



Departament d'Enginyeria Electrònica Elèctrica i Automàtica

Automatización del Proceso de Ensamblaje del Soporte del Sensor de Lluvia en Parabrisas de Automóviles

TITULACIÓ: INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

AUTOR: Ángel Carlos Fernández Vitos.
DIRECTORS: Enric Vidal Idiarte.

FECHA: Junio / 2007.

1	DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN	6
1.1	SENSOR DE LLUVIA	7
1.2	PARABRISAS	8
1.3	PARABRISAS CON SENSOR DE LLUVIA	9
1.4	PROCESO DE ENSAMBLAJE Y FASES	9
1.4.1	Desapilado del parabrisas	9
1.4.2	Tratamiento del vidrio	10
1.4.3	Tratamiento del soporte del sensor de lluvia	10
1.4.4	Dosificación del soporte del sensor de lluvia	10
1.4.5	Ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en el parabrisas	11
1.4.6	Protección de la ventana del sensor de lluvia	11
1.4.7	Embalaje del parabrisas con el soporte del sensor de lluvia	11
1.5	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CLIENTE	12
1.5.1	Designación del producto	12
1.5.2	Requisitos técnicos	13
1.5.3	Verificación del ensamblaje y control de calidad	15
1.5.4	Otras observaciones del cliente	15
1.5.5	Petición de la oferta de la automatización por parte del cliente	17
1.6	PLANTEAMIENTO DE LA AUTOMATIZACIÓN	18
1.6.1	Puntos críticos	18
1.6.2	Solución	19
1.6.2.1	Dosificación del soporte del sensor de lluvia	19
1.6.2.2	Ensamblaje del soporte del sensor de lluvia	20
1.6.3	Ciclo operativo	21
2	CRITERIOS Y CÁLCULOS PARA LA ELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA AUTOMATIZACIÓN	23
2.1	ROBOT Y CONTROLADOR	24
2.1.1	Definición	24
2.1.2	Configuraciones	25
2.1.3	Conceptos básicos	26
2.1.4	Criterios de selección	29
2.1.5	Robot y controlador KUKA	32
2.1.6	Robot y controlador ABB	37
2.1.7	Robot y controlador FANUC	42

2.1.8	Manipulador y controlador REIS	48
2.1.9	Manipulador y controlador MOTOMAN.....	53
2.1.10	Manipulador y controlador STÄUBLI	58
2.1.11	Manipulador y controlador MITSUBISHI ELECTRIC	63
2.1.12	Elección del robot	68
2.2	SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL INDUSTRIAL.....	75
2.2.1	Criterios de selección.....	76
2.2.2	Iluminación.....	78
2.2.2.1	Técnicas de iluminación.....	79
2.2.2.1.1	Iluminación frontal	79
2.2.2.1.2	Iluminación lateral.....	79
2.2.2.1.3	Iluminación por campo oscuro (dark field).....	79
2.2.2.1.4	Iluminación por contraste.....	80
2.2.2.1.5	Iluminación sobre el mismo eje o iluminación coaxial	80
2.2.2.1.6	Iluminación coaxial avanzada.....	80
2.2.2.1.7	Iluminación difusa continua.....	81
2.2.2.2	Control de la iluminación	81
2.2.2.3	Tipos de iluminación.....	82
2.2.2.3.1	Iluminación por fibra óptica.....	82
2.2.2.3.2	Iluminación por fluorescente	83
2.2.2.3.3	Iluminación por LED	83
2.2.2.3.4	Iluminación por láser.....	84
2.2.2.4	Elección de la iluminación.....	85
2.2.3	Cámaras	89
2.2.3.1	Tecnología de los sensores de las cámaras	89
2.2.3.1.1	Sensores CCD.....	89
2.2.3.1.2	Sensores CMOS	90
2.2.3.1.3	CCD contra CMOS.....	91
2.2.3.2	Cámaras matriciales	92
2.2.3.2.1	Tecnología de los sensores CCD.....	92
2.2.3.2.2	Características de los sensores.....	92
2.2.3.2.3	Estándares de vídeo y formato entrelazado	93
2.2.3.2.4	Señal de video no estándar	95
2.2.3.3	Cámaras color.....	96

2.2.3.3.1	Cámaras color 1CCD.....	96
2.2.3.3.2	Cámara color 3CCD	96
2.2.3.3.3	Características de las cámaras de visión artificial	97
2.2.3.3.4	Cámaras analógicas y digitales.....	99
2.2.3.3.5	Cámaras de alta velocidad	101
2.2.3.3.6	Cámaras de alta definición y fidelidad mayor de 8 bits	102
2.2.3.4	Cámaras lineales.....	103
2.2.3.4.1	Características técnicas	104
2.2.3.4.2	Cámaras lineales color.....	104
2.2.3.4.3	Cámaras lineales TDI	105
2.2.3.4.4	Prestaciones avanzadas de las cámaras lineales	105
2.2.3.5	Cámaras inteligentes	106
2.2.3.6	Cámaras térmicas	106
2.2.3.7	Elección de la cámara.....	107
2.2.4	Ópticas	111
2.2.4.1	Parámetros técnicos	111
2.2.4.1.1	Distancia focal	112
2.2.4.1.2	Monturas	112
2.2.4.1.3	Anillos de extensión.....	113
2.2.4.1.4	Apertura relativa.....	113
2.2.4.1.5	Profundidad de campo	113
2.2.4.1.6	Magnificación.....	114
2.2.4.2	Criterios de calidad de las ópticas	114
2.2.4.2.1	Función de modulación de transferencia (MTF)	114
2.2.4.2.2	Uniformidad relativa de iluminación	115
2.2.4.2.3	Distorsión	116
2.2.4.2.4	Transmisión espectral y aberración cromática.....	116
2.2.4.3	Tipos de ópticas	117
2.2.4.3.1	Ópticas estándar	117
2.2.4.3.2	Multiplicadores	117
2.2.4.3.3	Tubos o anillos de extensión	117
2.2.4.3.4	Ópticas zoom estándar.....	118
2.2.4.3.5	Ópticas para cámaras de alta resolución montura C	118
2.2.4.3.6	Ópticas para microcámaras	118

2.2.4.3.7	Ópticas de alta luminosidad montura C	119
2.2.4.3.8	Ópticas telecéntricas	119
2.2.4.3.9	Ópticas zoom de precisión.....	120
2.2.4.3.10	Filtros	120
2.2.4.4	Elección de la óptica	121
2.2.5	“Frame grabbers” o placas de captura de imagen.....	125
2.2.5.1	“Frame grabbers” estándar de bajo coste	126
2.2.5.2	“Frame grabbers” avanzados.....	127
2.2.5.2.1	“Frame grabbers” avanzados analógicos.....	127
2.2.5.2.2	“Frame grabbers” avanzados digitales	128
2.2.5.3	“Frame grabbers” con procesadores.....	128
2.2.5.4	Elección del “frame grabber”	129
2.2.6	Sistemas de visión inteligentes	133
2.2.6.1	Cámaras inteligentes	133
2.2.6.2	Sistemas de visión multicámara.....	133
2.2.6.3	Elección sistema de visión inteligente.....	134
2.2.7	Software	137
2.2.7.1	Fundamentos teóricos	137
2.2.7.2	Software de visión industrial.....	138
2.2.7.3	SDK de análisis de imagen	139
2.2.7.3.1	Herramientas de procesado de imagen.....	139
2.2.7.3.2	Herramientas de filtrado de imagen.....	140
2.2.7.3.3	Herramientas de morfología matemática	140
2.2.7.3.4	Herramientas de corrección geométrica y calibración	140
2.2.7.3.5	Herramientas de medida de intensidad.....	141
2.2.7.3.6	Herramientas de identificación y medida de objetos.....	141
2.2.7.3.7	Herramientas de detección y medida de límites o bordes	142
2.2.7.3.8	Herramientas de reconocimiento de patrones.....	143
2.2.7.3.9	Herramientas de análisis de contornos.....	144
2.2.7.3.10	Herramientas de lectura de códigos de barras.....	144
2.2.7.3.11	Herramientas OCR.....	145
2.2.7.3.12	Herramientas de lectura de códigos de matriz	145
2.2.7.3.13	Herramientas de detección e identificación de texturas	146
2.2.7.3.14	Herramientas de control de calidad de impresión	146

2.2.7.3.15	Herramientas de análisis de color.....	147
2.2.7.3.16	Herramientas de inspección de LCD, LED y tableros de control de automóviles	147
2.2.7.4	Elección del software.....	149
2.2.8	Elección del sistema de visión artificial.....	156
2.3	AUTÓMATA (PLC)	158
2.4	EJE DOSIFICADOR.....	162
2.5	INTERFAZ DE USUARIO.....	166
3	IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DE LA AUTOMATIZACIÓN	168
3.1	ROBOT Y CONTROLADOR.....	169
3.2	SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL INDUSTRIAL.....	172
3.3	AUTÓMATA (PLC)	175
3.4	EJE DOSIFICADOR.....	176
3.5	PC.....	177
3.6	DIAGRAMA DE FLUJO	178
4	PRESUPUESTO	181
5	BIBLIOGRAFÍA	185

1 DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN

El presente proyecto tiene por objetivo automatizar un proceso de ensamblaje de soportes metálicos para sensores de lluvia en parabrisas de automóviles.

El mundo del automóvil está en constante competencia. Esta realidad provoca que los fabricantes necesiten diferenciar sus productos de los de sus competidores, y busquen aumentar el valor añadido de sus vehículos, aprovechando las facilidades que aportan las nuevas tecnologías en constante evolución.

Este es el caso de los sensores de lluvia que incorporan muchos automóviles para mejorar sus prestaciones de confortabilidad. Los sensores de lluvia son unos dispositivos que captan la cantidad de agua de lluvia que incide y se deposita sobre los parabrisas para activar y ajustar automáticamente en consecuencia la cadencia del barrido de las escobillas de los limpiaparabrisas. Esto permite un funcionamiento perfectamente automático y a la medida para mantener la plena visibilidad a través del parabrisas durante la conducción en mojado.

