

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Proyecto Fin de Carrera

**Desarrollo de un Sistema de Inspección Visual
Automatizado para una línea de envasado de morteros
industriales**



AUTOR: Jesús Turpín Aroca
DIRECTORES: Cristina Vicente Chicote
José Carlos Fernández Andrés

Octubre / 2011



Universidad Politécnica de Cartagena

Autor	Jesús Turpín Aroca
E-mail del Autor	jesusturpin@gmail.com
Directores	Cristina Vicente Chicote, José Carlos Fernández Andrés
E-mail del Director	cristina.vicente@upct.es, carlos.fernandez@upct.es
Título del PFC	Desarrollo de un Sistema de Inspección Visual Automatizado para una línea de envasado de morteros industriales
Resumen <p>En este Proyecto tiene como objetivo implantar un Sistema de Inspección Visual Automatizado en una planta de producción de morteros industriales. El sistema deberá descartar productos defectuosos (sacos de mortero) a partir de la información suministrada por una cámara. La principal característica de este proyecto es que es de ámbito real y será realizado en colaboración con una empresa con sede en la Región.</p> <p>Todos los sistemas empleados deberán integrarse con el sistema de producción actual de la planta.</p> <p>El proyecto se realizará en 3 fases:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Elección del sistema de visión2. Fase de entrenamiento fuera de la planta3. Fase de integración <p>Por último, el sistema debe ser abierto para facilitar posibles mejoras.</p>	
Titulación	Ingeniería Técnica de Telecomunicación. Especialidad: Telemática
Departamento	Tecnologías de la Información y Comunicaciones
Fecha de Presentación	Octubre- 2011

Índice

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Origen del Proyecto	6
1.2. Objetivos	7
1.3. Fases del proyecto	8
1.4. Organización de la memoria	8
2. LOS SISTEMAS DE INSPECCIÓN VISUAL AUTOMATIZADOS	9
2.1. La Visión Artificial	9
<i>2.1.1. Procesamiento de Imágenes</i>	10
<i>2.1.2. Reconocimiento de Patrones</i>	11
2.2. Sistemas de Inspección Visual Automatizada (SIVA)	11
<i>2.2.1. Ventajas de la Utilización de los SIVA</i>	12
<i>2.2.2. Campos de Aplicación de los SIVA</i>	12
<i>2.2.3. Etapas de un Sistema de Visión</i>	14
<i>2.2.4. Componentes de un Sistema de Visión</i>	14
3. SISTEMAS DE VISIÓN DE OMRON: EL SISTEMA F160	17
3.1. Sistemas Comerciales de Visión de OMRON	17
<i>3.1.1. Sistemas de Gama Baja: F10, F30 y ZFV</i>	18
<i>3.1.2. Sistemas de Visión de Gama Alta</i>	20
3.3. El Sistema OMRON F160	22
3.3.1. Menú Conversacional	23
3.3.2. Menú Experto	24
3.3.3. Descripción de los Elementos del Sistema	27
4. INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE VISIÓN CON EL SISTEMA DE CONTROL DE LA PLANTA Y CONFIGURACIÓN DEL EQUIPO	29
4.1. Situación General de la Planta	29
4.2. Comunicación con el autómatas	30

4.3. Algoritmos de programación del sistema de visión: “La Búsqueda flexible”	33
5. EXPOSICIÓN DE LAS CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS	36
5.1 Diferencias entre la fase de pruebas en laboratorio y la instalación en la planta.	36
5.2 Dificultades a superar en la integración	36
5.3 Aportaciones y Trabajos Futuros	37
6. BIBLIOGRAFÍA	39

Introducción

Debido a las actuales exigencias del mercado, son cada vez más las empresas que optan por desarrollar e implantar Sistemas de Inspección Visual Automatizados (SIVA) en sus líneas de producción. Se persigue sobre todo mejorar la calidad del producto final y un ahorro importante de costes. De hecho, actualmente, los SIVA resultan de aplicación en sectores industriales tan diversos como el automovilístico (pionero en este tipo de sistemas), el agroalimentario, la industria farmacéutica, el sector de la construcción, el textil, etc.

Observando la creciente demanda a nivel industrial de los sistemas de Visión Artificial, el grupo “División de Sistemas e Ingeniería Electrónica” (DSIE) de la Universidad Politécnica de Cartagena ha desarrollado varios proyectos en este campo, todos ellos financiados por programas de investigación nacionales y europeos, así como por diferentes empresas. A continuación se comentan brevemente algunos de estos proyectos dada su relación con el desarrollo de este trabajo.

SIVAFRUT: Este proyecto, desarrollado para una empresa conservera de la Región de Murcia, permitió la construcción de un Sistema de Inspección Visual Automatizado (SIVA) para el control de calidad de gajos de mandarina. El principal objetivo de este sistema era conseguir una reducción en el coste de producción y una mejora en la calidad del producto final (*ver Figura 1*).

COMPLEX: El sistema desarrollado como parte de este proyecto perseguía conseguir el control de calidad, la trazabilidad y el control del proceso de producción de piezas mecánicas complejas. El sistema de análisis de calidad desarrollado permitía asegurar la calidad total de la producción combinando:

- Las nuevas técnicas de inspección no destructiva (NDT, non-destructive testing).
- Un análisis “online” fiable del proceso de producción.
- Un seguimiento de las piezas de amplio rango y a largo plazo.

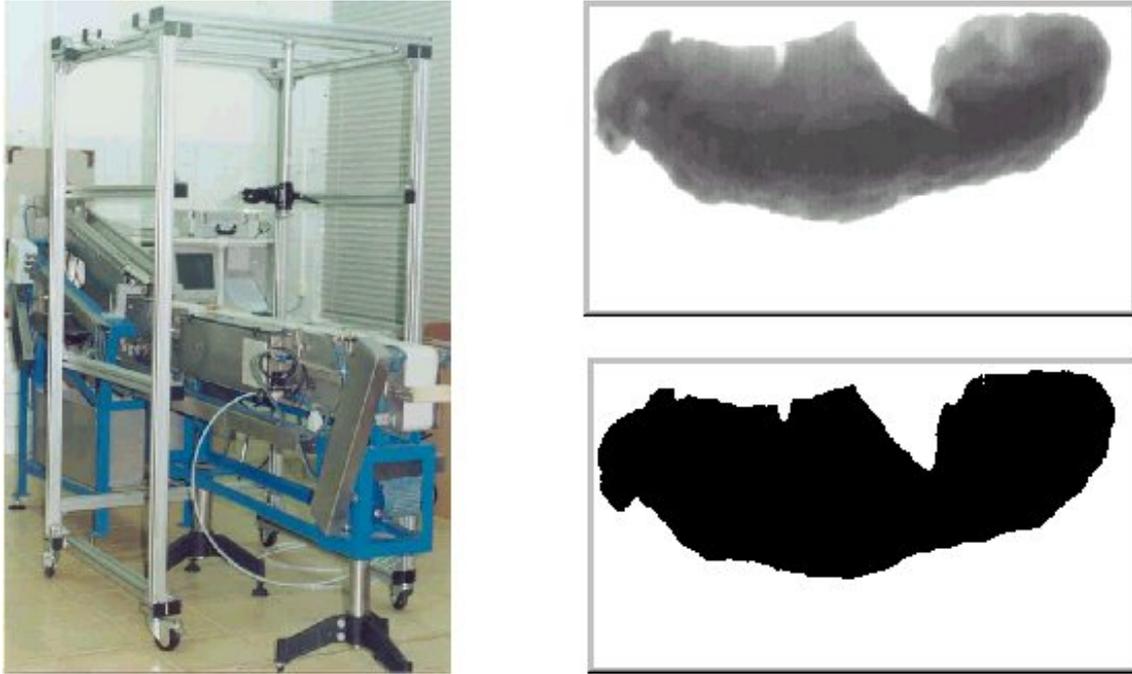


Figura 1. Sistema SIVAFRUT. *Izquierda:* Imagen del prototipo desarrollado.
Derecha: Imágenes de un gajo etiquetado como defectuoso.

1.1. Origen del Proyecto

Una importante empresa multinacional con implantación en la Región de Murcia y que se dedica a la producción de morteros industriales, ha mostrado su interés por automatizar el proceso de descarte de productos defectuosos de su cadena de producción – sacos (semi-) vacíos en la línea de envasado previa al paletizado. Para ello, en este Proyecto se abordará la construcción de un prototipo de SIVA que, a partir de la información suministrada por una cámara, sea capaz de enviar las órdenes correspondientes (paso/eliminación) al autómatas encargado de controlar la línea que va desde el sistema de envasado al paletizador.

Una de las principales limitaciones que deberán afrontarse a la hora de llevar a cabo este Proyecto es la que se deriva de tener que integrar el sistema que se construya como parte de la actual línea de producción (basada en el uso de sistemas del fabricante OMRON). Esto sin duda supondrá ciertas limitaciones a la hora de seleccionar los dispositivos (cámaras, sistema de control, etc.), las herramientas de programación y los protocolos de comunicación que podrán utilizarse.

Por último, en relación con el desarrollo de este Proyecto, cabe mencionar que éste ha sido financiado por la empresa interesada a través de un contrato universidad-empresa (art. 83)¹.

¹ Contrato 1532/06-TE “Diseño de un Sistema de Inspección Visual Automatizada para la eliminación de sacos con defectos de llenado en una línea de producción de morteros industriales para la construcción”

1.2. Objetivos

El principal objetivo de este Proyecto consiste en el diseño e implementación de un Sistema de Inspección Visual Automatizado (SIVA) capaz de mejorar el proceso actual de inspección de la producción que se lleva a cabo en una importante empresa multinacional productora de cementos y algunos de sus derivados.

Actualmente, la línea de envasado de productos cuenta con un doble sistema de detección y rechazo de sacos defectuosos. El primero de ellos consiste en el control de su peso mediante un sensor que envía los datos de cada saco al autómata encargado del control de toda la planta. Cuando el sensor indica la presencia en la línea de un saco cuyo peso no cumple las especificaciones, el autómata activa una compuerta basculante que lo expulsa fuera de la línea. Los sacos rechazados son reciclados manualmente por los operarios.

Además de este sistema de control basado en el peso existe un segundo sistema compuesto de una serie de fotocélulas colocadas de forma que es posible detectar aquellos sacos que están vacíos. Como en el caso anterior, cuando esto ocurre, se envía una señal al autómata para que éste active la compuerta basculante que expulsará el saco defectuoso de la línea de producción.

Estos dos sistemas, utilizados conjuntamente, consiguen resultados bastante aceptables a pesar de su relativa simplicidad. Sin embargo, problemas relativamente frecuentes como la aparición de un saco vacío atrapado debajo de otro lleno, resultan indetectables ya que el saco lleno pasará los dos controles haciendo que el vacío pase inadvertido. Cuando alguno de estos sacos vacíos o defectuosos llega al paletizador (máquina encargada de distribuir y apilar los sacos formando palets), la estructura resultante suele mostrarse inestable siendo necesario con frecuencia reconstruirla manualmente. Así, problemas como éste, causan en la actualidad muchas de las paradas de la producción en la planta, con la consiguiente pérdida económica que esto supone para la empresa.

