo (4) para controlar la velocidad de descarga y de allí pasa a una boquilla (22) donde se crea un cordón (1) de esta mezcla (adhesivo), y en este mismo punto este cordón es recubierto con otra

mezcla denominada Coextrusión (19) que ha sido fundida previamente en un gomero (18) y es la encargada de proteger el producto para que no se adhiera entre sí una vez sea cortado, de allí es trasladado por medio de un canal donde se le disminuye la temperatura con la aplicación externa de agua a presión (5) y llevado hasta unas cuchillas (6) que lo cortan en trozos de aproximadamente 4 cm de largo, lo que les da su presentación de cojines (*Pillows*), en este mismo punto al agua por donde va circulando el producto se le agrega una sustancia denominada Acrawax que es una parafina en polvo que se utiliza para evitar que el producto se pegue entre si (disminuir su *Tack*) después de ser cortado porque aun se encuentra muy caliente.

Posteriormente estos *pillows*, caen en un sistema de refrigeración por agua a una temperatura menor (8), con el fin de solidificar el producto a una velocidad determinada para lo cual permanecen un tiempo haciendo el recorrido por el sistema de refrigeración donde el producto se va moviendo lentamente por corrientes de agua atravesando unos obstáculos colocados a propósito y que determinan el tiempo que permanecerá el producto en refrigeración, luego caen sobre una malla (21) al tiempo que se le aplica vapor (9) donde el producto es separado del agua y se hace circular mediante vibración (10) por un canal con el fin de eliminar los residuos de agua que puedan haber quedado.

Por efecto de la vibración, el producto va cayendo (13) en un canal que se encarga de dirigir el producto hacia las divisiones de la banda transportadora (14) que circula con una velocidad constante de 1 m/s, y cada una de las divisiones tienen un largo de 18 cm, posteriormente el producto es subido por la banda transportadora hasta la parte de arriba donde es arrojado (15) unos 25 cm y dividido en dos partes hacia el sistema de dosificación del producto que consta de dos bandejas de vibración (16), que se usan para que el producto se vaya desplazando moderadamente y cayendo en el sistema de pesaje, cuando se complete el peso establecido, se descarga el producto hacia la empacadora (17) que lo deposita en una bolsa plástica elaborada con un polímero especial (Zero Pack) compuesta de materiales similares a los utilizados en la elaboración de los adhesivos, las cuales posteriormente son tomadas por un operario y empacadas en cajas de cartón para su distribución.

Teniendo en cuenta que se busca analizar la posibilidad de implementar un sistema de visión artificial que ejecute la labor de inspección del producto terminado como herramienta para realizar el control de calidad, entonces es necesario que este análisis de posible ubicación del sistema se haga en un punto del proceso donde se encuentre el producto terminado, por ello se ha considerado inicialmente que la posible ubicación de las cámaras sea en los puntos 13 y 15 de la figura 25 porque allí el producto ya se encuentra terminado y la labor de adecuación del entorno no sería tan dispendiosa, en cualquiera de los casos para

ubicar el sistema óptico habría que hacer algunas adecuaciones en la planta para poder acomodar los equipos, por eso se escogen tentativamente estos dos sitios, pero a continuación se hace un análisis de cada uno de estos puntos para saber cual de los dos es realmente el más adecuado.

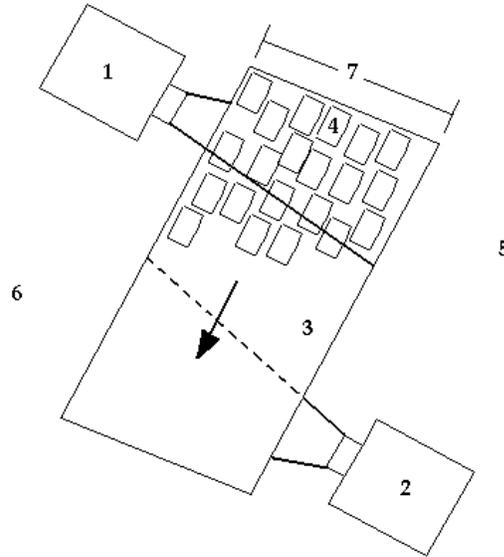
Primero se analiza el punto 13 (figura 25) en este punto el producto viene del vibrador, que además de la vibración también está acoplado a un sistema ventilación que se encarga de retirarle la mayor cantidad de agua, dejando el pillow lo más seco posible, aquí el producto cae por gravedad, porque el sistema vibrador lo hace desplazar hasta el extremo donde se encuentra una abertura para permitir que el producto vaya circulando hacia la banda transportadora, pero antes de caer a la banda transportadora se encuentra una especie de canal que se encarga de concentrar todo el producto que cae en ese espacio para que sea dirigido hacia la banda que es ligeramente más angosta, en este espacio se colocó una lámina para observar el efecto que producía la caída de los *pillows*.

En el canal el producto cae y después de caer se desliza por la misma acción de su caída y de los siguientes *pillows* que en cierta forma se encargan de empujar, en el justo momento en el que el producto golpea la superficie de la lámina desprende residuos de agua que aun están presentes así como residuos de Acrawax, este punto es favorable porque aquí resultaría muy fácil inclinar un poco más la banda transportadora, de tal forma que quede más espacio entre la salida

del vibrador y la banda, para que haya espacio para la ubicación del sistema óptico, y para que el producto tenga mayor recorrido durante su deslizamiento (ya que en esa parte de la lámina, cuando el producto se desliza ya no se encuentran concentrados los residuos porque estos se presentan mayormente en el momento del impacto producido por la caída) y así poder capturar la foto en este instante en el cual el producto va deslizando sobre una superficie inclinada que lo conduce directamente a la banda.

La condición de deslizamiento es favorable porque así el producto no va a pasar con diferentes ángulos ante la cámara, es decir que siempre estará en posición perpendicular (acostado) ante la cámara y paralelo ante la superficie de la lámina y la escena que se logre capturar con la cámara es justamente el área de interés del producto como se esquematiza en la figura 27, además la lámina por la cual se haga deslizar el producto tendría que ser una lamina transparente para poder captar los mismos objetos por su parte posterior mediante la ubicación de otra cámara con las mismas condiciones para que capturen el evento correspondiente al mismo producto por ambos lados.

Figura 27. Esquema de Montaje



1. Cámara ubicada en la parte frontal
2. Cámara ubicada en la parte posterior
3. Material transparente
4. Producto
5. Iluminación
6. Iluminación
7. Ancho de la lámina

El ancho de la lámina transparente es el mismo ancho que se espera poder capturar con una cámara de buena resolución con el fin de no perder detalle y registrar puntos que se encuentren en el orden de los milímetros, la iluminación es a contraluz para lograr el efecto que se explicó anteriormente.