Para los fabricantes de vidrio para el automóvil, bien sean parabrisas, lunetas o laterales, esta evolución tecnológica representa una dificultad añadida al costoso proceso de ensamblaje de piezas en el vidrio para su fijación en la carrocería del automóvil. Este proceso de ensamblaje de piezas en el vidrio no se realiza mediante maquinaria integrada en las líneas de producción del vidrio, ya que esto supondría disponer de diversos utillajes para las particularidades de cada modelo, muchas horas de mano de obra invertidas en los cambios de modelo para ajustar los utillajes con la consiguiente poca flexibilidad de la línea,... Además, comporta una mayor inversión en maquinaria extra para realizar estas tareas. Pero la razón principal es que la serie de parabrisas con sensor de lluvia es muy limitada y a veces escasa, entonces los fabricantes prefieren tener una máquina que realice el ensamblaje fuera de la línea de producción y no integrar ésta en la línea. Cuando el sensor de lluvia sea un equipamiento de serie en todos los automóviles, será entonces cuando los fabricantes integren el ensamblaje en la línea de producción.

Este capítulo pretende detallar el funcionamiento del sensor de lluvia, describir las partes del proceso que forman el ensamblaje del soporte, los requerimientos, las especificaciones y las exigencias que se derivan de él con el fin de plantear una solución eficiente de la automatización.

También se recoge toda la información proporcionada por el cliente para el diseño y construcción de la automatización. Esta información engloba todos los aspectos de la automatización referentes a:

- designación del producto
- requisitos técnicos
- tolerancias
- métodos de control y verificación
- tiempos de ciclo
- observaciones diversas
- etc.

1.1 SENSOR DE LLUVIA

El limpiaparabrisas es uno de los elementos que ha ido mejorando poco a poco, siempre con el mismo principio de funcionamiento: el canto de una tira de goma de sección rectangular presiona el cristal y al moverse desplaza el agua. Éste sistema ha ido mejorando con la posibilidad de barrer a diferentes velocidades, de tener una intermitencia fija o posteriormente variable. Pero, en cualquier caso, ajustar la frecuencia era tarea del conductor. En la actualidad esto ha dejado de ser así con el limpiaparabrisas automático.

El elemento principal del limpiaparabrisas automático es el sensor de lluvia. Éste dispositivo está basado en un principio físico de *refracción* y *reflexión* de la luz. Cuando el medio que es atravesado por un rayo de luz cambia, pueden pasar tres cosas:



Figura 1.1 Limpiaparabrisas

- que lo atraviese sin cambiar de dirección. Esta situación sólo se da cuando el rayo incide perpendicularmente
- que lo atraviese y cambie de dirección. En esta situación sí cambia ligeramente la dirección, se denomina *refracción* y ocurre cuando el ángulo es inferior a los 90°
- o bien, que se refleje como si hubiese incidido en un espejo. Se denomina *reflexión* y ocurre cuando el ángulo de incidencia tiene un determinado valor que suele depender del medio

El sensor de lluvia se compone de un diodo que emite luz con un determinado ángulo contra el cristal del parabrisas, de tal forma que incide sobre la superficie exterior del cristal y se refleja. El haz de luz reflejado se recoge en un diodo sensible a la luz.

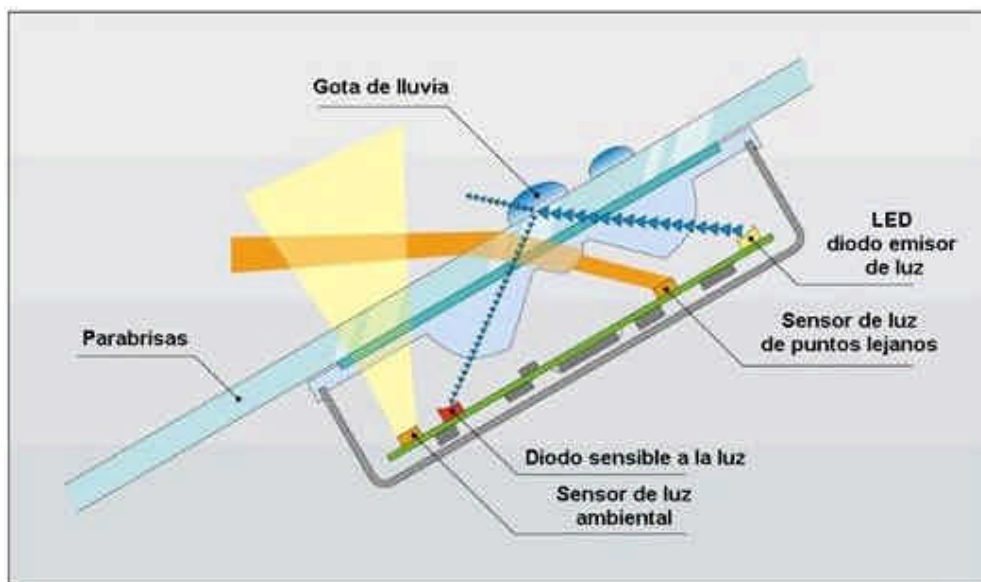


Figura 1.2 Funcionamiento sensor de lluvia

Un parabrisas seco refleja todo el rayo emitido. En cambio, al incidir y depositarse agua de la lluvia sobre el cristal, las características de la superficie de reflexión varían, ya que aumenta el grosor aparente del vidrio. Por tanto, una parte del haz de luz se pierde debido a la refracción y el resto se refleja.

El diodo sensible a la luz dejará pasar más o menos corriente en función de la cantidad de luz recogida. A menor reflexión, mayor cantidad de agua, que por supuesto, es una muestra representativa de todo el parabrisas. De esta manera y gracias a un microchip, se estima la cantidad de agua depositada en la zona estudiada para determinar la cantidad de veces que el limpiaparabrisas deberá entrar en acción. De este análisis también es posible deducir si es necesario cerrar las ventanillas y el techo solar, si está programado para ello, ralentizar e incluso detener el coche si el limpiaparabrisas queda parado.

El sistema lleva además sensores para detectar la luz ambiental, y de esta manera adecuar tanto la velocidad de los limpiaparabrisas (por la noche hace falta que vayan más rápido para la misma cantidad de agua), como para poder distinguir zonas puntuales de sombra, de túneles y anocheceres donde se hace necesario encender las luces.

El sensor de lluvia requiere el cumplimiento de unas condiciones de posicionamiento y orientación para su buen funcionamiento.

1.2 PARABRISAS

El parabrisas está formado por dos láminas de vidrio unidas entre sí. Su forma y dimensiones varían según el modelo de coche. El parabrisas presenta una doble curvatura, es decir, existe una curvatura en el eje X y otra en el Y. Esta doble curvatura puede ser mayor o menor pronunciada dependiendo del modelo de coche.

Al golpear los parabrisas con fuerza se resquebrajan sin llegar a romperse en trozos. Esta reacción ha sido establecida para cumplir las normas de seguridad vial, ya que en caso de colisión frontal, la rotura del vidrio no represente un peligro para los ocupantes del vehículo.

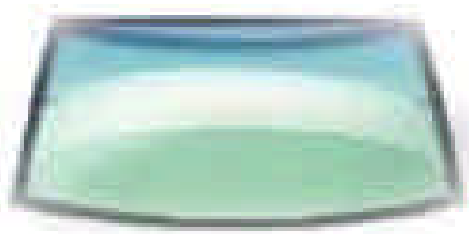


Figura 1.3 Parabrisas

En la cara interior del parabrisas se encuentra una banda negra opaca que recibe el nombre de serigrafía. Normalmente, siempre ocupa una zona alrededor del contorno del parabrisas y su forma o dimensiones también dependen del modelo de coche. La serigrafía se emplea para esconder las piezas utilizadas en la fijación del parabrisas a la carrocería. A su vez, esta serigrafía se utiliza para delimitar la localización del sensor de lluvia y su área de medida de agua.

Por motivos diversos en el proceso de fabricación de los parabrisas, tanto la doble curvatura como la serigrafía presentan variaciones para un mismo modelo. En el caso de la doble curvatura, puede tener unas tolerancias que varían de entre 3 y 4 mm en los ejes X (longitudinal) e Y (transversal), es decir, la profundidad del parabrisas sufre variaciones. Por otro lado, la serigrafía presenta posibles decalajes o desplazamientos respecto del canto del vidrio, es decir, toda la serigrafía puede quedar desplazada respecto del contorno del vidrio en los ejes X (longitudinal) e Y (transversal). Este decalaje de la serigrafía depende del modelo, y su tolerancia suele ser menor de 2 mm.

1.3 PARABRISAS CON SENSOR DE LLUVIA

Los automóviles equipados con sensores de lluvia requieren que los parabrisas dispongan de una zona destinada a ser la muestra representativa de todo el parabrisas. Dentro de la serigrafía del parabrisas se dibuja una ventana translúcida. Es en esta zona donde se ubica el sensor de lluvia. De esta forma se obtiene una ventana sin serigrafía cuya parte interior es translúcida y tiene la forma correspondiente a la zona de muestreo del sensor de lluvia. En cambio, las dimensiones de la ventana sin serigrafía son unos milímetros mayores que el área de muestreo del sensor de lluvia alrededor de su perímetro.

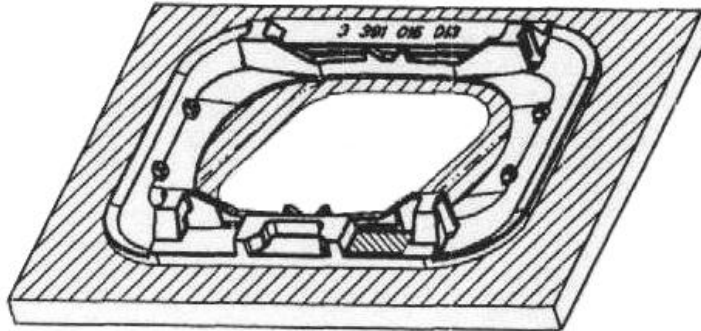


Figura 1.4 Sección de parabrisas con soporte de sensor de lluvia

El sensor de lluvia está colocado en la cara interior del parabrisas. Se suele buscar la zona en la que la doble curvatura sea menor, es decir, lo más plana posible y en partes del parabrisas que no interfieran en la visibilidad del conductor y acompañante. La zona que cumple estas características es el eje de simetría del parabrisas y se suele localizar en la parte superior de éste, cerca del espejo retrovisor, aunque también se puede encontrar en la parte inferior, dependiendo del modelo y del diseño del automóvil.