El Sistema de Inspección Visual Automatizado (SIVA) que se desarrollará como parte de este Proyecto tratará de resolver estos problemas trabajando en paralelo con los dos sistemas de rechazo actualmente ya instalados. Así mismo, una vez integrado en la línea de producción, el sistema deberá:

- Poder activarse o desactivarse en cualquier momento sin interferir en ningún caso con el resto de los sistemas de la planta.
- Llevar un control de la cantidad de sacos rechazados.
- Permitir el cambio automático de programa de modo que sea posible reconocer sacos de distintos tamaños y colores.
- Facilitar la tarea de programar el reconocimiento de nuevos tipos de sacos.
- Permitir que los operarios puedan visualizar en una pantalla (terminal NS) las imágenes captadas por las 2 cámaras.

Además de los problemas antes mencionados relacionados con la eliminación de los sacos defectuosos actualmente no detectados, existen otros relacionados con la impresión defectuosa de las marcas que deben aparecer en su lateral (código del producto, planta productora, fecha de envasado, etc.). Aunque la resolución de este problema queda fuera del alcance de los objetivos de este Proyecto se ha optado por

construir un SIVA que, mediante la incorporación de una segunda cámara destinada a tomar imágenes del perfil del saco, facilite el control visual de estas marcas por parte de un operario y quizá, en el futuro, como una extensión del propio SIVA. De este modo, el operario podrá visualizar en una pantalla y sin tener que acceder de manera difícil y poco segura al lateral de la cinta de transporte, las marcas impresas en los sacos comprobando si el nivel de tinta de la impresora es el correcto o si ésta parece obstruida, si los datos impresos son los correctos o no, etc.

1.3. Fases del proyecto

En la fase inicial del proyecto tiene lugar una visita a la planta que la empresa tiene en la Región de Murcia, situada en la localidad de Alhama de Murcia, con el objetivo de conocer el problema in situ. Posteriormente, se realiza una visita a la delegación de OMRON en Valencia para la elección y compra del equipo (sistemas de adquisición, procesamiento de imágenes, control e iluminación). Como ya se ha comentado con anterioridad, el sistema que se desea desarrollar debe ser compatible con los dispositivos de esta marca previamente instalados en la planta.

La segunda fase del Proyecto consiste en el montaje, puesta en funcionamiento y aprendizaje del sistema de visión. Esta fase transcurre en las instalaciones del grupo de investigación DSIE de la UPCT. En dichas instalaciones se realizan las pruebas y simulaciones oportunas para optimizar la configuración y programación definitiva del equipo antes de su puesta en marcha en la fábrica.

Por último, tras la fase de pruebas, se traslada el equipo a la planta y se realiza su instalación. Durante esta etapa se realizan los últimos ajustes del equipo y lleva a cabo una batería exhaustiva de pruebas con el fin de conseguir un funcionamiento óptimo del sistema.

1.4. Organización de la memoria

El resto de la memoria se ha organizado en los siguientes capítulos:

Capítulo 2: En este capítulo se da una definición de los sistemas de inspección visual automatizados (SIVA) y se describe su origen que es la visión artificial y sus dos pilares fundamentales, procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones. Se van a exponer las ventajas de los SIVA, sus campos de aplicación, las etapas y los elementos que lo componen.

Capítulo 3: Tras comentar las generalidades de los SIVA en el capítulo anterior, se particularizará en éste sobre los sistemas de la marca OMRON, y se describirá detalladamente el modelo OMRON F160 y los motivos por los cuales fue finalmente elegido.

Capítulo 4: Este capítulo trata sobre la integración del sistema de visión en la planta de producción. Emplazamiento físico, comunicación con el autómatas que controla la planta, funciones del software del equipo que mejor resuelven el problema, etc.

Capítulo 5: Exposición de las conclusiones y de las líneas de trabajo futuras.

Bibliografía.

Los Sistemas de Inspección Visual Automatizados

2.1. La Visión Artificial

La Visión Artificial, también conocida como Visión por Computador (del inglés *Computer Vision*) tiene sus orígenes en la Inteligencia Artificial, aunque en la actualidad se la considera una disciplina con entidad propia dado el enorme progreso que ha experimentado en las últimas décadas.

En la literatura es posible encontrar numerosas definiciones del término *Visión Artificial*. Salvo por pequeños matices, todas ellas coinciden esencialmente en lo siguiente:

La Visión Artificial comprende un conjunto de técnicas computacionales destinadas a descubrir la estructura y las propiedades del mundo tridimensional y dinámico que nos rodea a partir de una o varias imágenes bidimensionales obtenidas de él.

Entre las propiedades que la Visión Artificial trata de descubrir acerca del mundo para reconocerlo, interpretarlo o reconstruirlo, se pueden incluir las siguientes:

Propiedades de los objetos que aparecen en la imagen relacionadas con:

- Su geometría: forma, tamaño, posición, etc.
- Su movimiento: dirección, velocidad, aceleración, etc.
- El material del que están hechos: color, textura, brillo, etc.

Propiedades globales de la escena recogida en una imagen:

- Iluminación: color, intensidad, dirección, etc. de las luces.
- Movimiento: cambio de posición del observador (cámara que captura las imágenes).

El problema que aborda la Visión Artificial es de una complejidad comparable a la de resolver un sistema indeterminado (con más incógnitas que ecuaciones). Existen diversos motivos que pueden dar lugar a situaciones de indeterminación o ambigüedad visual: por ejemplo, distintas escenas en las que aparecen objetos diferentes, pueden producir imágenes idénticas. A esto hay que añadirle la ambigüedad que introduce el hecho de tratar de analizar un mundo tridimensional a través de imágenes bidimensionales (reducción de la información). Para hacer frente a estas indeterminaciones la visión artificial recurre a dos estrategias:

Obtener más información, esto es, más imágenes de la escena que se está analizando.

Asumir ciertas simplificaciones (procurando que sean lo más realistas posible) a fin de reducir la complejidad del problema.

Sin embargo, aun cuando es posible aplicar alguna de estas estrategias (no siempre resulta viable), solventar los problemas que se plantea la Visión Artificial de manera adecuada, esto es, en un tiempo razonable y con la suficiente precisión y robustez, no resulta en absoluto sencillo. De hecho, a pesar de los grandes avances realizados en este campo en las últimas décadas, aún son muchos los problemas sin resolver o para los que no se ha desarrollado una solución totalmente satisfactoria.

El enorme interés que despierta esta disciplina, tanto en la comunidad científica como en el ámbito empresarial, resulta evidente a la vista del ingente volumen de publicaciones y conferencias especializadas en esta materia, así como por la aparición en el mercado de nuevos productos que incorporan los últimos avances en este campo (auto-calibración de cámaras digitales, guiado de robots autónomos, construcción de entornos virtuales, etc.).

Tradicionalmente, la Visión Artificial ha estado muy ligada a otras disciplinas como la Psicología, la Neurociencia, la Robótica, el Procesamiento de Imágenes, o el Reconocimiento de Patrones. De hecho, las fronteras que delimitan estas áreas de conocimiento son todavía hoy relativamente difusas, existiendo un cierto solapamiento entre todas ellas. A continuación se introducen brevemente dos de estas disciplinas: el Procesamiento de Imágenes y el Reconocimiento de Patrones, dada su estrecha vinculación con este trabajo y su importante contribución al campo de la Visión Artificial.

2.1.1. Procesamiento de imágenes

El procesamiento de imágenes, como la visión artificial, es un área muy extensa y enormemente activa en la actualidad. Procesar una imagen implica extraer información de ella, o transformarla en otra “mejor” en algún sentido (por ejemplo, más nítida, más fácil de caracterizar, o que ocupa menos en memoria).

Como se acaba de ver, la Visión Artificial trata de modelar el mundo tridimensional que nos rodea a partir de imágenes que, en su inmensa mayoría, necesitan un cierto procesamiento previo para resultar de utilidad. Esto explica el considerable solapamiento existente entre ambas disciplinas y el hecho de que algunos autores incluyan el procesamiento de imágenes como parte de la visión artificial. Entre los problemas que típicamente aborda el procesamiento de imágenes, cabe destacar los siguientes:

Los relativos a la restauración y el realzado de imágenes para mejorar su calidad: eliminación de ruido, mejora del contraste, el brillo, el enfoque, etc.

Los relacionados con la extracción de características, bien de la imagen en su conjunto o de los objetos contenidos en ella: color, forma, tamaño, textura, etc.

Los relativos a la compresión de imágenes: reducción del tamaño que ocupan las imágenes en memoria: estándares JPEG y MPEG.

Para abordar estos problemas existe una gran variedad de algoritmos de procesamiento de imágenes de los que a continuación se enumeran sólo algunos:

Composición de imágenes aplicando operadores lógicos (and, or, xor, etc.) o aritméticos (suma, resta, etc.).

Transformaciones de distintos tipos: geométricas (reducción/aumento de tamaño, rotación), morfológicas (apertura/cierre, erosión/dilatación), de un espacio de color en otro (RGB, HSI, YCrCb), etc.

Filtrados de distintos tipos: espacial (por ejemplo, mediante la convolución de máscaras), temporal (por ejemplo, utilizando filtros de Kalman), en frecuencia (por ejemplo, mediante una transformada de Fourier).

Extracción y caracterización de contornos y regiones, etc.

2.1.2. Reconocimiento de Patrones

El Reconocimiento de Patrones consiste en extraer la información relevante contenida en los datos de entrada (imágenes en este caso) para, comparando esta información con unos patrones preestablecidos, poder tomar una decisión o realizar una clasificación de los datos originales.

Nótese que en esta definición se incluye como primera etapa del reconocimiento de patrones la extracción de características, también incluida como parte del procesamiento de imágenes. Esto demuestra lo difícil que resulta a veces discernir dónde están los límites entre estas disciplinas. Algunos autores prefieren considerar el procesamiento de imágenes como un conjunto de transformaciones imagen-imagen de modo que la extracción de características queda claramente fuera de esta disciplina. Otros autores, sin embargo, consideran que la extracción de características y el procesamiento de imágenes están tan íntimamente ligados que resultan inseparables.

En cualquier caso, la selección del conjunto de características que se deben extraer de una imagen, o más concretamente de los objetos que aparecen en ella, resulta clave para lograr clasificarlos correctamente. Así, debe escogerse un conjunto suficiente de características (ni tantas que resulte excesivamente costoso calcularlas, ni tan pocas que no aporten la suficiente información para distinguir a unos de otros), tratando de que éstas sean lo más discriminantes que sea posible.

Existen distintas aproximaciones al problema de cómo clasificar o reconocer un objeto (expresado como un conjunto o vector de características) a partir de una serie de patrones preestablecidos (vectores que recogen los valores típicos de las características para cada clase de objetos). Entre ellos cabe destacar el enfoque estadístico, el sintáctico, el lógico-combinatorio, o el basado en redes neuronales.

2.2. Sistemas de Inspección Visual Automatizada (SIVA)

Los Sistemas de Inspección Visual Automatizados (SIVA) permiten controlar la calidad de todo tipo de productos industriales haciendo uso de técnicas relacionadas, entre otras, con la Visión y la Inteligencia Artificial. La implantación de estos sistemas en las cadenas de producción permite no sólo reducir los costes de fabricación sino mejorar simultáneamente la calidad final de los productos.

La inspección es una tarea altamente repetitiva y monótona, por lo que resulta especialmente fatigosa para los operarios. En la mayoría de los casos, resulta imposible

que éstos inspeccionen el 100% de los productos ya que esto conllevaría un enorme retraso en el proceso productivo, con el consiguiente aumento de coste. Es más, cuando esta tarea se realiza durante turnos relativamente prolongados, suele resultar difícil aplicar un criterio homogéneo de clasificación de los productos, del mismo modo que resulta difícil mantener el elevado el nivel de atención que requiere esta tarea. Los SIVA pretenden dar respuesta a todas estas limitaciones.