Ahora se analiza la otra posible ubicación del sistema, es decir en el punto 15 (figura 25) en este punto el producto viene desde la banda transportadora y cae sobre unas bandejas vibratorias que hacen que el producto circule de forma moderada para que vaya cayendo al sistema de pesas, aquí el producto que cae desde la banda transportadora no viene en una circulación continua como ocurre con el otro punto, esto es porque la banda transportadora tiene una serie de divisiones en las cuales es llevado el producto hasta este punto, entonces aquí el producto es arrojado desde la banda en pequeños conjuntos que corresponden a la cantidad de *pillows* que quedan en cada una de las divisiones a una velocidad que es producida por la caída del producto mas la velocidad de la banda lo que hace que aquí se produzca un mayor desprendimiento de residuos principalmente de Acrawax que al ser un compuesto en polvo de color blanco se va acumulando sobre la superficie de la lámina, lo que ocasionaría que la imagen de la parte posterior no sea vista claramente, esto se denomina efecto de apantallamiento.

En este punto se colocó una lámina con las mismas características y de la misma manera que se hizo para la ubicación en el otro punto (13 figura 25) porque el entorno también se presta para hacer este tipo de adecuaciones, aquí también sería posible ubicar el sistema óptico, pero no es lo más conveniente porque se podría concentrar los residuos de Acrawax sobre la lámina y presentarse el efecto de apantallamiento sobre la cámara que iría ubicada en la parte posterior.

Por lo tanto el sistema de visión según el análisis descrito anteriormente, por conveniencia sería mas adecuado ubicarlo entre la salida del vibrador y la banda transportadora (13 figura 25) por las condiciones mencionadas anteriormente.

Ahora que se conoce donde seria más adecuado ubicar el sistema de visión, es necesario conocer la velocidad de circulación del producto, es decir cantidad de *pillows* que pasan por unidad de tiempo, inicialmente este valor es establecido por la máquina cortadora que nos da una velocidad de corte de aproximadamente 47 *pillows* por segundo (Ver anexo A), pero es posible que durante el recorrido por el sistema de refrigeración y de secado se genere un represamiento de producto y en un momento determinado empiecen a salir hacia la banda transportadora, por eso es necesario tomar el registro del número de *pillows* por unidad de tiempo que llegan a la banda transportadora, que seria el mismo número que llega a las bandejas vibratorias.

Este calculo se hace tomando una cantidad de muestras de producto y registrando el valor de peso de cada uno de los *pillows*, ademas se registra el valor de flujo al cual está siendo descargado el producto, y como el flujo es circulación de masa por unidad de tiempo, entonces para poder obtener el valor número de *pillows* por unidad de tiempo se establece la relación entre el flujo de descarga y el peso del

producto descargado a esa misma tasa de flujo, y se obtienen los datos registrados en la tabla 4 y representados mediante la figura 28.

Tabla 4. Datos de flujo contra peso

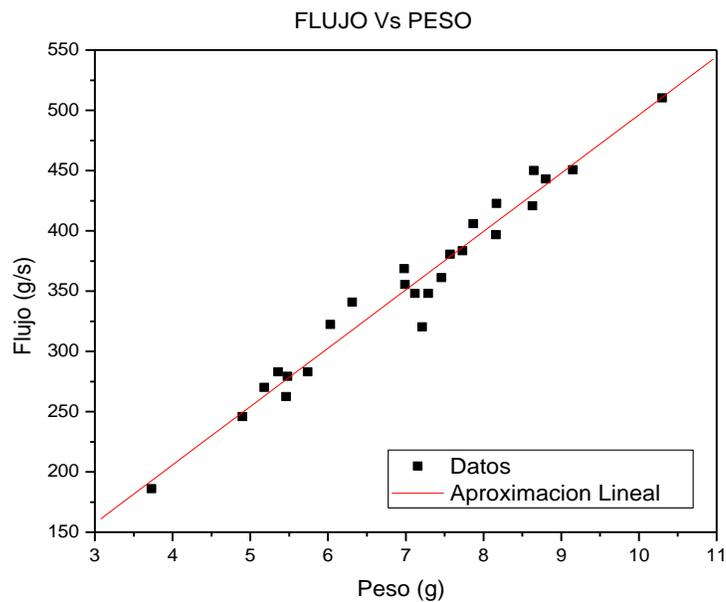
Flujo (g/s)	Peso(g)	Flujo/peso (Pillow/s)
283.06	5.36	52.81
340.83	6.31	54.02
279.16	5.48	50.94
245.83	4.90	50.17
322.22	6.03	53.44
270.00	5.18	52.12
355.56	6.99	50.86
443.06	8.80	50.35
262.50	5.46	48.08
383.33	7.73	49.59
396.67	8.16	48.61
450.56	9.15	49.24
283.06	5.74	49.31
420.83	8.63	48.76
348.06	7.29	47.75
361.11	7.46	48.41
320.28	7.21	44.43
380.56	7.57	50.27
450.00	8.65	52.02
368.61	6.98	52.81
422.78	8.17	51.75
348.06	7.12	48.88
510.28	10.3	49.54
186.11	3.73	49.89
405.83	7.87	51.57
102.50	2.06	49.76

Si realizamos una estadística de los datos consignados en la tabla 4, se obtiene la relación flujo/peso (Pillows/Segundo) es:

Promedio (*Pillows* por segundo) = 50.20

Desviación estándar = 2.03

Figura 28. Grafica de Flujo contra Peso



Realizando un análisis gráfico, la pendiente de la recta nos arroja una cifra que representa el número de *pillows* por segundo, teniendo en cuenta que en este caso se utiliza una aproximación lineal, el valor de este dato es:

Pendiente (*Pillows* por segundo) = 48.42

Desviación estándar = 1.93

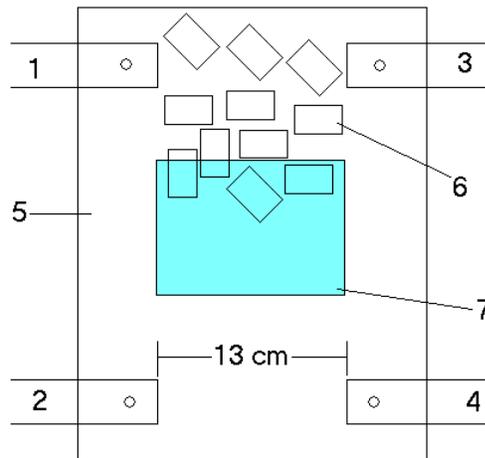
Pero como se puede observar en la gráfica, esto representa un comportamiento lineal, lo cual significa que el flujo de los *pillows* por segundo va a ser constante y aproximadamente igual a la cantidad que son cortados inicialmente por la cuchilla y que realmente aunque se quedan represados durante el recorrido por sistema de enfriamiento y secado, pasan aproximadamente la misma cantidad cuando salen del equipo secador y caen a la banda transportadora y su circulación se realiza en la misma proporción.