Para la fijación del soporte del sensor al vidrio se utiliza un producto viscoso, muy similar a la silicona, de color negro conocido como pur. El pur es un poliuretano que se adhiere fácilmente al vidrio y una vez seco actúa como pegamento. El proceso de secado suele durar 16 horas, aunque añadiendo productos químicos tanto al vidrio como al soporte del sensor se consigue aumentar la velocidad de secado y el agarre del ensamblaje reduciendo el tiempo hasta las 8 horas.

1.4 PROCESO DE ENSAMBLAJE Y FASES

Como se pretende automatizar un proceso de ensamblaje de soportes metálicos de sensores de lluvia en parabrisas de automóviles, es preciso conocer todas las fases incluidas en éste. A continuación, se enumeran todas éstas y se detallan las funciones que incluyen.

1.4.1 DESAPILADO DEL PARABRISAS

Los parabrisas están depositados en palets. Los palets permiten apilar parabrisas sin que estos sufran daños por contacto, como rayas y desconchones. Además, están especialmente diseñados para facilitar el transporte de los mismos. En cada uno de ellos se paletizan un total de 48 parabrisas.

El operario debe desembalar el palet de origen, a continuación coger un parabrisas y depositarlo sobre una mesa con ventosas que permiten fijar el parabrisas.

1.4.2 TRATAMIENTO DEL VIDRIO

En primer lugar es necesario limpiar la zona del parabrisas correspondiente a la ventana traslúcida o sin serigrafía. Mediante la aplicación de un producto limpiacristales se consigue extraer la suciedad y las posibles partículas adheridas al vidrio y dejar la zona limpia.

A continuación, se aplica en esta zona un producto químico líquido para disminuir el tiempo de secado del pur y aumentar el agarre del soporte al ensamblarlo al vidrio.

Una vez limpiada y rociada la zona de la ventana sin serigrafía, el vidrio ya se encuentra en las condiciones óptimas para el ensamblaje del soporte del sensor de lluvia.

1.4.3 TRATAMIENTO DEL SOPORTE DEL SENSOR DE LLUVIA

De forma parecida a la ventana sin serigrafía del parabrisas, el soporte del sensor de lluvia también requiere un tratamiento.

El soporte del sensor de lluvia se rocía con alcohol para extraer la suciedad y las posibles partículas adheridas. Después se seca el alcohol de la superficie del soporte.

Seguidamente se le aplica un producto químico líquido para disminuir el tiempo de secado del pur y aumentar el agarre del soporte al ensamblarlo al vidrio.

Una vez realizados estos pasos, el soporte del sensor tratado ya se encuentra en las condiciones óptimas para el ensamblaje.

1.4.4 DOSIFICACIÓN DEL SOPORTE DEL SENSOR DE LLUVIA

Cuando el soporte del sensor de lluvia se encuentra en óptimas condiciones de ensamblaje, se procede a la dosificación de pur sobre éste. Esta fase resulta especialmente crítica por lo que respecta a la cantidad y a la posición de pur depositado en la superficie de contacto del soporte con el vidrio. Las razones son las siguientes:

- Un exceso de pur provocaría:
 - un rebase de pur hacia el interior del soporte alcanzando la zona de estudio, tapando parte de la zona traslúcida y provocando un mal funcionamiento del sensor de lluvia
 - un rebase de pur hacia el exterior del soporte formando grumos de pur que impedirían la sujeción del sensor al soporte
 - un rebase de pur hacia el exterior del soporte formando grumos de pur que impedirían la sujeción de la carcasa que oculta el sensor de lluvia y los cables necesarios para su alimentación y comunicación
- Un defecto de pur provocaría:
 - una sujeción débil del soporte en el parabrisas favoreciendo el desprendimiento del soporte al colocar el sensor de lluvia o durante la vida útil del coche provocando un mal funcionamiento del sensor de lluvia
- Una mala localización del pur depositado provocaría:
 - un rebase de pur hacia el interior del soporte alcanzando la zona de estudio, tapando parte de la zona traslúcida y provocando un mal funcionamiento del sensor de lluvia

- un rebase de pur hacia el exterior del soporte formando grumos de pur que impedirían la sujeción del sensor al soporte
- un rebase de pur hacia el exterior del soporte formando grumos de pur que impedirían la sujeción de la carcasa que oculta el sensor de lluvia y los cables necesarios para su alimentación y comunicación
- una sujeción débil del soporte en el parabrisas favoreciendo el desprendimiento del soporte al colocar el sensor de lluvia o durante la vida útil del coche provocando un mal funcionamiento del sensor de lluvia

De este análisis se desprende que una de las claves del ensamblaje del soporte en el parabrisas es la dosificación del soporte, en la cual la cantidad de pur depositada ha de ser la justa y su posición requiere mucha precisión.

1.4.5 ENSAMBLAJE DEL SOPORTE DEL SENSOR DE LLUVIA EN EL PARABRISAS

Una vez depositado el pur en la superficie de contacto del soporte con el vidrio se dispone de un tiempo máximo de 5 minutos para su ensamblaje. Transcurrido este tiempo el pur se endurece y pierde capacidad de pegado.

El ensamblaje del soporte se debe realizar cumpliendo unas especificaciones de posicionamiento, rotación y orientación. Normalmente la posición de ensamblaje viene acotado por la distancia de la ventana al soporte en los dos ejes X e Y y por la rotación de éste. Estas cotas normalmente se especifican por la distancia entre los ejes de simetría X e Y de la ventana y del soporte del sensor de lluvia con una tolerancia admisible. El ángulo formado por los ejes de simetría de la ventana y del soporte define la rotación del ensamblaje. Además, todos los puntos de contacto de la superficie del soporte con el parabrisas deben quedar totalmente planos, es decir, a la misma distancia del parabrisas. Todas estas especificaciones y tolerancias son necesarias para el buen funcionamiento del sensor de lluvia.

De la misma manera se exige una capacidad mínima de agarre del soporte al vidrio.

1.4.6 PROTECCIÓN DE LA VENTANA DEL SENSOR DE LLUVIA

Una vez ensamblado el soporte en el parabrisas se debe tapar la zona traslúcida o ventana sin serigrafía con un protector de plástico denominado "blister". Este protector evita que la zona tomada como muestra del parabrisas se manche o se depositen sustancias como polvo u otras partículas durante el tiempo que transcurra hasta el ensamblaje del parabrisas en la carrocería del automóvil, ya en la línea de producción del fabricante de coches.

1.4.7 EMBALAJE DEL PARABRISAS CON EL SOPORTE DEL SENSOR DE LLUVIA

Después del ensamblaje del soporte del sensor de lluvia y tras colocar el plástico protector, el parabrisas se deposita en un nuevo palet de destino. Los parabrisas de este palet permanecerán 8 horas inmovilizados hasta que el pur se haya secado y endurecido. Transcurrido este tiempo el palet podrá ser inyectado en la línea de producción del fabricante de vehículos.

Estas fases se repiten para cada uno de los parabrisas y de los soportes del sensor de lluvia.

1.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CLIENTE

1.5.1 DESIGNACIÓN DEL PRODUCTO

El cliente necesita una máquina para el ensamblaje de soportes metálicos de sensores de lluvia en los parabrisas.

El operario se encargará de desembalar el palet de origen y extraer de éste los parabrisas. Las tareas de limpieza y aplicación de líquido en el vidrio del parabrisas y en el soporte también serán realizados manualmente por los operarios.

La máquina debe permitir la alimentación manual del parabrisas y del soporte, ambos en condiciones óptimas para el ensamblaje. Para ello, la máquina debe constar de los elementos necesarios para llevar a cabo dichas operaciones, sin que ello provoque fatigas ni movimientos peligrosos para el operario y evitando la posibilidad de que el vidrio pueda dañarse al contactar con alguna superficie. Deben ser respetados y tenidos en cuenta los criterios ergonómicos.

El producto utilizado para el pegado del soporte a la cara interior del parabrisas será poliuretano. La máquina debe disponer de un sistema de bombeo del pur contenido en bidones y de la dosificación del mismo en el soporte del sensor. La fase de dosificación del soporte debe ser totalmente automática y repetitiva.

Del mismo modo la fase de ensamblaje del soporte, previamente encolado, en la cara interior del parabrisas también debe ser automática. En esta fase del proceso, debido a los decalajes (desplazamientos) de la serigrafía con respecto al canto del parabrisas, se debe localizar la posición de la ventana traslúcida o sin serigrafía y, a continuación, ensamblar el soporte según la posición encontrada y cumpliendo las tolerancias de ensamblaje especificadas.

Después del ensamblaje el operario extraerá manualmente el parabrisas de la máquina, sin que ello provoque fatigas ni movimientos peligrosos para él y evitando la posibilidad de que el parabrisas pueda dañarse al contactar con alguna superficie. El operario depositará el parabrisas en el palet de destino.

1.5.2 REQUISITOS TÉCNICOS

La función principal de la automatización es la de realizar el ensamblaje de los soportes en los parabrisas para el posterior montaje de los sensores de lluvia, ya en la línea de producción del fabricante de automóviles. A continuación, se detallan todos los requisitos y especificaciones técnicas que debe cumplir el ensamblaje y la dosificación del soporte del sensor de lluvia.

En la Figura 1.5 se muestra un plano acotado del soporte, del área de estudio real del sensor de lluvia y de la ventana sin serigrafía del parabrisas. Esta figura 2D corresponde a la posición final del soporte en la ventana traslúcida.