En un mundo de mercados abiertos, el control de la calidad resulta a veces decisivo para mostrarse competitivo. Por este motivo, y desde hace ya más de dos décadas, el proceso de inspección de la calidad tiende cada vez más a automatizarse.

2.2.1. Ventajas de la utilización de los SIVA

Las ventajas obtenidas en la industria al implementar estos sistemas son considerables. Fundamentalmente estos sistemas, generan una mejora destacable en la **calidad** de los productos y procesos de fabricación. En algunos procesos de fabricación se hace imprescindible el uso de estos sistemas, ya que requieren una inspección de pequeños defectos indetectables por el ojo humano o un manipulado de piezas de alta precisión para lo cual se requiere una información visual muy detallada que sólo posible con la instalación de un SIVA.

Un SIVA produce una gran mejoría en cuanto a la velocidad de inspección en un proceso de fabricación. Lógicamente, una inspección más rápida produce una mayor cadencia en la realización de un proceso de producción, incrementando de forma extraordinaria la **productividad**.

Otra de las grandes ventajas que presenta un SIVA en un proceso industrial es la posibilidad de **integración** con el entorno automatizado dentro de una planta o cadena de producción, dotando de información sensorial al sistema electrónico que controle todo el proceso en forma de entradas o salidas, tanto digitales como analógicas.

En ocasiones, ciertos entornos industriales pueden entrañar cierto riesgo para la salud de los trabajadores. En muchos casos puede que incluso ciertos lugares sean inaccesibles debido a diversos factores de riesgo (térmico, nuclear, lumínico, etc.). Un SIVA, puede realizar tareas de inspección en estos lugares, sin peligro alguno para el operario, por lo tanto además de las anteriores ventajas, un SIVA ofrece una mayor **seguridad**.

La vigilancia de un cierto proceso de producción realizada por una persona, puede ser una tarea rutinaria y fatigosa, generando situaciones de pérdida de atención por parte del operario. Esta pérdida puede ocasionar paros o reducciones en la cadencia de producción, así como una disminución de la calidad final del producto. El control de calidad efectuado por diferentes operarios (cambios de turno) puede tener algo de subjetividad, sin embargo, una máquina realizaría la tarea siempre de la misma forma. Así pues, un SIVA incrementa la **fiabilidad** de los procesos, utilizando siempre el mismo criterio de forma totalmente objetiva.

2.2.2. Campos de aplicación de los SIVA

Este proyecto está centrado en una aplicación industrial de un SIVA. No obstante, esta tecnología es de uso muy común en otros campos que se describen a continuación.

Uno de los usos pioneros de esta tecnología es el sector **militar**. Algunos ejemplos de aplicaciones militares son: detección y seguimiento de objetivos, análisis de terreno, armas inteligentes, etc.

Es posible encontrar aplicaciones muy importantes de la Visión Artificial en el campo de la **medicina**. Gracias a esta tecnología, es posible ayudar a realizar diagnósticos de enfermedades mediante análisis de imágenes tomadas de rayos X, análisis de sangre, etc. En medicina hay una larga lista de aplicaciones muchas de ellas en fase de desarrollo aplicando tecnologías basadas en Visión artificial.

En carreteras y ciudades de varios países se han instalado sistemas basados en Visión Artificial para controlar el **tráfico**. Estos sistemas permiten el reconocimiento automático de matrículas, la medición del caudal de tráfico diario y en tiempo real, etc.

Para empresas y cuerpos de **seguridad**, los SIVA, juegan un papel fundamental. Mediante la tecnología de la Visión Artificial, es posible construir sistemas de detección de caras o huellas dactilares que permitan una identificación fiable.

Otro uso que se le da a la visión artificial al margen de la industria, es en el sector **agrícola**.

Para grandes plantaciones, se hace imprescindible el uso de sistemas de Visión Artificial, ya que permite aprovechar al máximo la rentabilidad de un terreno agrario. A través de imágenes tomadas por satélite o por aviones, se puede hacer un estudio de una plantación. De esta manera, es mucho más cómodo y rentable estudiar factores relacionados con el estado de la producción (enfermedades, crecimiento, etc.).

El sector que más se beneficia de la tecnología de la Visión Artificial es, sin duda, el **industrial**.

Para este campo hay un gran abanico de posibles aplicaciones, de las cuales a continuación se mencionarán las más destacadas.

Los organismos exigen a las empresas del sector industrial ciertos niveles de calidad en la fabricación de sus productos. El avance de la tecnología así como las necesidades del mercado, obligan a estas empresas automatizar prácticamente todos los procesos de producción. Así pues, una de las tareas que se puede automatizar utilizando la tecnología de la Visión Artificial es precisamente el **control de calidad** en fabricación.

Hay una gran variedad de criterios de inspección en un proceso de Inspección Visual Automatizado, éstos dependerán del tipo de producto. Algunos de estos criterios son: Inspección de **forma**, **apariencia** y **presencia** del producto (industrias de transformación y empaquetado, calzado, juguetería, etc.); inspección de **defectos** en productos continuos (fabricación de materias semi-elaboradas como aluminio, acero, madera, etc.); inspección de defectos en productos discretos (construcción, alimentos, etc.); inspección **colorimétrica** y **termográfica** (industria eléctrica y electrónica, entre otras); **reconocimiento de caracteres o códigos** (empresas de embalaje y empaquetado, productos impresos, etc.).

Además de la inspección y control de calidad en la industria, la Visión Artificial es una parte muy importante en la **robótica**. Muchos robots industriales llevan incorporados estos sistemas que, a partir de la captación y procesado de imágenes, pueden realizar gran cantidad de funciones (manipulado de piezas pesadas, soldaduras precisas, etc.).

2.2.3. Etapas de un sistema de visión

La visión artificial requiere el uso de técnicas provenientes de muy diversos campos del procesamiento de imágenes. Pueden clasificarse en seis áreas o etapas principales: adquisición, pre-procesamiento, segmentación, descripción, reconocimiento, e interpretación. Según el nivel de complejidad de un Sistema de Visión determinado, es posible que no sea necesaria alguna de estas seis etapas.

La **adquisición** puede definirse como un proceso mediante el cual se consigue una imagen (bidimensional) del mundo que nos rodea (tridimensional).

En la etapa del **pre-procesamiento**, se aplican ciertas operaciones a la imagen de entrada, con el fin de facilitar su procesamiento posterior. Reducción de ruido, realce de bordes, etc. son algunos ejemplos de operaciones que se pueden aplicar a la imagen de entrada en la etapa de pre-procesamiento.

La **segmentación** es el proceso de selección de las regiones u objetos de interés. Es una tarea de gran complejidad. No existe un algoritmo genérico satisfactorio que sea capaz de segmentar satisfactoriamente cualquier tipo de imagen, siendo necesario diseñar técnicas concretas para cada aplicación diferente. En general, los algoritmos de segmentación se basan en la discontinuidad entre dos regiones diferentes, o en la homogeneidad de las partes de una misma región. Los procedimientos principales basados en la primera característica suelen usar la detección de bordes, mientras que los basados en la segunda suelen estar basados en técnicas de umbralización y/o técnicas de crecimiento de regiones. Sin embargo, algunos métodos especiales no encajan bien en ninguna de las categorías.

Mediante los procesos de **descripción** se obtienen características (por ejemplo: tamaño, forma) convenientes para diferenciar un tipo de objeto de otro.

El **reconocimiento** es el proceso que identifica estos objetos y, finalmente, la **interpretación** le asocia un significado a un conjunto de objetos reconocidos.

2.2.4. Componentes de un sistema de visión

Es posible encontrar en el mercado una gran variedad de sistemas de visión artificial. Un sencillo lector de códigos de barras típicamente utilizado en las cajas de los supermercados puede considerarse en cierto modo un sistema de visión artificial. Un robot industrial con varias cámaras y con una electrónica compleja también es un sistema de visión. Lógicamente estos dos ejemplos no están formados por los mismos componentes, sin embargo, ambos tienen elementos comunes.

La elección de un sistema de iluminación adecuado, un software de visión que se adapte a las necesidades requeridas en cada ocasión o la posibilidad de adquirir de un producto integrado son algunas de las dificultades que pueden plantearse.

A continuación se enumeran los componentes con los que se suele construir este tipo de sistemas:

Sensor de Visión. Las imágenes que constituyen la entrada al sistema suele proceder de una o varias cámaras (ver ejemplos mostrados en la Figura 3), aunque también es posible encontrar otro tipo de sensores tales como escáner ópticos, ecógrafos, etc.



Figura 2. Cámaras f150 (OMRON)

Sistema de Iluminación. Para un correcto funcionamiento del sensor de visión, es indispensable un sistema de iluminación adecuado. Uno de los grandes retos que plantea implementar un sistema de visión artificial es elegir el sistema de iluminación correcto.



Figura 3. Sistema de iluminación de LEDs (DCM systems)

Tarjeta de adquisición. Las tarjetas de adquisición (o *frame grabbers*) convierten la señal analógica o digital procedente de la cámara en una imagen digital dentro del ordenador. Existen distintos tipos de tarjetas que, además de digitalizar las imágenes de entrada, permiten su almacenamiento, pre-procesamiento a bajo nivel, etc.



Figura 4. Frame grabber analógico (Infaimon).

Ordenador personal. En muchos casos, el sistema de visión es controlado por el software instalado en un ordenador, que será el encargado de recoger y procesar las imágenes a través de una tarjeta de adquisición. Las características del ordenador empleado dependerán de los requisitos de la aplicación si bien, por lo general, este tipo de aplicaciones suelen precisar ordenadores con bastante potencia de cálculo.

Software de Visión. Actualmente, existen en el mercado numerosos paquetes software para el desarrollo de aplicaciones de visión. Algunos de los más utilizados son: MATLAB (Image Acquisition Toolbox e Image Processing Toolbox), MIL (Matrox Imaging Library) o la librería desarrollada por Intel: Open CV.

Sistemas Integrados: Muchas empresas ofrecen sistemas de visión completos. Estos sistemas no suelen requerir el uso de un ordenador personal ni tampoco el desarrollo de un software específico para su utilización. Por el contrario, estos sistemas incorporan todo el software y el hardware necesario en un solo sistema (algunos incluso incorporan el sistema de iluminación).



Figura 5. El sistema integrado OMRON F 160 con iluminación incorporada.

Monitor analógico. Si el sistema es de tipo integrado, es decir, incorpora todo el hardware y el software de visión en un solo sistema, puede ser necesario el uso de un monitor analógico externo en el que se muestren las imágenes antes y/o después de ser procesadas.



Figura 6. Monitor de pruebas Sony usado en el Proyecto.

Sistemas de visión de OMRON: El Sistema F160

En este capítulo, se realizará una descripción de los sistemas de Visión de la marca Omron, clasificándolos en tres gamas diferentes según sus prestaciones. Se comentarán las características más importantes de cada uno de los principales sistemas de cada categoría, mencionando en primer lugar los sistemas de gama baja F10, F30 y ZFV, a continuación los de gama alta F210, F250 y F500 y, por último y en un sub-apartado diferente, por ser el sistema elegido, se comentarán ampliamente las características de los sistemas de gama media F150 y su sucesor, que será el sistema elegido F160.