Luego de este análisis se establece que la tasa aproximada de circulación de producto es de 50 *pillows* por segundo, una vez establecido este valor, es necesario establecer los requerimientos de la cámara, es decir aquí es muy importante determinar cuantas imágenes y de qué tamaño (resolución) debe estar en capacidad de captar el sistema óptico en un segundo con el fin de registrar la totalidad del producto circundante.

Para realizar el cálculo de la resolución, lo primero que se debe establecer es el tamaño de partículas que se quieren detectar con el sistema, este valor ya estaba establecido anteriormente y está entre 0.086 y 0.1 mm, ahora también es necesario observar cuantos *pillows* pasan de manera simultánea sobre la lámina instalada y en que parte del área de la lámina es donde se concentra la mayor cantidad de producto para ubicar aquí el área sensible de la cámara y determinar su tamaño. Con este propósito se realizan las respectivas mediciones en las

láminas que se habían ubicado anteriormente en la línea de producción, para lo cual se registraron las medidas mostradas en la figura 29.

Figura 29. Descripción del área que debe ser capturada por el sensor



Donde,

1,2,3,4 Soportes

5 Lamina de acrílico transparente

6 Producto (*Pillows*)

7 Área donde se ubicaría el sensor de la cámara

En la figura anterior se observa un esquema de la lámina ubicada en la línea de producción en el lugar definido anteriormente (punto 13 figura 25), el lugar resaltado (7) corresponde al área donde se debe ubicar la cámara teniendo en cuenta que todo el producto pasa por esta sección de la lámina de una forma

organizada deslizando unos detrás de otros y paralelos a la lámina, lo cual facilita la captura de la escena del producto en la posición que se requiere analizar, esta sección tiene un ancho de 13 cm que es el parámetro que se requiere para poder elegir la resolución de la cámara (tamaño del sensor) el largo no es necesario establecerlo ya que este está determinado por el tamaño del CCD de la cámara que como se mencionó anteriormente conserva una relación 4:3 entre el ancho y el alto, lo cual indica que en realidad el factor mas importante en la selección del tamaño del CCD es el ancho porque que el alto (largo) viene establecido por defecto.

Teniendo en cuenta que el rango de las impurezas que se quieren medir están en el orden mencionado anteriormente, significa que cada uno de los píxeles de la imagen capturada debe corresponder a ese tamaño de la imagen real (1 píxel = 0.086 mm), por lo cual, si queremos capturar una imagen en la que se pueda apreciar detalles de este orden dentro de los trece centímetros señalados en la figura 29, entonces se debería trabajar con cámaras cuya resolución sea de 1510 píxeles horizontales por 1132 píxeles verticales, donde la imagen capturada sería de $130\text{ mm} \times 97.35\text{ mm}$ y cada uno de los píxeles representan 0.086 mm del tamaño de la imagen capturada, esta área correspondería a la sección que se mencionó anteriormente que es donde debería ir ubicado el sensor de la cámara.

El problema ahora es conseguir cámaras con estas características tan específicas, comercialmente se consiguen cámaras con resolución de 1392x1040, de 1034x779 y de 1600x1200, la mas adecuada en este caso (por costo / beneficio que se discutirá mas adelante) es la de 1392 x 1040 ya que con esta se lograría capturar impurezas en el orden de los 0.093 mm sin perder precisión con respecto a las cifras que se venían mencionando.

Según las especificaciones obtenidas en esta etapa, y haciendo uso de la ecuación 1, podemos obtener la distancia focal de la lente de la siguiente manera:

$$Dis\ tan\ cia\ Focal\ del\ lente = \frac{8\ mm * 180\ mm}{\left(\sqrt{130^2 + 97.35^2}\right)mm} = 8.86\ mm$$

Donde el valor de 8 mm corresponde a la diagonal del tamaño del CCD como se mostró en la figura 6, para el caso de estas cámaras es de 1/2". Como no se consiguen lentes de esta distancia focal, entonces se aproxima el valor a 8 mm que si es la distancia focal de una lente comercial, y para realizar la compensación respecto al valor obtenido se debe disminuir un poco la distancia de trabajo o distancia al objeto.

Estas cámaras tienen una tasa de captura de 15 y 30 fps (*frames per second*) es decir cantidad de imágenes captadas por cada segundo, si a esto se le agrega

que el sistema debe estar compuesto por dos cámaras, entonces el software debería estar en capacidad de procesamiento de 60 imágenes por segundo, esto en caso que se lograran capturar todas las imágenes, pero como esto no es necesario, porque la cantidad de producto registrado por imagen en la zona demarcada anteriormente sería aproximadamente de 6 muestras en cualquier posición (1 foto = 6 *pillows*) para poder abarcar la cantidad total de *pillows* que pasan en un segundo sería necesario capturar aproximadamente 8 imágenes por segundo (8 fotos = 48 *pillows*).

Teniendo en cuenta que lo anterior se debe hacer por cada lado del producto, con la utilización de dos cámaras, entonces serían 16 imágenes las que verdaderamente debería procesar el software en un segundo, además a esta tasa de adquisición las cámaras trabajarían de forma holgada, esta velocidad de operación del sistema no representa una amenaza, porque el software al estar desarrollado en Visual C++ y al no tener algoritmos pesados o demasiado robustos que tarden mucho en ejecutarse (resultado obtenido mediante el análisis de tiempo hecho en el programa realizado), entonces las imágenes se procesarían en tiempo real y no se generarían cuellos de botella, pero esta condición también depende de la velocidad de procesamiento y de las demás características del equipo donde se encuentre instalado el software.

Recordemos que para la captura de imágenes en el laboratorio se utilizaron fuentes de luz fluorescentes y no se presentaron problemas, porque la captura fue hecha sobre escenas de objetos estáticos, mientras en la aplicación los objetos se estarán moviendo a alta velocidad, para poder realizar la adquisición de imágenes a esta velocidad, es indispensable contar con una iluminación que no permita que se generen distorsiones en la captura de la escena deseada, esto se hace a través de una señal proporcionada por un circuito externo de disparo que indica el momento de captura de la imagen y que además debe de ir sincronizado con los dispositivos de iluminación, por lo que se hace necesario que el control se haga por medio de un *trigger* (circuito de activación) externo que posee la cámara, el cual debe de ir al tiempo conectado al sistema de iluminación, esto se debe a que la iluminación debe ser pulsada (sistema de iluminación estroboscópica) a la misma frecuencia de la captura de las imágenes con el fin de que la escena captada no presente distorsión cuando se captura un objeto en movimiento.