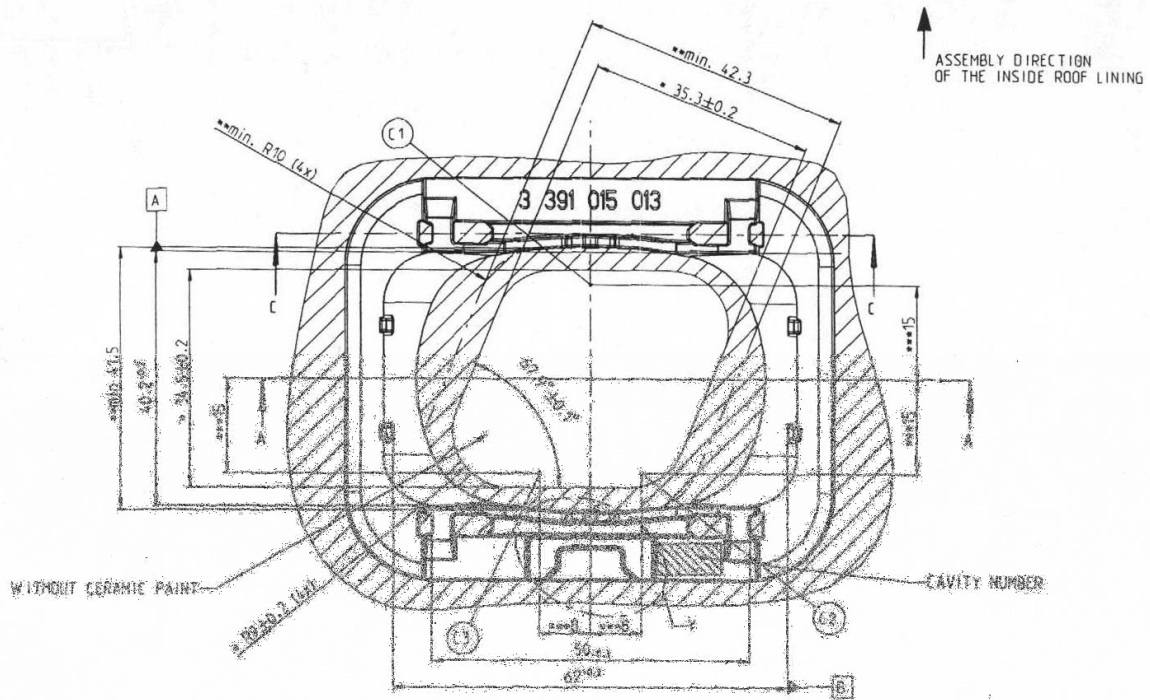


Figura 1.5 Plano del soporte del sensor de lluvia y ventana sin serigrafía

Como se puede observar en la Figura 1.5 existen acotaciones de todos los componentes:

- El soporte del sensor de lluvia corresponde a la pieza marcada con el número 3 391 015 013 y sus cotas no van acompañadas por ningún punto
- La ventana sin serigrafía del parabrisas corresponde a la figura del rombo horizontal con esquinas chaflanadas y de color interior blanco. Se indica con el nombre "without ceramic paint" que significa sin serigrafía y sus cotas van precedidas de un punto. La serigrafía se observa parcialmente y corresponde a la parte rayada
- El área real de estudio del sensor de lluvia no se encuentra acotada pero está dentro de la ventana sin serigrafía. No obstante se sabe que tiene un offset de 2,25 mm menor que la ventana sin serigrafía
- La línea discontinua punteada delimita la zona interior que debe quedar libre de pur y otras partículas para no afectar al funcionamiento del sensor de lluvia. Ésta zona representa un offset de 4,5 mm de la ventana sin serigrafía y sus cotas van precedidas por dos puntos

La Figura 1.5 permite conocer las dimensiones y tolerancias del área real de estudio tomada por el sensor de lluvia y las dimensiones del área de la ventana traslúcida o sin serigrafía del parabrisas.

La información relevante del ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en la ventana traslúcida del parabrisas se completa con la Figura 1.6.

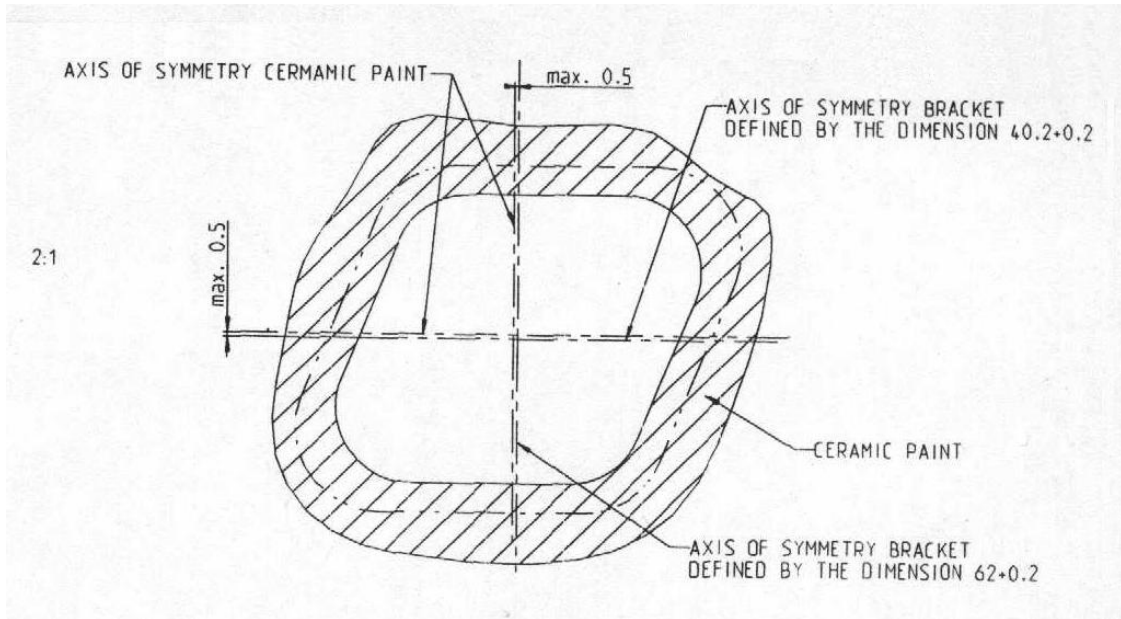


Figura 1.6 Tolerancia de posicionamiento del soporte del sensor de lluvia

La Figura 1.6 muestra, desde la cara interior del parabrisas, la máxima distancia permitida entre los ejes de simetría del soporte con respecto a los de la ventana sin serigrafía. Por tanto y según esta figura, la tolerancia de posición del ensamblaje del soporte respecto de la ventana es de $\pm 0,5$ mm y la tolerancia de rotación entre los ejes de simetría es de $\pm 3^\circ$ (este valor no aparece en la Figura 1.6).

Por lo que respecta a la dosificación de la superficie de contacto del soporte del sensor de lluvia también existen unas especificaciones bien definidas. Éstas se recogen en la Figura 1.7.

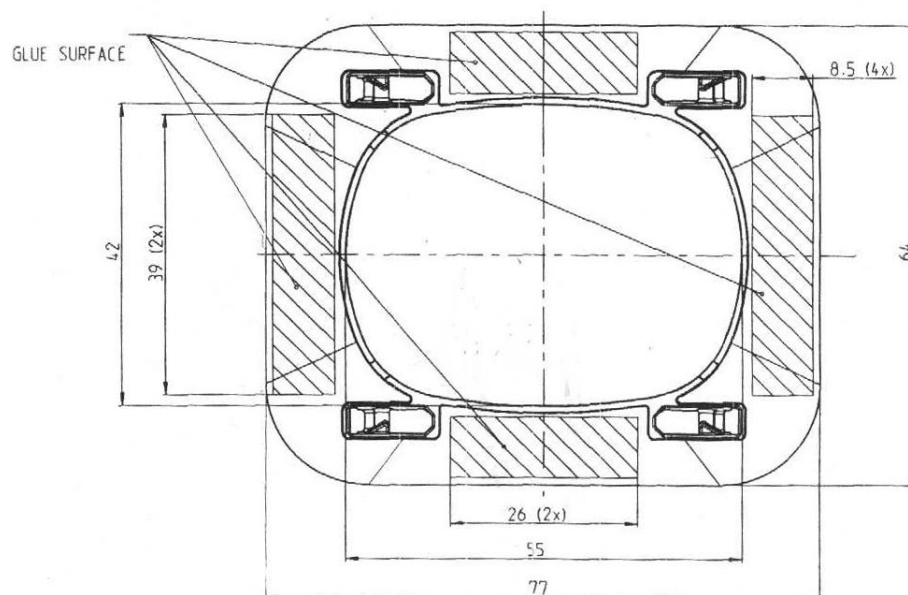


Figura 1.7 Especificaciones de la dosificación del soporte del sensor de lluvia

En ella se observan los rectángulos sombreados a rayas correspondientes a las tiras de pur que se deben dosificar en el soporte y la posición que éstas deben ocupar para que no haya rebose ni defecto de pur.

Para finalizar las especificaciones, se requiere producir un total de 900 parabrisas ensamblados con soporte al día, repartidos en 3 turnos de 7 horas cada uno durante 5 días a la semana como máximo. Esta previsión de producción es la necesaria para abastecer la línea de producción del fabricante de vehículos y alcanzar y conservar un stock de seguridad que permita hacer frente a averías y mantenimiento de la máquina. El tiempo necesario para el ensamblaje de los 900 parabrisas tiene que ser minimizado en lo posible.

1.5.3 VERIFICACIÓN DEL ENSAMBLAJE Y CONTROL DE CALIDAD

El operario de calidad realizará un control estadístico de calidad del ensamblaje de los soportes del sensor de lluvia en los parabrisas. Este control de calidad está formado por tres procedimientos de control, que según criterios estadísticos fijará el número de parabrisas a chequear, para verificar la posición, rotación y orientación del soporte en el vidrio, para comprobar la ausencia de pur y de cualquier otra partícula en el interior de la ventana sin serigrafía, y para determinar la resistencia al arranque del agarre del soporte al vidrio.

Como se exige unos requerimientos de ensamblaje en la posición del soporte respecto de la ventana traslúcida, el operario de calidad se encargará de verificar la presencia del soporte en el parabrisas y de comprobar la correcta localización de éste respecto de la ventana sin serigrafía mediante una plantilla o molde. Esta plantilla permitirá observar y comprobar la localización y centrado del soporte del sensor de lluvia respecto de la serigrafía. La plantilla estará realizada teniendo en cuenta la tolerancia de ensamblaje.

Tal y como se ha comentado anteriormente, se requiere mantener completamente limpia y sin restos de pur u otras partículas en el interior de la zona delimitada por la línea discontinua punteada, concretamente en la zona abarcada por un offset de 4,5 mm de la ventana sin serigrafía. El operario realizará un control visual de esta zona.

De la misma manera se exige una capacidad de agarre del soporte al parabrisas. Por tanto, el chequeo de calidad de resistencia al arranque pretende verificar el agarre del soporte del sensor al vidrio del parabrisas. Este control consistirá en medir la resistencia de arranque del soporte. Conociendo el aguante del soporte en kg se podrá verificar si cumple las especificaciones de sujeción. El objetivo es garantizar la colocación del sensor en la línea de producción del fabricante de coches sin que el soporte se desprenda del vidrio, con las graves consecuencias que supondría para el suministrador de parabrisas.