El mercado de la visión artificial está experimentando en los últimos años un auge importante, sobre todo en aplicaciones industriales. Los principales fabricantes de la industria de la electrónica son conscientes de este crecimiento. Así pues, han ido desarrollando líneas de investigación dedicadas. La mayoría de los fabricantes venden el producto completo, ya sea integrado o componente a componente mientras que algunos optan por vender partes del producto independientes tales como cámaras, frame grabbers o sistemas de iluminación, dejando la integración del producto a empresas especializadas en visión artificial que ofrecen proyectos llave en mano. Algunos de los fabricantes más importantes son: Siemens, Philips, Sony, Matrox, National Instrument, Omron.

3.1. Sistemas comerciales de Visión de OMRON

Como ya se ha mencionado antes, debido a la importante limitación en cuanto ha la elección del sistema de visión a utilizar en este proyecto, por motivos de integración del sistema con el resto de componentes electrónicos instalados en la fábrica, se va a trabajar exclusivamente con sistemas Omron. Se analizarán las diferentes alternativas a elegir de entre la gama de productos de este fabricante. De entre todas las posibilidades, se optará por el producto que más se adapte a las necesidades inicialmente planteadas en los objetivos del proyecto (Capítulo 1), teniendo en cuenta los siguientes factores: funcionalidad, coste, flexibilidad, facilidad de uso y escalabilidad.

En general, estos sistemas de visión están basados en hardware destinado a la captura y tratamiento de imágenes. Principalmente están orientados a aplicaciones de control de calidad, medidas y posicionamiento de piezas u objetos. Todos los equipos de esta marca son sistemas de visión de tipo integrado, es decir, incorporan todos los componentes del sistema de visión.

Omron tiene a disposición de sus clientes una extensa gama de productos para facilitar su adaptación a todo tipo de aplicaciones. Los modelos más sencillos y compactos son el F10, F30 (ambos modelos actualmente descatalogados) y el ZFV. El ZFV es un modelo sencillo, económico y de reciente aparición que ha sustituido a los dos anteriores. Los dos modelos que le siguen, en otro nivel en cuanto a prestaciones, son el F150, disponible en 3 versiones y el F160. Y por último la gama superior está formada

por los siguientes productos en creciente orden de prestaciones: F210, F250, F400 y F500. La siguiente imagen resume de manera gráfica toda esta gama de productos, clasificándolos según sus características en cuanto a flexibilidad, facilidad de uso, funcionalidad y precio. La versión F400 es el único modelo de altas prestaciones con capacidad de detección colorimétrica. Estaría situado un lugar por encima del F250.

A continuación se describirán las principales características de los sistemas de visión que de dicha marca ofrece al mercado. Para ello, se clasificarán en tres gamas diferentes: por un lado, primero se describirán las características de los sistemas de visión más económicos y sencillos, a continuación se comentarán las posibilidades que ofrecen los modelos de la gama superior, dejando para el final los sistemas de gama media, en especial el F160.



Figura 7. Gama de sensores y sistemas de visión de Omron

3.1.1 Sistemas de Gama baja: F10, F30 y ZFV

Se podría decir que un sensor de este tipo, por su sencillez equivale a una fotocélula pero por su funcionalidad equivale a un pequeño sistema de visión. No presentan dificultades de instalación y su uso resulta relativamente sencillo. Además vienen completamente integrados, incluyendo iluminación LED, lentes y como ventaja adicional, algunos de ellos no requieren el uso de monitor externo, debido a que llevan incorporado una pantalla LCD integrada con el sistema.

Se componen de un sensor inteligente de detección de patrones que permite discriminar objetos por comparación con una imagen patrón, combinando la tecnología del sensor fotoeléctrico convencional con la del procesamiento de imágenes. Disponen de comunicación RS232C/RS422A, entrada externa de disparo y medida continua. El número de entradas y salidas depende del modelo, variando incluso en las diferentes

versiones de un mismo modelo. Por ejemplo el F10 presenta 4 entradas y 2 salidas en sus versiones más económica C20/C25 y 7 entradas + 2 salidas en las versiones C50/C55. Este sistema ofrece además un software de visión llamado F10 Pal que permite el control y la configuración del sistema desde un PC, aunque dicho software sólo es válido para las versiones C50/C55. Su uso está destinado a los mercados de envasado/embalaje, alimentación/bebidas, electrónica, etc. La desventaja principal de estos sistemas es que son muy poco flexibles y solamente llevan unas pocas funciones implementadas que sirven para resolver problemas muy concretos como reconocimiento de caracteres, detección de pequeños defectos, y de frecuente necesidad en todo tipo de industria

Los modelos F10 y F30 son muy parecidos. El modelo F30 incorpora algunas características de los sistemas de gama media como el uso de una consola y la salida a un monitor externo. Actualmente el ZFV ha sustituido a los 2 anteriores. En los equipos de gama baja, este equipo es el que se está haciendo con la mayoría de las ventas de esta marca, ya que es la solución más rápida y económica. El Omron ZFV dispone de un interfaz de usuario formado por un pequeño monitor LCD en color de 1.8 pulgadas y unos botones para la configuración de parámetros a través de un menú de iconos. Permite visualizar en tiempo real resultados e imágenes.

Está preparado para que usuario sea capaz de ajustar rápidamente las condiciones de trabajo para un inmediato funcionamiento. Incorpora iluminación propia. Su uso se limita a aplicaciones sencillas y muy concretas, lógicamente a mayor facilidad de uso, menor flexibilidad. Normalmente se utiliza para resolver problemas típicos y de frecuente aparición en muchas líneas de producción de diferentes campos de la industria en general, tales como por ejemplo defectos de etiquetado, ausencia de alguna pieza o parte del objeto, detección de pequeñas roturas y/o deformidades, etc.

Una característica importante de este modelo es su escalabilidad, ya que ha sido desarrollado de forma que se pueden conectar hasta 5 controladores en paralelo (con o sin cámaras) a través de un bus interno de alta velocidad. Esto permitirá ampliar los controles de calidad de forma rápida y sencilla, dotando al sistema de algo más de flexibilidad aunque elevando la complejidad de su programación, puesta en marcha y mantenimiento. Antes de optar por construir un sistema de visión conectando varios sensores ZFV con un bus común se debe hacer un estudio cuidadoso, ya que no siempre es viable y puede resultar más práctico, cómodo y puede que hasta más económico utilizar un equipo de una gama superior de los que ofrece esta marca, como por ejemplo el F150 o el F160. O si las necesidades así lo requieren un equipo todavía más potente.



Figura 8. Sistema F10

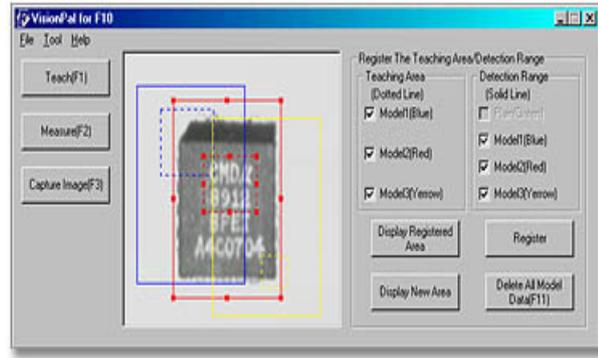


Figura 9. Software para el Sistema F10: F10 Vision Pal



Figura 10. Omron F30



Figura 12. Omron ZFV Color Vision System

3.1.2 Sistemas de Visión de gama alta

F210, F250, F400 y F500 son los modelos de altas prestaciones que OMRON sugiere para proporcionar soluciones a mayor escala para unas necesidades de inspección de calidad de mayor precisión. El uso de estos sistemas requiere un estudio detallado de los requisitos necesarios para abordar el problema en cuestión, ya que estos sistemas son muy flexibles en cuanto a sus posibilidades, aunque como consecuencia, su utilización es más compleja que la de los equipos de gama inferior.

Los modelos F210 y F250 incluyen un software de configuración de menús de flujo (F250-UM3FE) que permite configurar tareas de inspección estándar fácilmente mediante una sencilla interfaz gráfica de usuario (GUI). Los menús de flujo seleccionan los elementos de procesamiento necesarios de la biblioteca y los combinan y vinculan. Este software optimiza las imágenes de medición, realiza mediciones en función de la tolerancia de cada pieza y comprueba periódicamente variaciones en los datos.

El paquete de software estándar contiene aproximadamente 70 funciones de procesamiento diferentes. Sólo es necesario seleccionar los elementos de inspección del paquete e instalarlos. Durante la instalación de las tareas de inspección, se puede seleccionar cualquier combinación de funciones de procesamiento desde el menú. Las inspecciones condicionales (bifurcación) también se pueden definir mediante los resultados de medición o los eventos de entradas digitales.

El software de configuración por diagrama de flujo del F210 permite que las tareas de inspección estándar se configuren fácilmente mediante la interfaz gráfica de usuario de fácil uso. Mediante las funciones Macro, los fabricantes de maquinaria e integradores de sistemas pueden crear sus propias funciones específicas de aplicación.

Las macros le permiten crear un sistema propio de visión específico para cada aplicación, personalizar las pantallas, los controles de E/S y la GUI. Mediante esta opción de software se pueden crear flujos de operación personalizados utilizando un lenguaje de programación 'básico', que permite obtener acceso y manipular prácticamente cualquier función del sistema. Los esfuerzos técnicos y de diseño disminuirán considerablemente. Se podrán crear aplicaciones de procesamiento de imágenes.

La siguiente tabla ilustra las diferencias entre los modelos F210 y F250:

Equipo	Cámaras	E/S digitales	Memoria Flash	Ethernet
F210	2	35	1 Ranura	NO
F250	4	67	2 Ranuras	SI(opcional)



Figura 13. Izquierda: Sistema OMRON F210. Derecha: Sistema OMRON F250.

Por último el equipo más potente de toda la gama es el F500. Este sistema está preparado para redes, incluye un puerto Ethernet para la transferencia de información a alta velocidad de imágenes y datos de inspección, así como la carga y descarga de parámetros en y desde cualquier punto de la red del cliente puede realizarse rápidamente y sin ningún tipo de problema. Para facilitar la documentación o las auditorías

posteriores de los resultados de inspección, el sistema ofrece herramientas para registrar imágenes y resultados con el fin de analizarlos posteriormente.

Este sistema es capaz de manejar dos cámaras digitales de alta resolución (1k x 1k), convirtiéndolo en la solución perfecta para aplicaciones que requieren una alta precisión. Presenta interfaz gráfica de usuario fácil de usar que simplifica la instalación y configuración del sistema.

El equipo dispone también del software de configuración basado en PC “Vision Composer NET”. Mediante una conexión Ethernet de alta velocidad, el usuario puede configurar y realizar el mantenimiento de un único sistema o de una red de sistemas desde una plataforma de PC centralizada.

3.3. El Sistema OMRON F160

Tras un análisis de necesidades y una evaluación durante la estancia en la sede de la empresa Omron en Valencia, se llegó a la conclusión de que el sistema OMRON F160 era el óptimo para cubrir las necesidades del problema que se plantea. La razón principal es la necesidad de un sistema que permita programar/configurar una función de procesamiento de imágenes muy específica. Por lo tanto, los sistemas más sencillos F10, F30 y ZFV son descartados, por tener solamente unas cuantas funciones predefinidas y preparadas para funciones de procesamiento de imágenes que resuelven problemas habituales en la industria pero que no son válidos para el objetivo de este proyecto. Así mismo, los sistemas de alta gama tienen unas prestaciones muy elevadas que realmente no son necesarias para abordar el problema y como es lógico un precio mucho más elevado que los de gama media.