Lo que se busca es un congelamiento de la escena en un determinado instante de tiempo para poder adquirir una imagen sin distorsiones ocasionadas por la velocidad con que transita el producto, y sincronizar el periodo de exposición del CCD con el tiempo de iluminación, este trabajo se facilita con la utilización de cámaras progresivas.

Lo mas adecuado en este caso es usar luz estroboscópica con lámparas de destello de tubos de Xenón porque presentan muy poca inercia óptica, es decir que no presentan un efecto de incandescencia considerable y así el sistema puede trabajar a la velocidad establecida de captura por segundo, además tienen un largo tiempo de vida útil y son especiales para aplicaciones donde sea necesario incluir iluminación pulsada.

4.4 ANALISIS COSTO/BENEFICIO

Hay dos formas de implementar el sistema, una de ellas sería dividir en dos partes la cantidad de producto que circula, por lo que se necesitarían cámaras de menor resolución y por tanto de menor costo, pero en cambio se tendrían que usar 4 cámaras (4 lentes, 4 cables) en lugar de 2 y las adecuaciones que habría que hacer en la planta también implican un costo adicional, sin contar con la velocidad de adquisición que también debería aumentar así como la velocidad de interrupción para cambiar la imagen a adquirir de cada una de las cámaras a su debido tiempo, lo cual podría ocasionar que el sistema no sea tan eficiente.

La otra forma es usar únicamente dos cámaras (una en la parte exterior y otra en la parte posterior) que es el esquema con el cual se trabajó, porque reduce costos en los equipos al tener que usar únicamente dos cámaras y por lo tanto dos lentes y no tener que ubicar sistemas adicionales en la planta que dividan la cantidad de producto en dos partes, la condición es que estas cámaras deben ser cámaras de buena resolución, con el fin de captar los detalles que se quieren del producto en el orden de magnitud esperado, y además una cámara de buena velocidad de captura de imágenes, para lo cual se sugiere el equipo descrito a continuación en la tabla 5, donde se encuentra también sus respectivos precios.

Tabla 5. Lista de precios y equipos sugeridos

Cantidad	Descripción	Costo (USD*) X Unidad	Total (USD)
2	Cámara SONY IEEE – 1394 FIREWIRE XCD-SX910 Cable incluido (□)	2.750	5.500
2	Lentes 12 mm	195	390
1	Equipo de Cómputo	1.000	1.000
1	Tarjeta Digitalizadora Matrox Meteor II / 1394 (□)	1.035	1.035
Total			7.925

□ Las características de estos equipos se encuentran especificadas en el anexo

B.

En esta lista de precios no se han incluido los equipos de iluminación y el circuito de disparo externo para sincronizar la toma de fotografías con las fuentes de iluminación, ni las adecuaciones que se deben hacer en la planta para la realización del montaje así como soportes para ubicación de los equipos ópticos e iluminación, por lo que el gasto verdadero que se haría en la adecuación del

* USD United States Dollars

entorno no se podría determinar exactamente hasta el momento de ejecutarse, pero se estima que el costo total de los equipos mencionados (incluidos los de la lista), sumarían aproximadamente USD 10.000.

Adicional a esta cifra que sería la inversión en adquirir el equipo, hay que tener en cuenta que el equipo requiere un mantenimiento periódico aproximadamente cada 6 meses, este mantenimiento es realizado por un técnico especialista en cámaras industriales el cual tiene un valor de aproximadamente USD 300 por cada sesión.

Las características generales que debe reunir el equipo de cómputo es tener un procesador de alta velocidad (Pentium IV), así como una memoria RAM de buena capacidad, para poder hacer un almacenamiento temporal de las imágenes adquiridas y un intercambio rápido para que no se generen cuellos de botella.

Los costos que se han generado en la planta a causa de la presencia de los puntos negros en los productos son estimados en promedio de la siguiente manera y mostrados en la tabla 6.

El costo promedio por reproceso del producto contaminado se calcula con base en información suministrada por la Gerencia de Operaciones, el promedio anual de reproceso son 3 lotes, cada lote contiene 2500 kilos, para un total de 7500 kilos

anuales, y el valor de cada kilo de producto reprocesado es de 0.20 dólares, lo cual arroja una cifra de costo total de 1.500 Dólares / año.

El costo promedio por tiempo de personal involucrado en la solución de problemas por contaminación con puntos negros incluye el tiempo de operarios de planta, y del personal de aseguramiento de calidad que representa una cifra total de 1.500 Dólares / año.

El costo promedio por material de empaque del producto terminado, incluyendo productos que son rechazados y productos para reproceso se calcula según la cantidad de lotes de reproceso, es decir con un promedio anual de tres lotes de reproceso, cada lote es empacado en 170 cajas, para un total de 510 cajas al año, el valor de cada una de las cajas es de 0.78 dólares lo que representa un costo total por material de empaque de 400 Dólares / Año.

El costo estimado por reclamos de clientes, incluidos indemnizaciones por daños en sus productos y paros en sus procesos de producción a causa obstrucción de filtros y taponamientos en las boquillas de los equipos aplicadores por presencia de partículas en los adhesivos es de 8.000 Dólares/Año.

Tabla 6. Lista de costos por presencia de puntos*

Motivo	Costo (USD)	Cantidad /Año	Total USD/Año
Reproceso	500	3	1.500
Personal			1.500
Material de Empaque	0.78	510	400
Reclamos			8.000
Total			11.400

Ahora se realiza un análisis planteando el valor que involucra el proyecto en el momento de la inversión, teniendo en cuenta los ingresos y los egresos que genera, en nuestro caso se ilustra de la siguiente manera; si la compañía H.B. Fuller invierte USD 10.000 en un equipo de visión artificial para la realización del control de calidad en su línea de producción de adhesivos sólidos, esta ahorrando a la compañía USD 11.400 durante cada uno de los próximos cinco años; ya que al final de este periodo se estima que el equipo quedará depreciado y no tendrá