1.5.4 OTRAS OBSERVACIONES DEL CLIENTE

El cliente recomienda que todos aquellos utillajes o partes de ellos que estén en contacto con el vidrio sean materiales tales como duretex, murffel o similares que no produzcan desconchones, rayas o grietas en el vidrio.

De igual manera, las operaciones de manipulación manual de los parabrisas para la alimentación en la máquina o la extracción de la misma deben realizarse sin que ello provoque fatigas ni movimientos peligrosos para él y evitando la posibilidad de que el vidrio pueda dañarse al contactar con alguna superficie. Serán respetados y tenidos en cuenta los criterios ergonómicos.

El cliente suministrará el tipo de pur adecuado para la dosificación de los soportes. Éste será suministrado en bidones de 22 litros. El rango de temperatura óptimo para la dosificación del pur oscila entre los 30 y 35 °C.

La elección de la marca de todos aquellos dispositivos integrantes de la automatización debe ser consultada al cliente, siendo éste el que finalmente decida y fije un orden de predilección entre las marcas, motivado por criterios de conocimientos y formación de personal técnico y de mantenimiento. El cliente tan sólo fija de antemano la marca del autómatas y de la interfaz de usuario que han de ser de la marca SIEMENS y concretamente para el autómatas cualquier modelo de la familia S7-300.

Según el cliente, los tiempos empleados en la realización del proceso de forma manual para cada una de las fases del ensamblaje por soporte del sensor se recogen en la Tabla 1.1.

Nº	FASE DEL PROCESO	TIEMPO (s)
1	Desapilado del parabrisas	7
2	Tratamiento del parabrisas	17
3	Tratamiento del soporte	4
4	Dosificación del soporte	20
5	Ensamblaje del soporte	30
6	Protección de la ventana	4
7	Embalaje del parabrisas	12
-	Otros trabajos* o imprevistos	5
Total Tiempo Empleado		99

(*) Cambios de palet, control de calidad...

Tabla 1.1 Tiempo de ciclo para el proceso manual de ensamblaje

Debido a las dimensiones de los parabrisas, su manipulación requiere disponer de dos operarios. En caso de realizar un proceso de ensamblaje de forma totalmente manual, el tiempo necesario para ensamblar los soportes del sensor de lluvia en 900 parabrisas sería de 24,75 horas (89.100 segundos), lo que sumado con el tiempo de descanso de un operario durante 3 turnos resultarían un total de 27,75 horas (99.900 segundos). Por tanto, y como se dispone de 105 horas resultantes de 3 turnos de 7 horas durante 5 días a la semana, existe tiempo material suficiente para cumplir la producción de 900 parabrisas ensamblados con el soporte de sensor de lluvia. No obstante los ensamblajes realizados tendrían los siguientes aspectos:

- Posiblemente habría una gran cantidad de parabrisas con soportes ensamblados fuera de tolerancia
- Existirían posibles fallos en la colocación del soporte
- Posibles defectos por rebose o defecto de pur en el soporte
- La calidad de ensamblaje no sería la deseable
- Posible omisión del ensamblaje del soporte
- Tanto las fases de dosificación como la de ensamblaje no serían repetitivas
- La presión de ensamblaje sería totalmente subjetiva
- Los costes de mano de obra serían elevadísimos

Todos estos aspectos hacen imposible la realización manual de todo el proceso y obligan a la automatización de parte de él.

Según el cliente el tiempo de vida del vehículo y, por tanto, del parabrisas y como consecuencia de la automatización será de 7 años.

1.5.5 PETICIÓN DE LA OFERTA DE LA AUTOMATIZACIÓN POR PARTE DEL CLIENTE

El cliente formaliza la petición de oferta para el diseño y la construcción de una máquina capaz de realizar el proceso de dosificación y el ensamblaje de soportes del sensor de lluvia en los parabrisas de manera automática respetando las condiciones óptimas del poliuretano y cumpliendo las tolerancias dispuestas.

En esta oferta también se incluirá la realización y entrega de la documentación siguiente:

- Planos eléctricos y neumáticos indicando claramente las nomenclaturas eléctricas y neumáticas tanto en soporte papel como en soporte informático
- Listados de programa de todos aquellos dispositivos programables que forman la automatización
- Gamas de mantenimiento y frecuencia
- Listado de materiales comerciales eléctricos, neumáticos y mecánicos
- Certificación CE
- Listado de materiales de recambio para disponer en stock
- Manual de usuario
- Análisis de tiempos de ejecución
- Periodo de garantía de componentes y del conjunto

También se precisa la valoración de un periodo de prueba estimado en 1 semana para verificar el correcto funcionamiento de la máquina. Estas pruebas serán realizadas por personal del cliente quienes certificarán la capacidad de la máquina.

Del mismo modo se debe valorar los trabajos y desplazamientos derivados de la puesta en marcha de la máquina en la planta de destino especificado por el cliente y la formación de todo el personal utilizador.

1.6 PLANTEAMIENTO DE LA AUTOMATIZACIÓN

Tras diversas reuniones con el cliente, ya se ha recopilado toda la información y requerimientos referentes a la automatización. En este momento, ya es posible realizar el planteamiento de la misma identificando y valorando sus puntos críticos.

Finalmente, y en busca de la mayor satisfacción del cliente, se le expondrá la automatización para que éste la ratifique e indique todo aquello que observe mejorable o aplicable funcionalmente tanto a nivel de usuario como económico para obtener la solución definitiva.

También se va a definir qué elementos o componentes se emplearán en cada una de las fases de la aplicación automatizada.

Por tanto, se pretende automatizar las siguientes fases del proceso de ensamblaje:

- Dosificación del soporte del sensor de lluvia
- Ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en el parabrisas

1.6.1 PUNTOS CRÍTICOS

De todo lo comentado anteriormente se desprende que existen diversos puntos críticos en el proceso de ensamblaje. Éstos deben ser tenidos muy en cuenta y deben ser resueltos en la automatización para no comprometer su éxito y asegurar la capacidad del proceso. A continuación, se exponen los puntos críticos implícitos en el proceso de ensamblaje:

- El parabrisas presenta variaciones de la doble curvatura para un mismo modelo. La doble curvatura, puede tener unas tolerancias que varían entre 3 y 4 mm en los ejes X (longitudinal) e Y (transversal), es decir, la profundidad del parabrisas sufre variaciones. Este punto crítico se conoce como **coordenada Z o profundidad de ensamblaje**.
- El parabrisas presenta posibles decalajes o desplazamientos de serigrafía respecto del canto del vidrio para un mismo modelo, es decir, toda la serigrafía puede quedar desplazada respecto al contorno del vidrio en los ejes X (longitudinal) e Y (transversal). Por tanto, la ventana sin serigrafía tendrá un área en la que ésta se podrá encontrar. Este decalaje depende del modelo y su tolerancia suele ser menor de 2 mm. Este punto crítico se bautiza como **offset de posición de la ventana de serigrafía**.
- El sensor de lluvia requiere el cumplimiento de unas condiciones de posicionamiento, rotación y orientación con respecto a la ventana sin serigrafía para su buen funcionamiento. Por tanto, se debe asegurar en el ensamblaje que el soporte del sensor de lluvia quede en una posición concreta, centrada y bien orientada con respecto a la ventana sin serigrafía y con su superficie de contacto totalmente plana con respecto al vidrio. La tolerancia de posición del ensamblaje correspondiente a la distancia máxima permitida entre los ejes de simetría del soporte y los de la ventana sin serigrafía es de $\pm 0,5$ mm y la tolerancia de rotación entre los ejes de simetría es de $\pm 3^\circ$. Aquí se observan dos puntos críticos como son la **posición o punto de ensamblaje en los ejes X e Y y rotación**, y la **orientación del ensamblaje del soporte**.
- El pur requiere unas condiciones de temperatura determinadas para alcanzar las condiciones óptimas de ensamblaje. Este punto crítico se conoce como **condiciones de temperatura del pur**.

- La dosificación de pur en el soporte del sensor de lluvia requiere una cantidad y una posición determinada del poliuretano para garantizar un buen agarre del soporte al vidrio sin reboses de pur como consecuencia de exceso o defecto de éste o por un incorrecto depositado del mismo. Este punto crítico se denomina **regulación de la dosificación del pur** y ha sido detallado en el capítulo **1.4.4 Dosificación del soporte del sensor de lluvia**. Como resultado de la dosificación y ensamblaje del pur se exige una capacidad de agarre del soporte al vidrio.
- Una vez depositado el pur en la superficie de contacto del soporte con el vidrio, no pueden transcurrir más de 5 minutos sin haber realizado su ensamblaje. Transcurrido este tiempo el pur se endurece y pierde capacidad de pegado. Este punto crítico recibe el nombre de **tiempo máximo para el ensamblaje después de la dosificación del soporte**.

1.6.2 SOLUCIÓN

A continuación se detalla cómo se pretende realizar la automatización y cómo resolver los puntos críticos implícitos en el proceso.

1.6.2.1 Dosificación del soporte del sensor de lluvia

En la dosificación del soporte del sensor de lluvia se deben tener en cuenta los puntos críticos correspondientes a las **condiciones de temperatura del pur** y a la **regulación de la dosificación del pur** tanto en caudal como en posición de éste.

Por tanto la dosificación del soporte del sensor de lluvia requiere un circuito de pur que contenga un sistema de bombeo y uno de dosificación de pur, todo ello calefactado para mantener el poliuretano en las condiciones de temperatura adecuadas.

El circuito de pur se iniciará desde una bomba neumática estándar y comercial para bidones de pur de 22 litros. Ésta se encargará de extraer y bombear el pur del bidón con una presión variable.

A continuación y a través de una manguera calefactada se unirá a un regulador de masilla que se encargará de estabilizar la presión del pur proveniente de la bomba neumática.

Para controlar el caudal de pur durante la dosificación se utilizará una bomba de engranajes. Esta bomba de engranajes dispone de un eje para su accionamiento y cuya velocidad de giro es proporcional al caudal de pur de salida.

La bomba de engranajes se conectará a una válvula expendedora o dosificadora. Esta válvula expendedora tan sólo contiene una válvula neumática que cerrará o abrirá el circuito de pur. A su vez dispone de una boquilla por la que saldrá el pur.