Como todos los sistemas de visión de Omron, el sistema F160 contiene una interfaz gráfica de usuario sencilla y fácil de usar que simplifica la instalación y configuración del sistema para las tareas de inspección. No es necesario ningún programa externo. Además dispone de una doble opción de menú: una opción de menú instantánea a modo de asistente y una opción de menú para usuarios avanzados. Incorpora un sistema de cámara de doble velocidad con función de detección parcial. Estas cámaras disponen de ocho velocidades de disparador que puede seleccionar el usuario, así como una interfaz de iluminación inteligente (no es necesaria para nuestro proyecto, ya que la iluminación es independiente del sistema). Además, la funcionalidad de detección parcial, permite seleccionar un número determinado de líneas (a partir de 12 de la imagen completa), lo que reduce el tiempo de adquisición de la imagen.

La velocidad de ejecución de algoritmos es muy alta. Dispone de procesamiento en binario y en escala de grises, a una resolución de de 512 x 484 pixels. Es posible conectar cámaras u otros elementos de los diferentes dispositivos de la misma marca, según las necesidades.

El equipo dispone de varios métodos de medida implementados. Incorpora una función de compensación de posición para corregir automáticamente la imagen del objeto y poder compararlo con la imagen patrón que está en una posición determinada. Es posible realizar sencillos cálculos con las imágenes obtenidas.

Dispone de una memoria para almacenar 32 escenas diferentes de trabajo o hasta 1024 con tarjeta de memoria. Tiene una capacidad de almacenamiento de hasta 35 imágenes. Incorpora dos puertos de comunicación: serie RS422A / 232C (hasta 115.2 kbps) y puerto paralelo (32 I/O). Como se mencionó antes, el equipo permite trabajar en dos modos o menús: conversacional y experto, cada uno tiene opciones diferentes que se describirán en los siguientes sub-apartados.

Finalmente se describirán detalladamente los componentes hardware adquiridos para abordar el proyecto.

3.3.1 Menú Conversacional

Este modo, está orientado para ser usado en aplicaciones comunes en el entorno industrial. Evidentemente, este modo no permite sacar el máximo rendimiento al sistema, sin embargo aporta una gran facilidad de uso y puede ser usado para familiarizarse en los primeros pasos con el equipo. También puede usarse si la aplicación no requiere un nivel de personalización elevado y alguno de los métodos de inspección implementados puede resolver el problema sin necesidad de una configuración complicada.

En este modo, sólo se puede usar una cámara. La función de compensación de posición es automática y no se puede configurar. Es un modo en el que limitando las capacidades del equipo, está preparado para instalar y hacerlo funcionar rápidamente. Tan sólo dispone de 8 tipos de inspección programados y listos para usar:

- Presencia: detectará si existe un componente, un agujero o una marca en el producto.
- Conformidad: las inspecciones de conformidad detectan si el objeto se corresponde con una imagen patrón del mismo previamente almacenada en el equipo.
- Orientación: Para verificar si una parte del objeto (etiqueta, marca, etc.) está situada correctamente o por el contrario quedó mal colocada (ejemplo letras del revés).
- Posición: Comprueba si existen desplazamientos en la impresión, posibles desplazamientos de agujeros para tornillos, la posición de una placa electrónica, etc.
- Dimensiones: Esta función permite medir piezas y rechazar aquellas que no cumplan los requisitos deseados.
- Pequeñas imperfecciones: Permite detectar pequeños errores de fabricación tipo Virutas sobrantes en objetos metálicos o de plástico.
- Superficie: realiza inspecciones superficiales sobre un objeto, detectando posibles errores o impurezas sobre un objeto plano.

Estas siete funciones resuelven una gran cantidad de problemas de inspección visual que suelen aparecer con frecuencia en muchas fábricas. No obstante, las funciones ya

implementadas en este menú son poco flexibles y no sirven para abordar el problema que se plantea en este trabajo.

3.3.2 Menú Experto

En este proyecto, salvo para el aprendizaje del funcionamiento del equipo en la fase inicial, se trabajará todo el tiempo en el menú experto. Esto es por varias razones. La principal es que se requiere el uso de las dos cámaras y además ninguna de las siete funciones implementadas en el menú conversacional soluciona de forma correcta el problema que se plantea.

En el menú experto, van implementadas diecisiete funciones de inspección, seis métodos de compensación de posición y seis modos de operación.

La compensación de posición se usa cuando la posición y la orientación del objeto a medir no es fija. No será necesaria porque la posición en la que llegan los sacos a la zona de inspección es siempre la misma. Esto facilita enormemente la tarea de inspección, pues el uso de la función de compensación de posición no resulta sencillo.

Métodos de inspección implementados en el menú experto:

1. Área (Variable Box): Inspección en binario después de localizar 4 bordes. Calcula el área y el centro de gravedad de los píxeles de color blanco de la pieza inspeccionada. Los objetos de medida pueden tener diferentes tamaños y posiciones. Localiza bordes en la pieza. La región de medida es el área que encierra los 4 bordes localizados. Incluye la función “fill profile” (rellenar el perfil para medir el área encerrada).

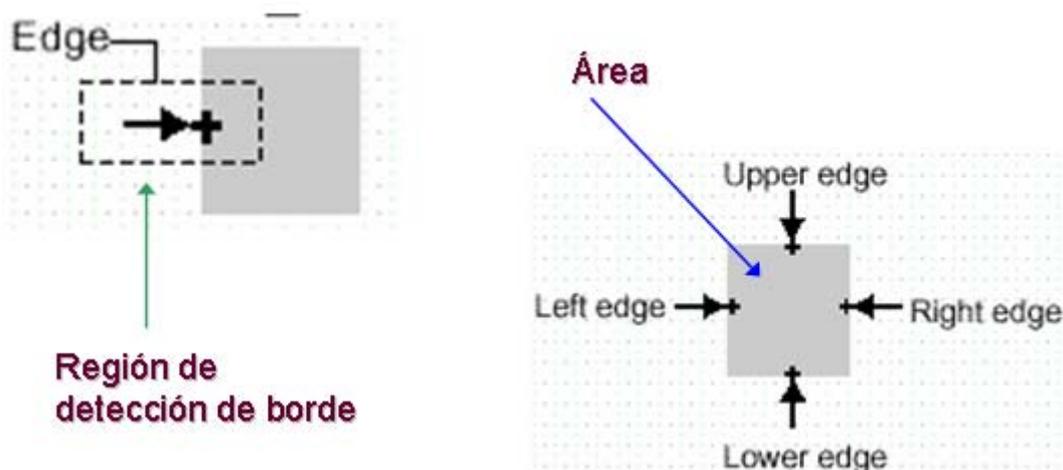


Figura 15. Utilizando el método de inspección por área

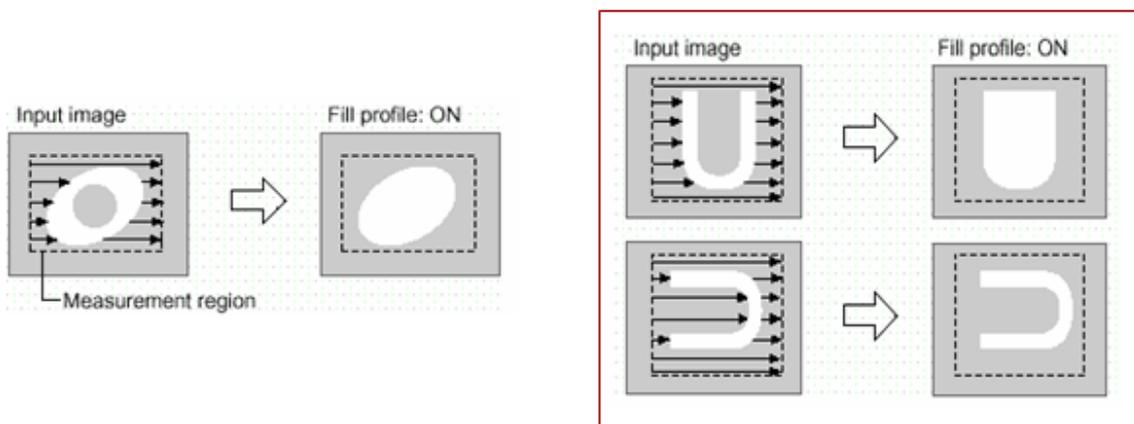


Figura 16. La función “fill profile” incluida en la inspección por área.

2. Defect (Variable Box): Inspección en escala de grises. Detecta de defectos en superficies, por variaciones de densidad. Los objetos de medida pueden tener diferentes tamaños y posiciones. Localiza bordes en la pieza. La región de medida es el área que encierra los 4 bordes localizados. Se ha de elegir dirección para calcular los cambios de densidad.

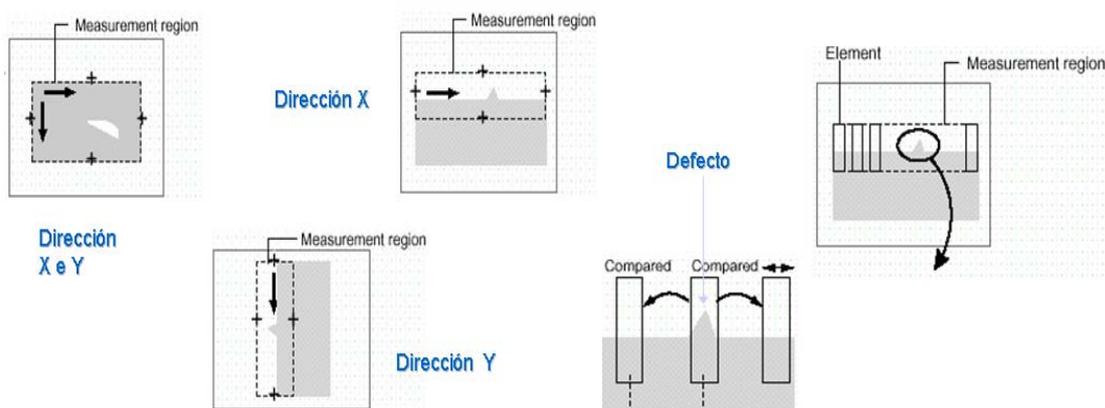


Figura 17. Opciones disponibles para configurar la inspección de defectos

3. Gravity and area: Esta función se utiliza con compensación de posición para encontrar el tamaño y la posición (centro de gravedad) del objeto a inspeccionar.
4. Gravity and axis: Esta función es igual que la anterior pero además mide el ángulo del objeto respecto al eje.
5. OCR for 1 Character: Inspección en escala de grises, utilizada para reconocer caracteres alfanuméricos y símbolos especiales.
6. Clasificación: Inspección en escala de grises. Para utilizar esta función se han de crear modelos de imágenes patrón. El equipo emitirá una salida diferente en función del modelo detectado.