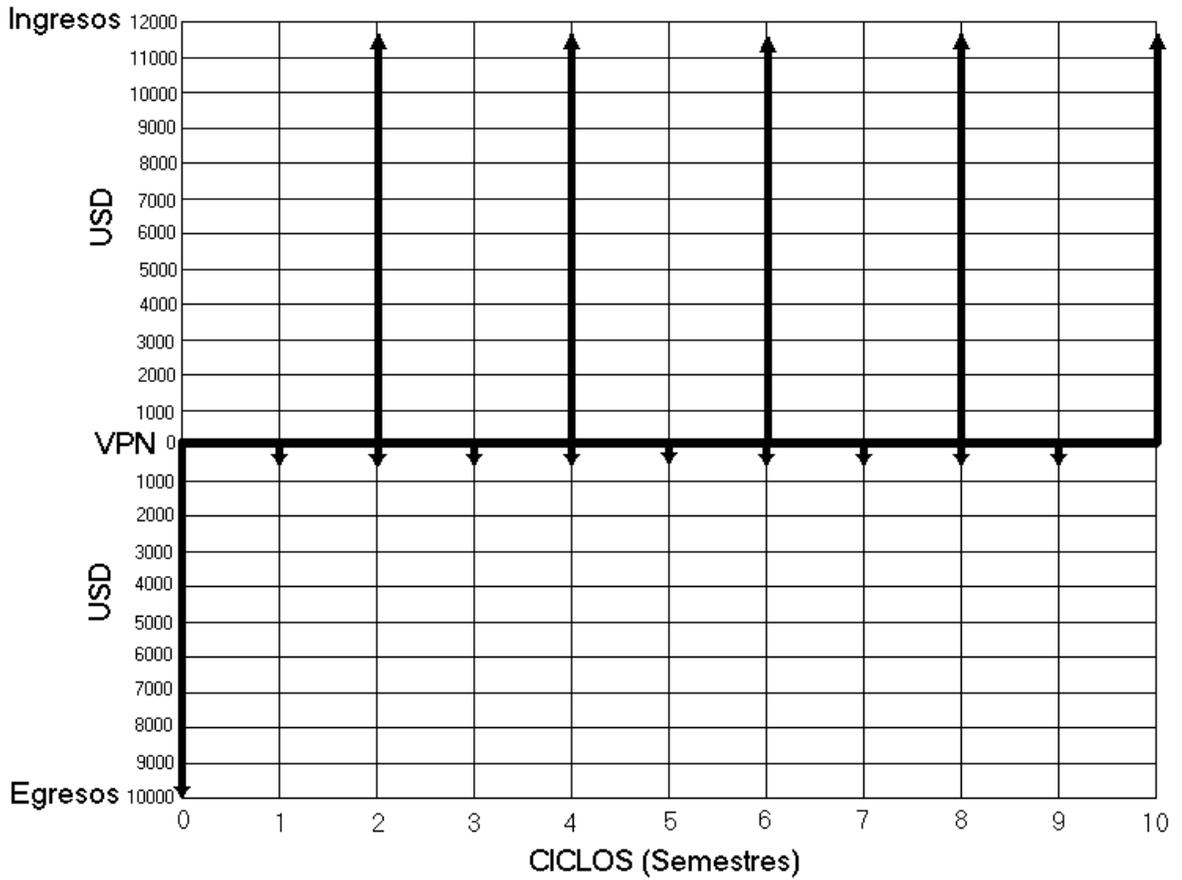
* Información suministrada por Gerencia de Operaciones.

ningún valor de salvamento, pero en el transcurso de este periodo se debe realizar un mantenimiento periódico (semestral) por un valor de USD 300.

Si en este caso trabajamos la tasa de interés de oportunidad como la tasa efectiva anual de interés que se maneja en este momento en el mercado colombiano que es DTF (Depósito a Terminio Fijo) = 6.09% que es la tasa promedio de captación de dinero en el mercado financiero.

Se esquematiza en la figura 30 los ingresos y egresos del proyecto.

Figura 30. Grafica de flujo Ingresos - Egresos



Donde los ingresos anuales representan el dinero que se ahorra la compañía mediante la implementación del sistema, cuyos valores se encuentran especificados en la tabla 6, los egresos corresponden a la inversión inicial (en un tiempo 0) en la adquisición del equipo cuyos valores se encuentran en la tabla 5, y egresos semestrales por concepto de mantenimiento.

Para poder realizar el cálculo costo / beneficio del proyecto a cinco años, es necesario trasladar todos estos valores a un valor presente neto (VPN) que como

se mencionó anteriormente consiste en traer todos estos valores a un tiempo cero, es decir calcular su valor medio en dinero de hoy.

En el momento inicial el equivalente de la partida única de USD 10.000 es simplemente USD 10.000, ya que este egreso ocurre al comienzo (en tiempo cero).

El equivalente en cero de las 9 sumas iguales de USD 300 que salen cada semestre por concepto de mantenimiento se hallan mediante la ecuación 9 que relaciona la equivalencia entre una suma presente y una serie de sumas uniformes.

$$P = 300 \left[\frac{(1 + 0.0609)^9 - 1}{0.0609(1 + 0.0609)^9} \right] = 300 (6.77) = USD 2.032.54$$

donde,

R = USD 300

n = 9 Ciclos (9 Semestres)

i = 0.0609*

* Este valor corresponde a la tasa de interés efectivo anual, cifra presentada como DTF (Depósito a Término Fijo) según indicadores económicos En: EL TIEMPO, Bogotá. (3, febrero, 2006); p. 2-8.

El equivalente en cero de las 5 sumas iguales de USD 11.400 se calcula como ingreso porque es el dinero que se está ahorrando la compañía cada año por la implementación del sistema de visión artificial, este se halla mediante la ecuación 9 que relaciona la equivalencia entre una suma presente y una serie de sumas uniformes.

$$P = 11.400 \left[\frac{(1 + 0.0609)^5 - 1}{0.0609(1 + 0.0609)^5} \right] = 11.400 (4.20) = \text{USD } 47.903.60$$

donde,

R = USD 11.400

n = 5 Ciclos (% Años)

i = 0.0609

En resumen:

Equivalente en cero de USD 10.000 que se pagan en cero = - USD 10.000.00

Equivalente en cero de 9 egresos semestrales de USD 300 c/u = - USD 2.032.54

Equivalente en cero de 5 ingresos anuales de USD 11.400 c/u = +USD 47.903.60

Valor Presente Neto = + USD 35.871.06

El criterio de decisión que acompaña al índice de valor presente neto señala que la alternativa en cuestión es aconsejable económicamente cuando su VPN es mayor que cero, es decir que este caso es conveniente para la compañía realizar esta inversión en el equipo para la implementación del sistema de visión artificial que realice la labor del control de calidad de los adhesivos sólidos Hot Melt, debido a que le representa un gran beneficio económico.

Además otro beneficio de implementar un sistema que realice la labor de inspección o control de calidad del producto es que se genera un valor agregado en calidad y por tanto, mayor confiabilidad, debido a que muchos clientes incrementarán su nivel de preferencia por nuestros productos, debido a la seguridad que le añade la implementación del sistema de alta tecnología sobre el proceso de calidad.