La calefacción se realizará en tres tramos. Un primer tramo para la bomba neumática, un segundo tramo calefactado en la manguera de unión de la bomba neumática con el regulador de masilla y el último será para la válvula expendedora o dosificadora. Por tanto, se necesitarán tres reguladores de temperatura programables con visualizadores y sensores de temperatura que permitirán programar la temperatura a la que se desea mantener el pur en cada tramo. Además se visualizará la temperatura actual del pur en cada uno de los tramos.

Para el sistema de dosificación se requerirá un accionamiento que permita aplicar al eje de la bomba de engranajes una velocidad de giro y un par determinados para obtener el caudal de pur de dosificación óptimo.

No obstante, y también relacionado con la dosificación del pur se requerirá un utillaje que contenga el soporte del sensor y realice los movimientos del soporte necesarios para dosificarlo de pur, o bien que el soporte permanezca inmóvil y sea la boquilla dosificadora quien se desplace. Sea cual sea la solución adoptada se trata de un posicionamiento y seguimiento de una trayectoria que permita la dosificación del soporte con pur. Además, tanto la velocidad de la bomba de engranajes como la velocidad de movimientos del soporte deben ser ajustables a fin de poder controlar el caudal de pur durante la dosificación. Del mismo modo se requiere una precisión de movimientos y una repetibilidad buenas.

1.6.2.2 Ensamblaje del soporte del sensor de lluvia

Si se centra el estudio de la aplicación en el ensamblaje del soporte del sensor de lluvia, éste comporta los puntos críticos del **offset de posición de la ventana de serigrafía**, del **punto de ensamblaje en los ejes X e Y y rotación**, la **orientación del ensamblaje del soporte** y la **coordenada Z o profundidad de ensamblaje**.

Por tanto, se requerirá un utillaje capaz de ensamblar un soporte con una posición, rotación, orientación y profundidad variables para cada parabrisas. Además, las tolerancias de posición y rotación del ensamblaje del soporte de $\pm 0,5$ mm y $\pm 3^\circ$, respectivamente, resultan especialmente críticas y obligarán a que el utillaje sea de gran precisión. Si además, el punto de ensamblaje varía debido al offset de posición de la ventana de serigrafía, entonces el utillaje requerirá gran flexibilidad tanto en posicionamiento como en orientación. En definitiva el utillaje debe presentar 3 grados de libertad para posicionarse y 3 grados adicionales para orientar el soporte en el espacio.

El utillaje en cuestión podría realizarse con un bajo nivel tecnológico mediante la combinación de tres carros de precisión accionados neumáticos y limitados gracias a topes mecánicos, una rótula esférica daría los tres grados de libertad necesarios para orientar el soporte y un cilindro neumático con la carrera necesaria realizaría el ensamblaje en el vidrio. Este utillaje, además de ser rudimentario, sería poco robusto, de precisión y repetibilidad cuestionables, con un ajuste engorroso y largo, un mantenimiento continuado y dispondría de una flexibilidad muy reducida, tanta, que un leve cambio de posición de ensamblaje o incluso de profundidad o cambio en el nivel de ingeniería del parabrisas provocaría un cambio en el diseño del utillaje. Su coste de diseño y construcción no sería elevado, pero a la larga podría llegar a ser muy costoso.

Otra opción con un nivel tecnológico mayor sería la utilización de un robot industrial para el ensamblaje del soporte sensor. Además, éste también podría realizar la dosificación del mismo. Los robots permiten posicionar y orientar el soporte en el espacio mediante un elemento terminal o herramienta con una velocidad de movimientos adaptable.

La utilización de un robot como equipo principal de la aplicación requiere, previamente, un análisis económico para determinar de forma aproximada su viabilidad y rentabilidad. Este análisis se incluye en el capítulo 4 **PRESUPUESTO**. En él se realiza una simulación aproximada de los tiempos de ciclo de la aplicación del robot para poder compararlos con los tiempos de ciclo de un proceso manual y determinar la viabilidad y la rentabilidad del robot.

Debido a la dosificación del soporte, la precisión del ensamblaje y el número de soportes a ensamblar en los parabrisas al día, el elemento encargado de realizar esta tarea ha de ser un robot, ya que la realización manual de todos estos procesos

(tareas) no podría realizarse cumpliendo las especificaciones requeridas. Es imposible realizar manualmente la dosificación de los soportes y su correcto montaje en los parabrisas de forma precisa y repetitiva.

La vida del automóvil resulta determinante para justificar la inversión del robot y el tiempo de amortización del mismo. Pese a que el modelo de automóvil en cuestión tiene una vida prevista de 7 años, la inversión del robot está justificada por lo comentado anteriormente y al ser éste un equipo con una flexibilidad elevada, y cuya adaptación a un nuevo modelo sería bastante rápida.

Por tanto, se utilizará un robot para las fases de dosificación y ensamblaje del soporte del sensor de lluvia.

Otro de los puntos críticos es el **offset de posición de la ventana de serigrafía**. Por tanto, se requiere un sensor capaz de localizar con precisión esta ventana y comunicar su nueva posición al robot. Debido a las exigencias de precisión requeridas para el ensamblaje y la pequeña tolerancia admisible del mismo se utilizará un sistema de visión artificial industrial. Estos sistemas son capaces de localizar con precisión cualquier objeto y transmitir su posición a cualquier equipo.

Por lo que respecta a la **profundidad del ensamblaje** se requiere otro sensor capaz de localizar o bien avisar cuando el utillaje alcanza o está en contacto con la ventana de serigrafía del vidrio.

1.6.3 CICLO OPERATIVO

Tal y como se desprende del planteamiento de la automatización, cabe tener en cuenta cómo quedan las fases del proceso y qué operaciones se deben realizar en cada una de ellas para definir el ciclo operativo de la máquina. Éste permitirá, más adelante, calcular el tiempo de ciclo y el tiempo necesario para realizar la cantidad prevista de parabrisas a la semana.

El ciclo operativo del proceso de ensamblaje automatizado será el siguiente:

- Desapilado de los parabrisas
Se realizará de forma manual por medio de dos operarios quienes extraerán el parabrisas del palet de origen.
- Tratamiento del parabrisas
Se realizará de forma manual por medio de un operario el cual limpiará la zona de la ventana serigrafiada y le aplicará un producto para maximizar el agarre del ensamblaje. Una vez realizado, el operario colocará el parabrisas en un alojamiento con unos topes de apoyo especialmente dispuestos para ello en la máquina. Quedando el parabrisas en posición vertical.
- Tratamiento del soporte
Se realizará de forma manual por medio de un operario quien limpiará el soporte y le aplicará un producto para maximizar el agarre del ensamblaje. En esta fase también se realizará la fase de protección de la ventana, es decir, el operario colocará un “blister” en el soporte tratado. Por tanto las fases de tratamiento del soporte y protección de la ventana se realizarán a la vez. Finalmente, el operario colocará el soporte en un presentador, el cual acomodará el soporte del sensor de lluvia en un alojamiento especialmente diseñado para ello. Este presentador dispondrá de una función Poka Yoke (anti-error) mediante sensores fotoeléctricos con el fin de detectar la presencia del soporte y verificar su correcta posición.

○ Dosificación y ensamblaje del soporte

En este momento si se dan las condiciones necesarias para el ensamblaje y mediante el accionamiento de los pulsadores de inicio de ciclo, se producirá el siguiente procedimiento automático:

- Focalización del parabrisas para mantenerlo fijado y en una orientación concreta
- El robot recogerá el soporte del alojamiento del presentador
- El robot se dirigirá a la zona de dosificación. Se posicionará debajo de la boquilla de la válvula dosificadora de pur y se producirá la dosificación de pur del soporte sobre la superficie de contacto de éste con el parabrisas
- Localización de la ventana sin serigrafía por parte del sistema de visión artificial y transferencia de las coordenadas de posición y rotación de la ventana al robot
- Ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en la ventana sin serigrafía
- Alejamiento del robot de la zona de ensamblaje y retornará a la posición de "home"
- Desfocalización del parabrisas

○ Extracción del parabrisas con soporte del sensor de lluvia ensamblado y embalaje del parabrisas en el palet de producto acabado

Una vez ensamblado el soporte del sensor de lluvia se señalará la finalización del proceso y será entonces cuando los operarios retiren el parabrisas de la máquina.

2 CRITERIOS Y CÁLCULOS PARA LA ELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA AUTOMATIZACIÓN

En este capítulo se estudian los componentes necesarios para resolver la automatización, así como su integración dentro de ella.

Los componentes o dispositivos que tomarán parte en la automatización son:

- Robot y controlador
Con él se pretende recoger el soporte del sensor de lluvia, posicionarlo y orientarlo en el espacio para realizar con éxito su dosificación de pur y su ensamblaje en el parabrisas
- Sistema de visión artificial industrial
Su función será la de localizar la ventana sin serigrafía del parabrisas y transmitir su ubicación al robot para que éste realiza el ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en la posición correcta
- Autómata o PLC
Realizará y controlará la secuencia automática del proceso mediante el control, procesamiento y supervisión de las señales de entradas/salidas de todos los otros componentes o dispositivos integrantes de la automatización
- Eje dosificador de pur o bomba de engranajes
Mediante él se pretende realizar con éxito la dosificación del soporte del sensor de lluvia
- Interfaz de usuario
A través de éste se pretende controlar el proceso de dosificación y ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en parabrisas de automóviles mediante la modificación y visualización de los parámetros del proceso

Entonces la automatización del proceso de ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en parabrisas de automóviles se compone de una aplicación de robótica, una aplicación de visión artificial industrial, una aplicación de automatización y una aplicación de control de ejes de movimiento.

En los sucesivos capítulos se tratan los criterios y cálculos para la selección y elección final de todos los componentes o dispositivos mencionados anteriormente.

Al inicio de cada capítulo se realiza una introducción explicativa del componente o dispositivo. A continuación se ofrecen las características técnicas de cada uno de ellos a tener en cuenta para su aplicación general (precedidas del símbolo de numeración “➤”), es decir, en cualquier tipo de aplicación. Seguidamente se cuantifican y argumentan estas características para la aplicación particular de cada componente (precedidas del símbolo de numeración “✓”) que integran la automatización del proceso de ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en parabrisas de automóviles.

2.1 ROBOT Y CONTROLADOR

En este apartado se realiza un estudio en profundidad de los robots, detallando sus características más importantes. También se establecen los criterios de selección y las características que debe cumplir el robot para adecuarse a las necesidades de la automatización, comentadas en el capítulo anterior. Una vez conocidas, se realiza un análisis exhaustivo de la oferta de robots existente en el mercado actual en búsqueda del robot deseado y que resulte más idóneo para la automatización.