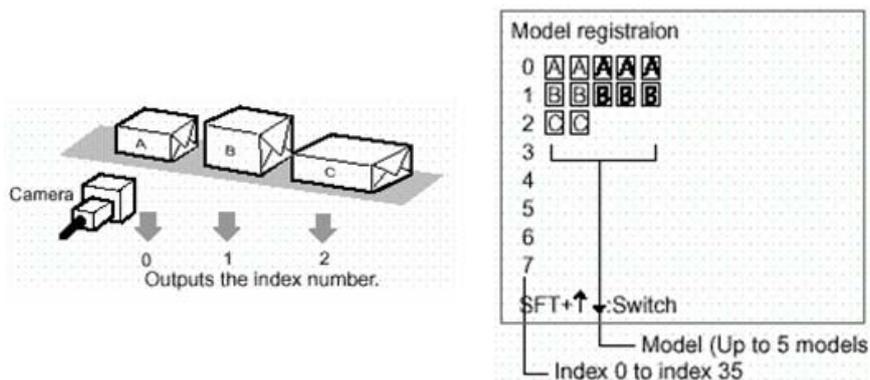


Figura 18. Opciones disponibles en el menú clasificación

7. Defectos: Una medición de defecto se usa para detectar defectos en objetos de medición. Este método busca defectos de superficie midiendo las variaciones en la densidad. La forma de la región de medición se puede elegir de un arco, cuadro, circunferencia o línea.
8. Density Data: Esta función sirve para detectar la presencia de un objeto de medición. Se compara la diferencia de densidad de la imagen con respecto al fondo.
9. Ende Pitch (Distancia de bordes): Se puede utilizar para medir distancias entre los bordes de un objeto mediante las variaciones de densidad. Es posible obtener el número de objetos, el ancho y la distancia entre bordes.
10. Edge Position (Posición de borde): Mediante esta función, es posible obtener las coordenadas en píxels (o en unidades de medida si así se configura) de la posición en la que se encuentra el borde o bordes del objeto.
11. Edge Width (Ancho de bordes): Con este método de medida es posible encontrar dos bordes dentro de una región de medida y calcular el ancho.
12. Gray Search (Búsqueda de Grises): Tomando una imagen como patrón, este método compara cada imagen nueva píxel a píxel con la imagen ya almacenada, obteniendo la posición de cada objeto y el grado de correlación con la imagen patrón.
13. Precise Search(Búsqueda precisa): Igual que el método anterior, pero en este caso utiliza unidades de subpíxel, siendo en este caso el tiempo de procesado notablemente mayor que en el anterior.
14. Flexible Search (Búsqueda flexible): Este método funciona igual que la búsqueda de grises, pero en este caso se pueden crear más imágenes modelo con diferentes formas y/o posiciones. El tiempo de procesado es menor que en la búsqueda precisa y muy similar al de la búsqueda de grises. Se pueden tomar hasta cinco modelos, con memoria adicional se puede aumentar esa cantidad, aunque el tiempo de procesado también aumentará y no se recomienda usar más de cinco.

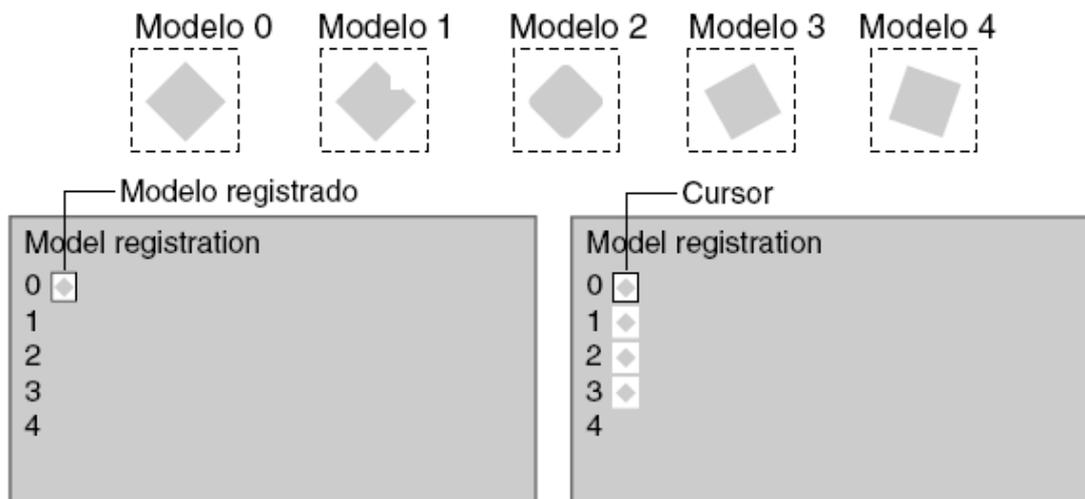


Figura 19. Registro de 5 imágenes patrón en el algoritmo de búsqueda flexible

15. Labeling (Marcas): Es un método de inspección en binario, esto es, las imágenes tomadas por la cámara se convierten en binarias y se miden los píxeles blancos. Cuenta las marcas que hay en una región de medición y calcula el área y el centro de gravedad de los números de marca especificados.
16. Relative Search (búsqueda relativa): Se pueden utilizar este método para obtener la posición de marcas, taladros u otras características de un objeto, con el fin de analizar si dichas marcas entran dentro de un margen aceptable.
17. Rotation Search(búsqueda de rotación): En este caso, el método compara el área más parecida a la imagen patrón y calcula el ángulo y la posición del objeto con respecto al modelo.

3.3.3 Descripción de los elementos del sistema

Como se dijo anteriormente, este sistema es de tipo integrado, por lo tanto Hardware y el software, van incluidos en un solo módulo. A continuación se comentan aspectos sobre otros elementos del sistema tales como sensores de visión (cámaras y lentes), iluminación y monitor.

Cámaras y Lentes: Dentro de la variedad de cámaras OMROM compatibles con el equipo, se ha optado por la más simple y económica para optimizar costes, ya que la aplicación no requiere un elevado nivel de precisión. En concreto se trata del modelo F150 S1A (2 unidades iguales), que es el modelo estándar del sistema F150, que aunque ha quedado descatalogado, sus accesorios son perfectamente válidos y compatibles con el modelo actual F160.

En cuanto a la elección de las lentes se ha optado por 2 modelos con objetivos fijos de la marca Pentax.

Sistema de iluminación: Inicialmente se pensó en la utilización de 4 tubos fluorescentes situados 2 en la parte superior de la plataforma donde se instala el sistema, con el fin de iluminar la vista de la cámara cenital y 2 en la parte inferior para la cámara de perfil. Finalmente se ha suprimido un tubo, ya que se considera una buena iluminación de perfil utilizando sólo un tubo. Los tubos fluorescentes se instalarán con reactancias de 32 KHz, para evitar fluctuaciones de luminosidad debidas a la velocidad de refresco de la cámara cuando los tubos se alimentan con corriente alterna a 60 Hz, estas fluctuaciones causan inestabilidad en el brillo de la imagen.

Monitor: Para las pruebas iniciales, tanto en el laboratorio como en la fábrica, se utilizó un monitor Sony de 22 pulgadas. Finalmente, el monitor es sustituido por una pantalla táctil OMRON tipo NS12-TS01B-V2 que va integrada en el resto del sistema, utilizando para ello una tarjeta de vídeo (OMRON NS-CA002) acoplada al sistema, a la cual se le conectará la salida de vídeo del sistema OMRON F160. La pantalla anteriormente mencionada monitoriza el estado de la parte de la planta correspondiente y está integrada en el banco de trabajo de los operarios, así pues, para poder visualizar las imágenes obtenidas por la cámara, es necesario añadir un botón en el menú, además de otros parámetros modificables que se añaden en código y que permiten activar o desactivar la visión independientemente del resto del sistema en cualquier momento y cumplir así uno de los requisitos del sistema.



Figura 20. Sistema de iluminación instalado en la planta.



Figura 21. Tarjeta de vídeo OMRON NS-CA002 ya instalada

Integración del Sistema de Visión con el sistema de Control de la Planta y configuración del equipo

En este capítulo se describirá detalladamente la situación de la planta y qué lugar ocupa el sistema de visión en ella. También se hablará sobre la comunicación y conexión con el autómatas y que algoritmos y configuración del sistema F160 se programó para su funcionamiento óptimo.

4.1. Situación general de la planta

La planta de producción de sacos de derivados del cemento situada en Alhama de Murcia consta de 2 módulos independientes, llamados “Alhama1” y “Alhama2”, siendo la primera la más antigua y la que presenta el problema que intenta resolver este proyecto. Sin entrar en demasiados detalles a nivel de ingeniería industrial, a continuación se describirán las fases principales de las que consta la planta “Alhama1”.

Previamente a la fase de llenado, existen diversas fases de mezcla y composición, que serán diferentes para cada tipo de producto y que no resultan de especial interés en lo que a este proyecto se refiere, después de esto, el producto pasará a través de unos conductos a la fase de llenado, en la cual una serie de electro-válvulas sincronizadas por un autómatas se encargan de llenar los sacos.

Cuando los sacos alcancen su peso adecuado, los 4 brazos mecánicos los sueltan, cayendo éstos a una cinta transportadora, la cual seguirá un recorrido que los guiará y los irá almacenando en palets. Cada saco, en su recorrido por la cinta transportadora atravesará una gran cantidad de sensores conectados al autómatas para el control total del proceso de envasado y empaquetado. Entre estos sensores se va a instalar el sistema de visión que trabajará paralelamente a los otros dos sistemas de rechazo ya instalados. La siguiente ilustración muestra la estructura esquematizada de la planta “Alhama 1”.

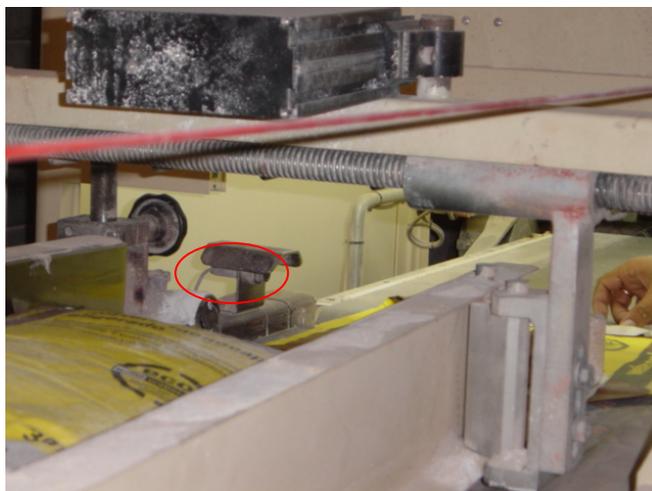


Figura 22. Sensor de paso que activa el disparo.