Teniendo en cuenta que la presencia de los puntos negros es uno de los parámetros que potencialmente puede generar mas reclamos, en este momento no se está controlando 100 % esta variable debido a las limitaciones expuestas anteriormente, y a que su revisión es muy subjetiva, puesto que depende del criterio del operario de turno y del asistente de aseguramiento de calidad, esta

responsabilidad quedaría delegada al sistema de visión, ya que este realiza un análisis objetivo de todo el producto, y siempre utiliza el mismo criterio para juzgar su calidad.

Hay que resaltar que con la implementación de este sistema de visión, se estaría ahorrando también la inversión que se tendría que hacer en un equipo detector de metales, porque el sistema óptico esta en capacidad de discriminar cualquier partícula que sea ajena al producto.

5. CONCLUSIONES

- ✓ Este trabajo de investigación arroja resultados positivos (industrial y académicamente), y se establece que es viable la implementación de un sistema de visión artificial para la realización del control de calidad de los adhesivos sólidos Hot Melt en la planta de H.B. Fuller desde los siguientes puntos de vista:

1. *Tecnológico*, porque es posible detectar partículas de impurezas del tamaño de 0.086 mm presentes en el producto circulando en la línea de producción en el lugar donde se encuentra el producto terminado pasando a una tasa de 60 muestras por segundo, debido a que el software está desarrollado en Visual C++ que permite obtener velocidades de procesamiento muy rápidas
 2. *Físico* porque mediante la realización de una serie de cambios en la planta sin afectar el proceso de producción, es posible, ubicar los equipos que componen el sistema de visión y además conseguir las condiciones de iluminación adecuadas para poder obtener un ambiente propicio donde se capturen las imágenes sin tener variaciones entre ellas, pero teniendo en cuenta que durante los diferentes procesos, el color del producto varía, para lo cual existe una rutina que realiza un mejoramiento de estas imágenes.
 3. *Económico* porque se establece que la recuperación (en términos de ahorro) del capital invertido, se realiza en un tiempo inferior a un año, y se estima que el equipo tenga una vida útil de cinco años.
- ✓ La implementación de este sistema mejoraría significativamente el método como se realiza actualmente la inspección del producto terminado, teniendo en cuenta que es un método constante que puede trabajar en régimen continuo y que no se ve afectado por factores externos ni es susceptible a la subjetividad

humana, es decir que funciona bajo un solo criterio con el cual fue programado para la toma de decisiones, no se cansa y no se satura por estar todo el tiempo realizando la misma labor.

- ✓ El sistema funciona de forma pro-activa, porque brinda una información oportuna para poder realizar los ajustes correspondientes en los equipos de filtración de impurezas durante el bombeo y control de partículas “extrañas” presentes en el ambiente que pueden afectar el producto, y de esta manera poder eliminar la causa de la no-conformidad.
- ✓ La realización del control de calidad del producto mediante un sistema de visión artificial generaría un altísimo valor agregado al producto y aumentaría la seguridad y satisfacción del cliente al saber que se utilizan herramientas tecnológicas modernas para garantizar una excelente condición en los productos.
- ✓ El producto defectuoso se registra de manera confiable debido a la alta presión que presenta el sistema y el orden de magnitud de las impurezas que está en capacidad de detectar.
- ✓ La cantidad, tamaño y forma de partículas no deseadas presentes en el producto no son un factor relevante, ya que estas impurezas son discriminadas

con precisión gracias al buen contraste que existe entre ellas y el resto de la imagen, quedando así en evidencia el área ocupada por las impurezas.

- ✓ En este caso de utilización de sistemas de visión artificial no es necesario aplicar esquemas de reconocimiento de patrones, porque no existe un verdadero patrón a seguir sobre el tipo de impurezas que se presenten sobre el producto, simplemente la presencia de una impureza, fuere cual fuere, sin importar el lugar donde se encuentre, siempre y cuando este presente en el producto, ya es motivo suficiente para generar una alarma y rechazar el producto, o por lo menos para apartarlo y realizarle una posterior verificación, lo cual permite la seguridad que el producto no va a ser distribuido en el mercado en esas condiciones.

PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

Universidad del Cauca

Edgar Leonairo Pencue Fierro, Ingeniero Físico, Docente del Grupo de Óptica y Láser, Departamento de Física. (Director)

Mario Milbert Patiño, Ingeniero Físico, Docente del Grupo de Óptica y Láser, Departamento de Física. (Colaborador)

Luis Fernando Echeverri, Doctor en Física, Coordinador del programa de Ingeniería Física. (Colaborador)

H.B. Fuller Colombia Ltda.

Juan Carlos Posada Ochoa, Jefe de Aseguramiento de Calidad, Departamento de Calidad. (Tutor)

Jorge Donado Donado, Gerente de Operaciones, Departamento de Producción, (Colaborador)

Walter Gómez, Técnico en Electrónica Industrial, Departamento de Mantenimiento. (Colaborador)

Colaborador Externos

Jacques Facon, Ph.D. En Procesamiento y Análisis de Imágenes, Universidad Champagnat da Pontificia Universidad Católica de Paraná – Curitiba, Brasil.

BIBLIOGRAFIA

ANDEEN, G. (Ed.-in-Chief). Robot Design Book. SRI International - McGraw -Hill. 1988.

CAMPBELL, J., FRALEY, C., MURTAGH, F., RAFTERY, A. Linear flaw detection in woven textiles using model-based clustering. Pattern Recognition Letters, Vol. 18. 1997. pp. 1539-1548.

CASTLEMAN, K. R. Digital Image Processing. Prentice-Hall, New Jersey, 1996.

DE LA ESCALERA HUESO, Arturo. Visión por Computador: Fundamentos y Métodos, Prentice Hall, Madrid, 2001.

DEMANT, Christian, STREICHER-ABEL, Bernd y WASZKEWITZ Peter. Industrial Image Processing: Visual Quality Control in Manufacturing, Springer, Germany, 1999.

DERGANC, J., PERNUS, F. A machine vision system for inspecting bearings. Int. Conf. On Pattern Recognition ICPR'00, Spain. 2000.

DAVIES, E. Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities. Academic Press, London. 1990.

F., Jaime. Aplicaciones industriales de los Sistemas de Inspección Industrial Automatizados. Proyecto de fin de carrera. GCII-FAIS, Universidad Politécnica de Madrid. España. 1999.

FACON, Jacques. Morfología Matemática: Teoria e Exemplos, Editora Universitária Champagnat da Pontífica Universidade Católica do Paraná – Curitiba, Curitiba, 1996.