2.1.1 DEFINICIÓN

Un robot es un tipo de manipulador reprogramable y multifuncional. Puede estar fijo en un sitio o moverse y está diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales mediante movimientos variables preprogramados para realizar diversas tareas o trabajos, según define el Instituto Americano de la Robótica (AIR).

El robot está formado por los siguientes dispositivos:

- Brazo manipulador: es una cadena cinemática formada por diversos elementos rígidos o eslabones, conectados entre sí mediante articulaciones. Las articulaciones proporcionan un movimiento de un elemento respecto de otro. El objetivo es posicionar y orientar el elemento terminal o herramienta de trabajo en el espacio.
- Actuadores: proporcionan el movimiento a través de las articulaciones. Éstas pueden ser prismáticas o rotativas. Los movimientos de las articulaciones del robot son generados por servomotores brushless AC o DC. Cada uno de estos servomotores suele estar equipado con freno y las articulaciones suelen disponer de uno o dos topes mecánicos.
- Sensores: informan sobre el estado del manipulador. Según su ubicación en el robot se clasifican en:
 - Internos: miden la posición de los actuadores, sirven para hacer la realimentación y están incluidos en el robot. Normalmente son codificadores o resolvers.
 - Externos: dan información del entorno del robot, pueden ser detectores de presencia o cámaras de visión artificial
- Controlador: es un dispositivo imprescindible para el funcionamiento de cualquier robot. El controlador del robot está basado en uno o varios microcontroladores que se encargan de realizar el control y la supervisión del movimiento del mismo. Tiene implementada la cinemática directa e inversa. Además disponen de otras funciones extras que facilitan la integración de los robots en sistemas automatizados.

2.1.2 CONFIGURACIONES

Según el número de articulaciones que forman un robot, éste presenta unos grados de libertad determinados. En los robots, los grados de libertad corresponden a cada uno de los movimientos independientes que puede realizar cada una de las articulaciones respecto de la anterior. Generalmente tienen 5 o 6 grados de libertad, de ellos, los ejes 1º, 2º y 3º tienen la función de posicionar y corresponden al brazo, los restantes ejes 4º, 5º y 6º permiten la orientación del elemento terminal o herramienta de trabajo que realiza la tarea y corresponden a la mano. Las articulaciones que se usan en los robots son prismáticas, las cuales permiten movimientos lineales, y/o rotativas, que permiten movimientos rotacionales.

Los robots presentan diferentes configuraciones dependiendo de la combinación de las articulaciones prismáticas (P) y/o rotativas (R) correspondientes a los tres primeros ejes. A continuación se detallan todas las configuraciones:

- Cartesiana (PPP): consiste en tres articulaciones prismáticas ortogonales entre sí. Realiza movimientos rectilíneos sobre los ejes de coordenadas estándares, resultando un control sencillo. Su volumen de trabajo es un cuadrado. Presenta una rigidez estructural que repercute en un menor peso soportado por cada eje, una buena repetibilidad y poca maniobrabilidad. Es un robot diseñado para trabajar en planos horizontales paralelos y se utiliza en aplicaciones de manipulación de materiales y de montaje que exigen más precisión que flexibilidad (habilidad de llegar a cualquier punto, en posición y orientación, en el área de trabajo).
- Cilíndrica (RPP): está formado por una base con articulación rotacional y dos articulaciones prismáticas. Realiza unos movimientos en coordenadas polares. Su volumen de trabajo es un cilindro. Presenta una buena rigidez estructural y la precisión disminuye a medida que aumenta el radio, debido a la inercia. Permite acceder a cavidades horizontales.
- Esférica (RPR): dispone de dos articulaciones rotativas intercaladas por una prismática. Su volumen de trabajo equivale a una esfera. Presenta una estructura mecánica más compleja que las anteriores y con menos rigidez. Está indicada, especialmente, para manipular objetos pesados, incluso, por encima de él.
- Scara (RRP): dispone de dos articulaciones rotativas y una prismática. Sus iniciales corresponden a brazo robot de ensamblaje con docilidad selectiva ("Selective Compliance Assembly Robot Arm"). Su volumen de trabajo es un cilindro. Presenta una velocidad muy elevada de movimientos al tener sus ejes de rotación paralelos. También se caracteriza por tener su rigidez vertical y docilidad en el plano horizontal. Su precisión disminuye a medida que aumenta el radio, debido a la inercia. Es útil para aplicaciones de inserción de componentes.
- Rotatoria o de brazo articulado (RRR): consiste en segmentos o miembros interconectados todos ellos por articulaciones rotativas. Cada articulación comprende un eje sobre el cual pivotan dos miembros. Es la configuración más flexible y adaptable. Se utiliza extensivamente cuando no se requiere un alto grado de precisión y para la manipulación de objetos pesados.

Generalmente este tipo de robot tiene entre 4 y 6 ejes o grados de libertad. En el caso de los robots de 6 ejes, éstos se designan de la siguiente manera:

- la base ("base") del robot corresponde al 1º eje
- el hombro ("shoulder") del robot corresponde al 2º eje
- el brazo ("arm") del robot corresponde al 3º eje

- el codo (“elbow”) del robot corresponde al 4º eje
- el antebrazo (“forearm”) del robot corresponde al 5º eje
- la muñeca (“wrist”) del robot corresponde al 6º eje

Por tanto, el robot contiene la motorización, los frenos, la transmisión mecánica y la canalización de cables tanto de circuitos eléctricos como neumáticos. Debido a una estructura robusta y un ensamblaje fiable de todos los componentes del robot y gracias al sistema de medida asociado, se puede conocer en todo momento la posición absoluta del robot con precisión. El robot es suficientemente flexible y capaz de realizar una gran variedad de aplicaciones.

2.1.3 CONCEPTOS BÁSICOS

Los robots presentan las siguientes características:

- Capacidad de movimiento.
 - Área de trabajo: o campo de acción es el volumen espacial abarcable por el robot. Este volumen o curvas depende de:
 - estructura mecánica del robot
 - número de ejes
 - tamaño, forma y tipo de los eslabones que integran la cadena cinemática
 - limitaciones de las articulaciones impuestas por el sistema de control

Normalmente esta información se indica mediante dibujos acotados de las curvas descritas por las trayectorias alcanzables por el centro del 5º eje del robot, por tanto, no se incluye el elemento terminal o herramienta ya que es un elemento añadido al robot, o bien numéricamente mediante el rango de recorrido de cada una de las articulaciones.

Que el robot pueda acceder a toda el área de trabajo no significa que lo pueda hacer con cualquier orientación. Existirán un número de puntos, lo más alejados, y los más cercanos, que únicamente son accesibles con unas orientaciones determinadas, mientras que otros admitirán cualquier orientación.

Se ha de tener en cuenta también la posible existencia de los denominados puntos singulares. Se trata de puntos con determinada orientación en el espacio sobre los que, por ejemplo, no es posible realizar una trayectoria rectilínea, bien sea porque su ejecución implicaría el movimiento a velocidad infinita de uno de los ejes, bien sea porque el valor de los ejes en ese punto con esa orientación se encuentre indeterminado.

- Grados de Libertad (GDL): corresponden a cada uno de los movimientos independientes que puede realizar cada una de las articulaciones respecto de la anterior. Los GDL con los que cuenta un robot determina:
 - Accesibilidad: tiene en cuenta la capacidad de orientar el elemento terminal o herramienta del robot
 - Maniobrabilidad: se obtiene gracias a los grados de libertad redundantes. Permiten evitar obstáculos o acceder a lugares complejos

Es relativamente frecuente que los GDL de los robots comerciales coincida con el número de articulaciones, es decir, que cada articulación represente un GDL. Los grados de libertad requeridos en un robot dependen del tipo de aplicación. Así, en muchas operaciones de manipulación, los objetos se recogen y se depositan en planos horizontales. En estos casos, un robot con 3 GDL para posicionar, y a lo sumo, uno más para orientar (giro en torno a un

eje vertical) es suficiente. Sin embargo, en otras aplicaciones es preciso orientar la herramienta del robot en el espacio o acceder a posiciones complicadas, siendo precisos 6 o más grados de libertad.

Con cierta frecuencia los fabricantes de robots proporcionan un número determinado de GDL ampliables en 1 ó 2 de manera opcional. Este grado extra se añade al robot en unos casos en su extremo y en otros en su base o bien externo al mismo. En general, cabe considerar que el aumento de los GDL del robot comporta un considerable aumento su coste. En ocasiones, éste puede suplirse con el empleo de un utillaje apropiado y con el rediseño de las piezas que entran a formar parte de la instalación. De este modo, en tareas en las que es preciso acceder a piezas grandes o complejas, éstas pueden ir montadas sobre mesas posicionadoras u orientadoras, indexadas o continuas, controladas de manera sincronizada con el robot. En cualquier caso y para tareas muy específicas, se pueden desarrollar robots con más de 6 GDL como configuración básica. Se suele denominar robots redundantes, aunque esta terminología se aplica de forma más específica a aquellos robots que poseen más GDL que los que implica la tarea que realizan, independientemente de cuál sea el número de los mismos. En la actualidad los valores típicos del número de GDL varían entre 3 y 6.

- Precisión del movimiento: las ventajas del robot frente a otras máquinas en muchas de las aplicaciones se basan en la flexibilidad, la velocidad y el bajo error de posicionamiento con el que realiza su trabajo. Para definir este error se debe tener en cuenta los tres siguientes conceptos complementarios entre sí:
 - Resolución: mínimo incremento de movimiento que puede generar o aceptar la unidad de control del robot. Su valor está limitado por la resolución de los sensores de posición y convertidores D/A y A/D, por el número de bits con los que se realizan las operaciones aritméticas en la CPU y por los elementos motrices, si estos son discretos (motores paso a paso, sistemas neumáticos todo o nada, etc.).
 - Precisión: distancia entre el punto programado (normalmente de manera textual) y el valor medio de los puntos realmente alcanzados al repetir el movimiento varias veces con carga y temperatura nominales. Su origen se debe a errores en la calibración del robot, deformación de origen térmico y dinámico, errores de redondeo en el cálculo de la transformación cinemática (especialmente en la cercanía de puntos singulares), errores entre las dimensiones reales y teóricas del robot, etc.
 - Repetibilidad: radio de esfera que abarca los puntos alcanzados por el robot tras suficientes movimientos, al ordenarle ir al mismo punto de destino programado, con condiciones de carga, velocidad, temperatura, etc., iguales (normalmente se considera la banda que abarca el 99% de los puntos respecto a la medida). El error de repetibilidad es debido fundamentalmente a problemas en el sistema mecánico de transmisión como rozamientos, histéresis, zonas muertas (juego angular o "backlash"). El error de repetibilidad tiene especial importancia en aquellos robots que son programados por aprendizaje, pues entonces no afectan los debidos a la resolución ni precisión. Los valores normales de error de repetibilidad de robots industriales comerciales varían entre los $\pm 0,02$ mm y ± 1 mm.