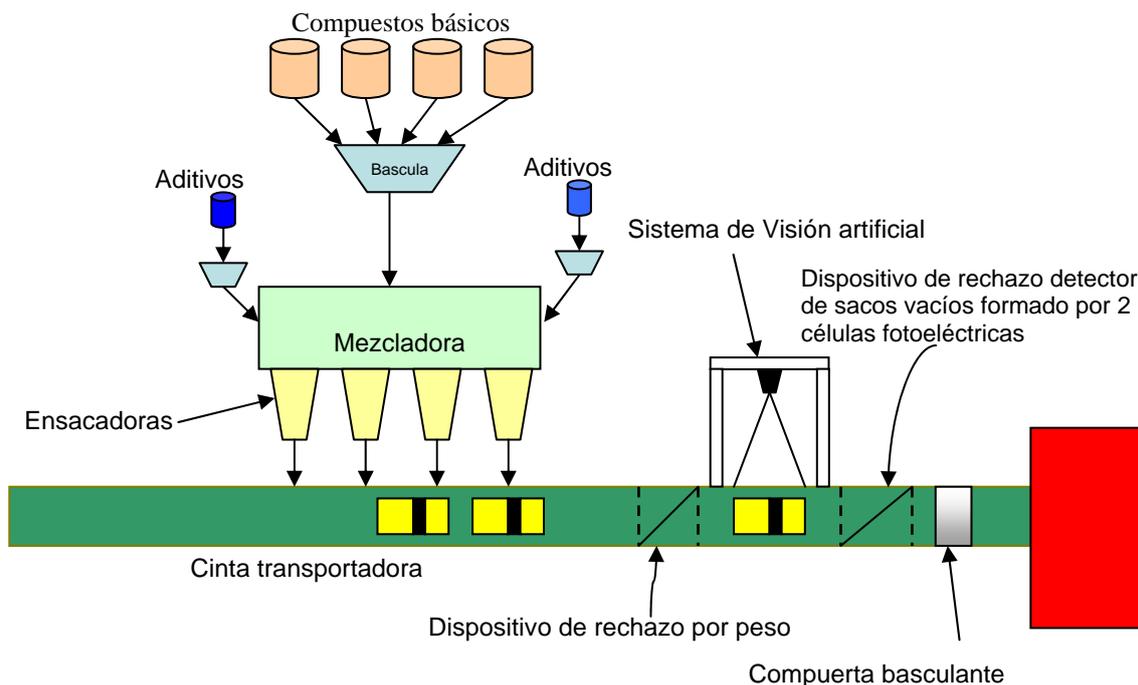


Figura 23. Esquema de la situación de la planta

4.2. Comunicación con el autómat

Se barajan tres posibles métodos para comunicar el autómat con el sistema de visión: **Host-link**, **autómat-Visión-autómat** y **autómat-Visión por conexión directa** y de los cuales habrá que escoger el más adecuado.

En primer lugar se intenta realizar una comunicación a través del protocolo Host-Link (Interfaz RS-232), es decir conectando el sensor de paso (célula fotoeléctrica) del saco a una de las entradas del autómat y conectando el puerto RS232 del sistema de visión al autómat.

Para poder comunicar el sistema de visión correctamente con el autómat, se deberá realizar la siguiente configuración:

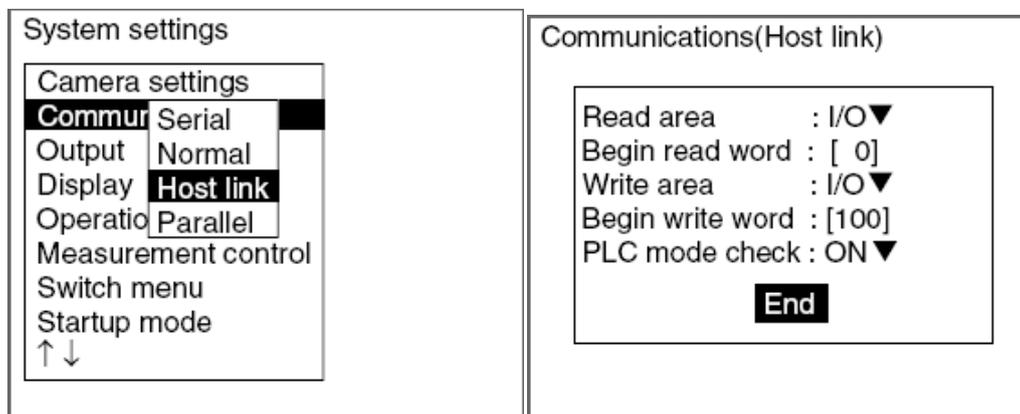


Figura 24. Configurando el modo *Host-link*

En este caso en “Write area” habrá que seleccionar la zona de memoria del autómata DM, comenzando por la dirección 203, que es la zona que previamente se le ha reservado en la programación del autómata. Los demás parámetros se dejarán por defecto.

Para la utilización del protocolo Host-Link, se ha de añadir código al programa principal del autómata. Éste código llevará un nuevo sensor de paso, una reserva de memoria en la zona DM para escribir los códigos del Host-Link y una salida nueva que será la que active el disparo.

El funcionamiento del Host-link en este caso es el siguiente: En primer lugar el sensor de paso activa una de las entradas del autómata y éste tras un retardo para que el saco esté justo pasando por debajo de la cámara envía el código 0010 del Host-link. Al recibir el código, el sistema de visión interpreta que tiene que realizar una medida y por lo tanto se captura la imagen de forma sincronizada para que se justo el momento de paso del saco cuando se active el disparo. El sistema de visión mandará el código del resultado de la medida y el autómata activará el basculante de rechazo si es necesario.

Este modo de funcionamiento presenta diversas ventajas como por ejemplo la posibilidad de enviar más comandos añadiendo botones en el terminal táctil NS permitan cambiar de escena para poder configurar de forma automática el tipo de producto que se esté fabricando, pues para cada tipo diferente la configuración del sistema de visión se debe reprogramar. Sin embargo esta opción después de realizar las pruebas no resulta viable, ya que el sistema no permite una comunicación rápida ni constante, al compartir bus de comunicaciones con el resto del sistema y por lo tanto la toma de imágenes no resulta precisa y no es posible tomar siempre la imagen en la posición centrada del saco.

El segundo modo de funcionamiento posible se realiza conectando el sensor de paso al autómata, siendo éste el responsable de dar la señal de disparo (añadiendo un retardo tal que permita tomar la imagen centrada y siempre en el mismo lugar). La comunicación del autómata con el sistema de visión se realiza en este caso conectando directamente un hilo a la entrada del interfaz puerto paralelo del sistema de visión encargada de activar el disparo y a su vez otro hilo de salida puerto paralelo conectado a una entrada del autómata, para indicarle si la medida es correcta o hay algún error. El código a añadir en la programación del autómata en este caso es más sencillo. Simplemente añadir un sensor de paso y una salida igual que en el caso anterior de forma que al activarse el sensor de paso, se crea un temporizador y cuando éste expire, se activará la señal de disparo, y finalmente una entrada que recibirá los resultados de la medida.

Con esta forma de conexión se permite una mayor precisión en la captura de imágenes, permitiendo al mismo tiempo la monitorización y el control total sobre el sistema de visión.

En la práctica se comprueba que con dicha configuración la captura de imágenes es más precisa que por el host-link pero sigue siendo insuficiente. Para resolver el problema de la forma más sencilla, se requiere una captura de imagen totalmente centrada y constante. Debido a los retardos del autómata y a la alta prioridad en código de otros sensores más críticos dentro de la planta, hay una pequeña varianza en el retardo de

ejecución del código que impide una precisión total. Esto es debido en gran parte a la velocidad de proceso del autómatas.

Se considera prioritaria la exactitud a la hora de capturar la imagen y se optó por la tercera opción. Esta opción consiste en conectar el sensor de paso directamente a la entrada del sistema de visión (interfaz paralelo) sin pasar por el autómatas (y por supuesto sin bucle de retardo añadido por el autómatas). Luego la salida del interfaz paralelo del F160 irá conectada a una entrada digital del autómatas que procesará los resultados de cada medición y activará la compuerta de rechazo en caso necesario.

Para ello habrá que instalar célula fotoeléctrica en un lugar que permita la captura cuando el saco pase justo por debajo de la cámara y éste ocupe todo el plano. Además la célula fotoeléctrica se conecta de tal modo que active la señal de disparo en el momento en el que el saco haya terminado de pasar sobre ella y no justo en el instante que corta el haz de luz. De esta forma, la imagen del saco se toma siempre centrada en el mismo lugar, lo cual facilita enormemente la tarea de configuración del sistema de visión y evita tener que implementar las funciones de centrado de imágenes, aprovechando también que todos los sacos pasan por el lugar de la cinta donde se sitúa la cámara colocados siempre en la misma posición.

La conexión con el autómatas se realiza únicamente con la salida del interfaz paralelo. Esta será finalmente la configuración elegida. Como ventajas se tienen la precisión total en la captura de imágenes sin retardos variables. Como desventaja menor flexibilidad y control sobre la integración del sistema.

El autómatas no activa la señal de disparo sino que lo hace el sensor de visión directamente y el autómatas “no se enterará” de cuando se activa la señal de disparo. Esto no es problema porque se puede puentear el sensor de paso a una entrada del autómatas simplemente para verificar cuando se realiza el disparo, aunque no interfiera en el código del programa.

El código a añadir en este caso es el más sencillo de las tres configuraciones posibles. Solamente habría que añadir el código correspondiente a la compuerta basculante que se activará o no en función de los resultados leídos por la entrada digital que se conecta con el interfaz paralelo que produce los resultados de la medida (OR). El esquema de conexión es el siguiente:

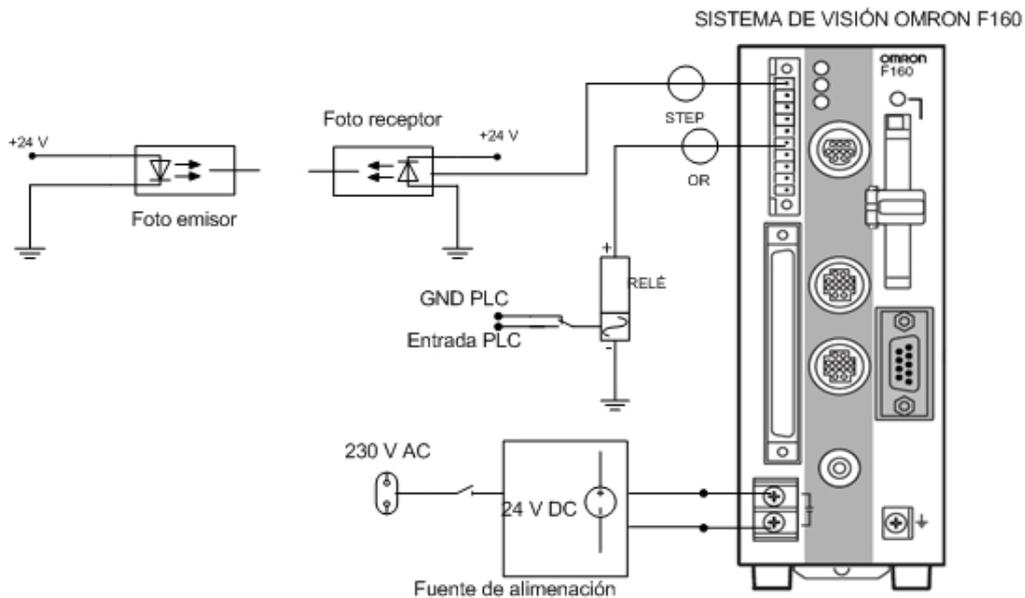


Figura 25. Esquema eléctrico de integración

4.3. Algoritmos de programación del sistema de visión: “La Búsqueda flexible”

El algoritmo elegido para la resolución del problema está basado en la función implementada en el equipo y accesible desde el menú experto llamada “Búsqueda Flexible”. También se puede resolver el problema utilizando el algoritmo clasificación. Es algo más complejo pero en un futuro puede proporcionar datos estadísticos sobre el producto con el que se está trabajando. Para el problema a resolver no es necesario.

En la función búsqueda flexible, los patrones de imagen o modelos servirán de referencia y se deben registrar por adelantado. En la imagen de entrada, se busca el área que sea más parecida a los modelos.