GHOSH, J. "Vision-based Inspection" in Artificial Neural Networks for Intelligent Manufacturing (Chapter 11), C. H. Dagli (Editor). Chapman and Hall. 1994.

GONZALES SOLANO, S. Introducción al Procesamiento de Imagen con MATLAB y GENESIS, Universidad Nacional de Medellín, Colombia, 1999.

HOLST, Gerald C. CCD Arrays Cameras and displays, Spice, Washington D. C. 1998.

INFANTE VILLAREAL, Arturo. Evaluación Financiera de Proyectos de Inversión, Grupo Editorial Norma, Bogotá 1988.

KRUGLINSKI, David J. Programación Avanzada con Visual C++, Mc Graw - Hill, Madrid, 1998.

MALAMAS, E., PETRAKIS, E., ZERVAKIS, M., PETIT, L., LEGAT J. A survey on industrial vision systems, applications and tools. Image and Vision Computing, vol. 20. 2002.

MARTINEZ GIL, Jaime. Tecnología de los adhesivos, H.B. Fuller, Colombia, 2005.

MATINZANS, Gonzálo Pajares y DE LA CRUZ GARCÍA, Jesús M. Vision por Computador: Imágenes Digitales y Aplicaciones, Alfaomega, Mexico D.F., 2002.

NAKAMURA, Shoichiro. Análisis y Visualización Gráfica con MATLAB, Addison Wesley, México, 1997.

PARKER, J. Algorithms for image processing and computer vision, John Wiley & Sons, Montreal, 1997.

PENCUE FIERRO, Edgar Leonairo. Implementación de un Sistema de Visión Artificial Para la Clasificación y el Control de Calidad de Frutas. Trabajo de grado. Universidad del Cauca. Colombia.

PLATERO, C. Inspección automatizada de superficies homogéneas mediante Visión Artificial. Tesis Doctoral. DISAM, Universidad Politécnica de Madrid. España. 1998.

RECCE, M., TAYLOR, J., PLEBE, A., TROPIANO, G. High speed vision-based quality grading of oranges. Int. Workshop on Neural Nets. For Identification, Control, Robotics and Signal/Image Processing, Italy. IEEE Comp. Soc. Press. 1996. pp. 136-144.

SHIRANITA, K. HAYASHI, K., OTSUBO, A., MIYAJIMA, T., TAKIYAMA, R.
Grading meat quality by image processing. Pattern Recognition, vol. 33. 2000. pp.
97- 104.

TEMPLEMAN, Julian y OLSEN, Andy. Getting Started With Microsoft Visual
C++.Net Step By Step, Microsoft Press, Washington D. C., 2003.

UMBAUGH, SCOTT E. Computer Vision and Image Processing, Prentice Hall,
Massachusetts, 1998.

ANEXOS

Anexo A. Cálculo de la cantidad de *Pillows* producidos

Anexo B. Descripción de los equipos sugeridos

Anexo C. Código en Visual C++, Segmentación de imágenes

Anexo D. Código en Visual C++, Función Seno

Anexo E. Código en Visual C++, Función reporte de alarmas

Anexo F. Código en Visual C++, Función visualizar reporte

Anexo A. Cálculo de la cantidad de *Pillows* entregados por el equipo cortador.

El motor del equipo cortador gira a 175 RPM y tiene distribuidas sobre el tambor de su eje 16 cuchillas cortadoras, por lo tanto:

$$175 \text{ RPM} \times 16 \text{ Cuchillas} = 2800 \frac{\text{Cortes}}{\text{Minuto}} = 2800 \left[\frac{\text{Pillows}}{\text{Minuto}} \right]$$

$$2800 \left[\frac{\text{Pillows}}{\text{Minuto}} \right] * \left[\frac{1 \text{ Minuto}}{60 \text{ Segundos}} \right] = 46.66 \left[\frac{\text{Pillows}}{\text{Segundo}} \right] \approx 47 \left[\frac{\text{Pillows}}{\text{Segundo}} \right]$$

Anexo B. Descripción de los equipos sugeridos.

Las cámaras SONY IEEE FIREWIRE ofrecen varias resoluciones con la conveniencia del estándar IEEE 1394, estas cámaras están disponibles en versiones color y monocromo, FIREWIRE provee una alta velocidad de transferencia de datos y todos los requerimientos de potencia en un simple cable. Tasa de adquisición por encima de los 60 fps, y un pulsador externo en modo de entrada incluido en cada cámara para aplicaciones que requieran encontrar requerimientos específicos. Estas cámaras están diseñadas para una amplia

variedad de aplicaciones de visión de máquina, ofreciendo una solución no costosa mientras se garantiza una alta calidad de imágenes. Las aplicaciones incluyen video microscópico, inspección (agricultura, semiconductores, electrónica, etc.), biometría, y mas.

Especificaciones de la cámara	SONY XCD-SX910
Dispositivo de Imagen:	½" CCD Progresivo
Píxeles (HxV):	1392 x 1040
Tamaño de la imagen de salida (HxV)	SXGA
Tamaño del píxel (HxV)	4.65 x 4.65 µm
Área del Sensor (HxV)	6.4 x 4.8 mm
Píxeles de profundidad	8 bit mono, 10 bit color
Tasa de muestreo	15/7.5/3.75/1.875 fps 30 fps (2 x 2 Binning)
Salida de Vídeo	FireWire / IEEE – 1394
Montaje de Lentes	Montaje – C
Sincronización	Entrada de Pulsador externo
Sensitividad Mínima	4 Lux mono / 20 Lux Color
Velocidad de pulsador eléctrico	1/100,000 – 17.5 sec
Requerimientos de potencia	Vía cable IEEE - 1394.a
Control de la cámara	Descargable vía software*

Dimensiones (HxWxL)	44 x 33 x 16 mm
Peso	250 g
Temperatura de operación	-5 °C a 45 °C
Temperatura de Almacenamiento	-20 °C a 60 °C

* (Ganancia, gamma, contraste, saturación, brillo, balance de blanco, velocidad de muestreo)

Matrox Meteor- II / 1394

Matrox Meteor-II/1394 es un adaptador IEEE 1394 a tarjeta PCI, alto desempeño en captura de video digital.

Características

Tres puertos IEEE 1394 a 400 Mbps

FIFO extensivo para una captura fiable al PC

Potencia para IEEE 1394 drenada directamente de la fuente de poder del PC

Soportes IEEE 1394 para cámaras de video basadas sobre el IIDC Digital Camera

Especificaciones usando Matrox Imaging Library (MIL)

El software disponible se vende por separado e incluye Matrox Imaging Library (MIL)/ActiveMIL, MIL-Lite/ActiveMIL-Lite, y Matrox Inspector

Soportada por Microsoft® Windows® Me, Windows NT® 4.0, Windows® 2000 y Windows® XP

Anexo C. Código en Visual C++ donde se implementa la segmentación de imágenes por el método de umbral, en esta función también se cuenta el número de puntos negros y el tamaño de cada uno de ellos (si los hay).

```
//Esta función es la encargada de segmentar la imagen (Umbral) para extraer las  
//características y contar el número de puntos negros y registrar el tamaño de cada uno
```

```
void
```

```
CPdiBase::UmbralManual()
```

```
{
```

```

int contpunt, x, y, puntos[1000];
x=0;
y=0;
contpunt=0;
puntos[contpunt];
int col,lin;
int data;
CPoint pt;
int cont;
cont=0;
char dato[10];
char dato1[5];
float area;
BYTE * lpTemp = lpBits;
lpTemp = lpBits;
for (lin = 0; lin < (int) GetHeight(); lin++, lpTemp += bmWidthBytes)
    for (col = 0; col < (int) GetWidth(); col++) {
        data = lpTemp[col];
        {
            if(lpTemp[col] = (data > 140) ? 255 : 0)
            {
            }
            else{
                cont=cont+1;

                if(col-x<=1 && lin-y<=1)
                {
                    y=lin;
                    x=col;
                }

                else
                    if(lin-y<=1 && contpunt!=1)
                    {
                        y=lin;
                        x=col;
                    }

                    else
                        {
                            contpunt=contpunt+1;
                            x=col;
                            y=lin;
                        }
                puntos[contpunt]=cont;
            }
        }
    }

```

```

    }
}

char datopunt[5];
char punt[5];
int resul;
    _itoa(contpunt, datopunt, 10);

//MessageBox(NULL,"Numero de puntos negros", datopunt,
MB_ICONINFORMATION | MB_OK);

for(int i=1; i<=contpunt; i++)
{
    if(i==1)
    {
        resul=puntos[i];
    }
    if(i>=2)
    {
        resul=puntos[i]-puntos[i-1];
    }
    _itoa(resul, punt, 10);
//MessageBox(NULL, "Pixeles un punto", punt, MB_ICONINFORMATION |
MB_OK);
}
if(cont>=1)
{
    area = cont*0.086; // 0.086 is the area of one pixel in mm^2
    _gcvt(area, 5, dato1);
    _itoa(cont, dato, 10);
//MessageBox(NULL, "La muestra tiene Pixeles Negros", dato,
MB_ICONINFORMATION | MB_OK);

//MessageBox(NULL, "Los puntos negros ocupan un area total en mm^2 de:",
dato1, MB_ICONINFORMATION);
}
if(area>0 && cont>0 )
{
    Guardar(dato,datopunt,area);
}
}

```

Anexo D. Código en Visual C++ donde se implementa la función Seno

//Funcion encargada de mejorar la imagen mediante la aplicación de la función Seno

```
void
CPdiBase::SenoImagen()
{
//ESTAS SON LAS CONSTANTES PARA LA IMPLEMENTACION DE LA FUNCION SENO
//LUT IMPLEMENTADA PARA LA FUNCION SENO
    double pi = 3.1415926535;
    double NG;
    BYTE normal[256];

    for (int i=0; i<=255; i++)
    {
        NG=double(double(i)*(pi/512));
        normal[i]=BYTE(255*(sin(NG)+1));
    }
}
```

```

    }
    ///////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
    ///////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

    int col,lin;

    BYTE * lpTemp = lpBits;
    lpTemp = lpBits;

    for (lin = 0; lin < (int) GetHeight(); lin++, lpTemp += bmWidthBytes)
        for (col = 0; col < (int) GetWidth(); col++)
            {
                lpTemp[col]= normal[lpTemp[col]];
            }
}

```

Anexo E. Código en Visual C++ donde se implementa la función de reporte de alarmas y almacenamiento de datos para llevar el histórico

//Función que guarda las alarmas y me va llevando el reporte

```

void CPdiBase::Guardar(char dato[10],char datopunt[5],float area)
{
    struct Persona p;
    CFile f;
    int cr;
    CString nr;

    CFile Archi;
    struct tm *newtime;
}

```

```

time_t aclock;

time(&aclock);           // Get time in seconds

newtime = localtime(&aclock);

strcpy(p.Alarma, asctime(newtime)); //Alarma será entonces el registro de la hora
//del evento
strcpy(p.Motivo, dato);           //Motivo será entonces la cantidad de
//pixeles //por la cual se ha generado la alarma
strcpy(p.Numero, datopunt);       //Numero será entonces el numero de
//puntos //negros que se encuentran presentes en
//la foto
p.Area= area;                     //Area es el area que estarían ocupando las
//impurezas, el area de los pixeles negros
//abro el archivo para escribir, si no existe lo crea.
f.Open ("C:/Reporte.txt",CFile::modeCreate|CFile::modeNoTruncate|CFile::modeWrite);
//Muevo el puntero al fondo del archivo para poder agregar uno nuevo
f.SeekToEnd();
//escribo
f.Write (&p, sizeof(p));
f.Close();
}

```

Anexo F. Código en Visual C++ que permite visualizar el reporte de las alarmas generadas, que se encuentran guardadas previamente en un archivo.

//Esta funcion es de la clase reporte y lo que hace es
//mostrar el reporte de las alarmas guardadas

```

void CReporte::OnVer()
{
    // TODO: Add your control notification handler code here
    struct Persona p;
    CFile f;
    int cr1;
    CString nr1;
}

```

```

f.Open("C:/Reporte.txt", CFile::modeCreate|CFile::modeNoTruncate|CFile::modeRead);
if(pos<f.GetLength()) //si no se llegó al fin del archivo
{
f.Seek(pos, CFile::begin); //Ubico el puntero del archivo en el siguiente registro
pos+=sizeof(p); //incremento pos para el próximo registro
f.Read (&p,sizeof(p)); //Leo un registro
m_strAlarma=p.Alarma; //paso los contenidos a las variables miembros
m_strMotivo=p.Motivo;
m_strNumero=p.Numero;
m_Area=p.Area;
UpdateData(FALSE); //Actualizo los cuadros de edición
cr1=pos/sizeof(p);
nr1.Format ("Registro Número: %i", cr1);
SetWindowText(nr1);
}
else
{ //se llegó al fin del archivo
AfxMessageBox("Fin del Archivo de Alarmas.\nPulse Aceptar para ver Nuevamente el
Primer Registro de Alarma");

pos=0; //ahora p es 0 para poder visualizar nuevamente el 1º registro
}
f.Close ();
}

```