Para registrar el modelo, se colocará el saco parado en la cinta en la posición por la que en condiciones de trabajo normales tendría que pasar. Se deberá tener en cuenta que para cada tipo de saco se configura una escena diferente, almacenando en la memoria del equipo la información de todos los diferentes modelos de sacos existentes. El procedimiento a seguir con cada escena es el siguiente:

Se colocará el saco en su posición justo debajo de la cámara y se tomará una imagen central que será la imagen patrón. A continuación y a partir del modelo anterior, se toman 4 imágenes adicionales con corrección de posición a ± 10 y ± 20 grados (las 2 últimas no son necesarias, aunque se realizan por seguridad). Estas imágenes serán para los casos en los que el objeto no pase exactamente alineado con la cinta. Aunque el sistema incorpora un dispositivo mecánico que coloca en paralelo los sacos con la cinta transportadora, éste mecanismo no es 100 % fiable y se ha estudiado que su grado máximo de inclinación podría llegar a unos 10-15 % como máximo en alguna extraña ocasión, sin embargo por seguridad, y aprovechando la potencia del método búsqueda flexible se grabarán 2 modelos adicionales redundantes al 20 % de inclinación.

Para garantizar una efectividad máxima, se ha estudiado que el índice de correlación, que es una variable muy importante a considerar en el método “Búsqueda flexible” se deberá mover en unas cifras en torno al 75-90 %, dependiendo de factores como el color de cada saco, su tamaño o forma.

Este límite se calcula con una fase de entrenamiento del sistema con cada saco para alcanzar el equilibrio adecuado, de forma que el sistema no rechace sacos buenos pero que sea capaz de rechazar con la máxima precisión los sacos no válidos, llegando a un compromiso de eficacia máxima.

La función búsqueda flexible compara cada imagen que se captura en cada paso de un saco píxel a píxel con cada imagen patrón. Comenzando por la primera, si encuentra una imagen que se corresponda como mínimo en el porcentaje de correlación indicado, inmediatamente manda la señal de salida OK, la cual llegará a una entrada del autómata y se espera hasta el siguiente disparo. Si el porcentaje de correlación encontrado en la captura es inferior al indicado en la programación del equipo, continúa por la siguiente imagen y repetirá el proceso hasta la 5ª imagen. Si el parecido de la imagen no coincide con ninguna de las 5 programadas, el equipo mandará la señal de salida NG. Las señales de salida, se envían por el puerto OR, situado en el interfaz paralelo del equipo. En ambos casos van conectadas a un relé que activará la señal correspondiente dirigida a una de las entradas del autómata. Cuando a éste le llegue del sistema de Visión la señal NG, éste activará el rechazo y el saco será eliminado de la línea. Si la señal recibida es OK, el sistema no activará la compuerta.

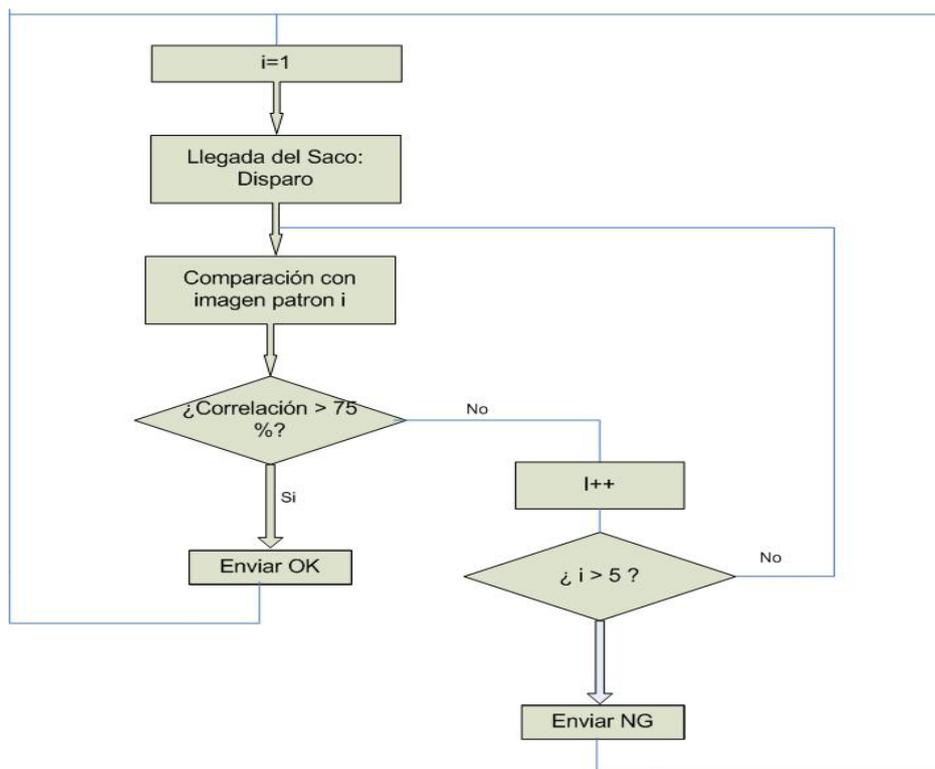


Figura 26. Algoritmo de búsqueda flexible



Figura 27. Ensacadora

Exposición de las conclusiones y de las líneas de trabajo futuras.

La característica fundamental de este proyecto es que ha sido una experiencia práctica aplicada a una situación concreta y real del mundo de la industria. La línea de trabajo llevada a cabo en este proyecto ha sido siempre la de ponerse en el lugar del ingeniero de planta e ir tomando las mejores decisiones posibles, teniendo en cuenta que cada error o retraso supone pérdidas de dinero a la empresa. Se han tomado varias decisiones fruto de la experiencia real que no se hubieran podido tratar con un estudio teórico previo, no al menos teniendo en cuenta un factor fundamental en el sector, es decir la limitación del tiempo y de presupuesto. Muchas decisiones cotidianas del mundo de la ingeniería, se toman a base de pruebas y experiencia práctica, sin la necesidad de elaborar estudios teóricos profundos, ya que son los fabricantes de equipos electrónicos en este caso, sistemas de inspección visual los que se encargan de realizar el diseño de los equipos, basándose en los estudios teóricos.

La misión del ingeniero de planta por lo tanto será elegir el producto en base a los criterios impuestos por la política de la empresa, las necesidades concretas de la empresa, la experiencia y conocimiento en el sector, así como configurar los equipos electrónicos, programación de autómatas y diseño del montaje.

5.1 Diferencias entre la fase de pruebas en laboratorio y la instalación en la planta.

Durante la segunda fase del proyecto en las pruebas de laboratorio, se comprobó que muchas de las funciones del sistema OMRON F160, podían ser válidas para solucionar el problema y se obtuvieron índices de correlación en la función búsqueda flexible válidos incluso hasta un 98%. Esto es debido a que la captura se realiza de forma estática, mientras que en la planta, la captura de la imagen del saco se realiza en movimiento. Tras realizar la misma batería de pruebas en la planta, se tuvo que reducir el índice de correlación de un 75% a un 90% máximo, dependiendo del tipo de saco. Las pruebas de laboratorio han sido muy limitadas debido en parte a que el sistema no iba conectado a ningún dispositivo, únicamente a un monitor el que solamente se podía visualizar OK, NG y la imagen.

5.2 Dificultades a superar en la integración

Gran parte de la dificultad del proyecto viene al integrar el equipo con el sistema de producción de la planta. En primera lugar, se barajó la opción de conectar el sistema de visión con el autómata utilizando el puerto serie y la configuración host-link. Esta opción a priori es más ventajosa porque el cableado es más sencillo y no se ocupan entradas y salidas digitales del autómata. Tras realizar toda la instalación y configuración, esta opción tuvo que ser descartada debido a los notables retardos de la conexión por puerto serie. Otra opción de configuración probada fue incluir en el código

fueron las instrucciones para realizar un disparo cuando el saco pase justo debajo de la cámara. Debido al tráfico de instrucciones del resto de la planta, esta opción genera retardos y al capturar la foto, el saco no aparece en la imagen o aparece parcialmente. Se añade un retardo constante en el programa y se adelanta el sensor de paso para que la imagen se capture en el momento exacto. Tras varias pruebas, se comprobó que el retardo producido por el tráfico de instrucciones no es constante y en ocasiones el disparo se produce con algo de retraso, capturando imágenes no completas del saco. Esto se debe a que las instrucciones que genera el autómata para capturar la imagen no son de alta prioridad. Para la solución definitiva se tuvo que optar por realizar una captura directa de la imagen de modo que no sea el autómata el que de la instrucción directamente sino célula fotoeléctrica la que active el disparo. Se puentea la misma para que el sistema almacene la información del disparo.

No solo se tuvo que modificar la instalación (cableado), se tuvo que modificar el código del autómata 3 veces hasta encontrar la configuración correcta, no obstante, esto no produjo retrasos significativos en el proyecto.

5.3 Aportaciones y Trabajos Futuros

Durante la fase final del proyecto se trabajó en conjunto con los empleados de la empresa contratante. Con los operarios de mantenimiento ayudando a instalar y configurar el sistema y con el ingeniero jefe de planta en la integración con el resto del sistema. También se formó al ingeniero de mantenimiento, realizando la configuración completa para un tipo de producto, dejando al personal de la fábrica la tarea de configurar el resto de productos, así como explicando funciones adicionales para su futura implementación. No se pudo hacer la configuración completa porque no todos los días se producen todos los tipos de sacos de cements, morteros o mono-capas y porque tampoco es viable parar la planta para configurar el sistema de visión para que sea adaptable a todos los tipos de sacos. Es un trabajo que poco a poco tendrán que realizar los ingenieros u operarios de mantenimiento.

La segunda cámara, se queda instalada apuntando al perfil del saco, quedando pendiente la instalación necesaria para poder monitorizarla en el display del cuadro de control del operario.

El sistema se puede activar y desactivar desde el programa principal de la planta, de este modo cuando se produzca un cambio a un producto cuyos parámetros todavía no se hayan guardado en el sistema de visión quede inhabilitado.

El control de la cantidad de sacos rechazados será implementado posteriormente, para ellos, se añadirá al código fuente del autómata, un contador cada vez que la compuerta basculante se abre debido a la activación de la salida digital del sistema de visión. También se va a añadir la monitorización del mismo al display del cuadro de control.

Por último, la segunda cámara será utilizada para detectar automáticamente el nivel de tinta de la impresora que marca el perfil, utilizando simultáneamente la función de reconocimiento de caracteres en paralelo a la búsqueda flexible de la otra cámara.



Figura 28. El display para cambiar de receta permite también modificar las imágenes precargadas para el tipo de saco correspondiente. Se pueden programar más recetas

Bibliografía

- [1] Sensor de Visión F160-2 – Manual de Referencia de Comunicaciones
- [2] Sensor de Visión F160-2 – Manual de Configuración
- [3] Sensor de Visión F160-2 – Manual de Operación – Menú Experto
- [4] Tesis Doctoral “Desarrollo Integral de Sistemas de Procesamiento de Información Visual: Un Enfoque Multi-paradigma Basado en Líneas de Producto, Componentes y Generación Automática de Software” (Cristina Vicente Chicote)
- [5] PFC “LADA-VISIÓN Desarrollo de una Línea Automatizada de Descorazonado de Alcachofas Empleando Técnicas de Visión Artificial” (Antonio Martínez Sánchez)