En la Figura 2.1 se puede observar gráficamente los conceptos de resolución, precisión y repetibilidad.

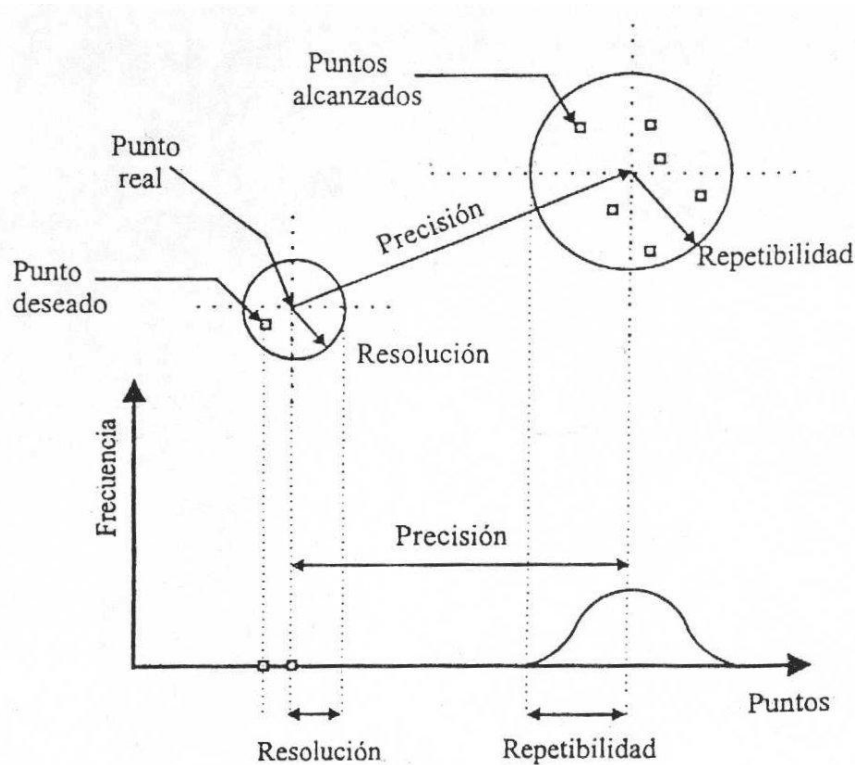


Figura 2.1 Visualización de los conceptos de resolución, precisión y repetibilidad

De entre los tres, el dato normalmente suministrado por los fabricantes es el de repetibilidad y éste es el utilizado a la hora de seleccionar un robot u otro por su exactitud. En la precisión de movimiento también afecta:

- Docilidad (“compílanse”): capacidad de flexión del robot debido a fuerzas externas. Resulta muy útil en las aplicaciones de inserción de componentes.
- o Dinámicas
 - Capacidad de carga: al evaluar la carga a manipular por el robot debe considerarse el peso de las piezas y el propio peso de la herramienta o elemento terminal con las que se manipulan, que en muchas veces es superior a la pieza. Los fabricantes proporcionan gráficas en las que se indican la creciente disminución de la posible carga manipulable a medida que el centro de gravedad de la misma se aleja del centro de la muñeca. Cabe diferenciar los dos tipos de carga existentes para los robots. La nominal se refiere a la máxima carga, que el robot es capaz de manipular, que cumple las especificaciones de repetibilidad del robot. Mientras que la carga máxima es aquella que ya no cumple con las especificaciones de repetibilidad y corresponde a la carga máxima que la estructura mecánica del robot es capaz de soportar. También existe la carga adicional aplicable al robot, es aquella que se sitúa en los ejes 2º a 4º eje sin que añada mucha inercia y sin afectar la repetibilidad. La capacidad de carga de un robot depende de:
 - las dimensiones del robot
 - la configuración del robot
 - la construcción del robot
 - los actuadores y las transmisiones
 - Velocidad: es inversamente proporcional a la carga que transporta el robot. El valor de la velocidad nominal de movimiento de un robot es un dato relevante para el cálculo de los tiempos de ciclo, sobre todo en robots destinados a tareas de manipulación o ensamblaje. No obstante, hay que considerar que el

dato proporcionado por el fabricante normalmente corresponde a la velocidad nominal en régimen permanente. Ésta puede ser expresada en:

- velocidad en función de diferentes cargas
- velocidad de cada una de las articulaciones
- velocidad nominal del elemento terminal o herramienta del robot
- tiempo de ciclo (“Pick & Place”)

La velocidad depende de la aceleración, por tanto para trayectorias cortas es posible que no se alcance debido al poco tiempo que se dispone.

- Estabilidad: la respuesta temporal transitoria del robot debe ser sobreamortiguada.

2.1.4 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Para realizar la selección del robot, en primer lugar, cabe conocer la aplicación, sus objetivos y requerimientos, y determinar en función de estos las características principales que debe cumplir el robot.

Estas características principales que permiten determinar el robot necesario para cualquier aplicación, teniendo en cuenta lo comentado en este capítulo, son:

- la configuración del robot dependiendo del tipo de aplicaciones
- el número de ejes o grados de libertad del robot
- las aplicaciones para las que el robot ha sido diseñado
- la carga nominal (en kilogramos) que el robot es capaz de manipular y carga adicional aplicable
- el alcance (en milímetros, normalmente es la distancia máxima del centro de la base del manipulador al centro del 5º eje, para uno de seis ejes) y área de trabajo del robot. Ésta última debe permitir que el robot llegue a todos los puntos para llevar a cabo su tarea
- la repetibilidad del robot (en milímetros)
- las comunicaciones
- el coste del robot y controlador

En los catálogos de robots los fabricantes proporcionan valores de las prestaciones de sus productos. Estos valores están con frecuencia medidos en condiciones óptimas, diferentes de las reales; no obstante, sirven como medida comparativa para la selección del robot. Por otra parte, aunque hasta el momento no existe una homologación oficial para los robots industriales que garanticen la veracidad de los datos de catálogo, si existen laboratorios con acreditado renombre en los que se realizan una serie de pruebas orientadas a cuantificar las características de los robots con elevada exactitud. Este es el caso del instituto alemán IPA de Stturgart.

Tal como se ha expuesto en el capítulo anterior, conociendo el tipo de aplicación de robótica de la automatización, las fases y características del proceso de ensamblaje, el peso de la herramienta y del soporte del sensor de lluvia, y la tolerancia admisible en el ensamblaje, ya se puede escoger el robot más adecuado de cada marca. Así, las características principales que debe cumplir el robot para la aplicación de robótica de la automatización son:

- ✓ Robot de brazo articulado, ya que es el más apto para aplicaciones de ensamblaje de componentes en cualquier posición y orientación en el espacio. Además, es la configuración de robot más comercializada en la actualidad con una amplia gama a nivel mundial.

- ✓ Como se requieren diferentes posicionamientos y orientaciones del soporte en las zonas de alimentación, de dosificación y ensamblaje, son necesarios 6 ejes o grados de libertad, tres para posicionar y tres más para orientar la herramienta del soporte en el espacio.
- ✓ Tiene que ser apto para aplicaciones de ensamblaje.
- ✓ Capaz de manipular cargas nominales desde 3 hasta 6 kg de peso como máximo ya que el peso del sensor de lluvia es de 35,55 gramos y el de la herramienta alcanza los 2,75 kg. La capacidad de carga óptima sería de unos 4 o 5 kg de peso. No se requiere ninguna carga adicional aplicable al robot.
- ✓ Debido a la distancia de la base del robot a las zonas de alimentación de soportes, dosificación y al punto de ensamblaje, por motivos de diseño mecánico de la aplicación y para favorecer la maniobrabilidad y la accesibilidad del robot, el alcance necesario debe ser de entre 500 y 1000 mm, siendo el óptimo alrededor de 750 mm.
- ✓ Con una repetibilidad muy buena debido a las tolerancias exigidas en la posición de ensamblaje del soporte respecto a la ventana sin serigrafía del parabrisas. Como esta tolerancia es de $\pm 0,05$ mm se considera una repetibilidad del robot aceptable siempre que sea inferior a 0,15 mm.
- ✓ Comunicación vía serie o Ethernet para recibir los datos de posicionamiento de la ventana sin serigrafía del parabrisas, enviados por el sistema de visión artificial industrial.
- ✓ En la mayoría de veces siempre se escoge el que tiene menor coste. En cualquier otro caso, es el cliente final el que recomienda una marca concreta debido a criterios de formación de su personal de mantenimiento de los robots.

A continuación se detalla un estudio de los robots existentes en el mercado actual. De entre todas las marcas de robots más conocidos a nivel mundial se han escogido las que tienen más presencia en Europa. Éstas son: ABB, KUKA, FANUC, REIS, MOTOMAN, STÄUBLI y MITSUBISHI ELECTRIC.

En primer lugar se realiza una pequeña introducción acerca de estos fabricantes y distribuidores de robots. En ella se tienen en cuenta aspectos tan diversos como:

- origen de la empresa
- posición actual en el mercado
- productos que comercializa
- años de experiencia en el sector
- gama de robots que fabrica y distribuye según ejes, capacidad de carga y aplicaciones
- variedad de aplicaciones para las que están destinados
- situación de sus sedes de representación más cercanas en la península
- servicios de asesoramiento comercial, técnico e incluso de mantenimiento

Posteriormente, se realiza una selección de robots que cumplen las características principales especificadas anteriormente entre la gama de robots que ofrece cada fabricante.

Una vez seleccionados los robots se exponen otras características también importantes de cada uno de ellos, tanto mecánicas (área de trabajo, alcance, transmisión, peso, montaje...) como electrónicas (accionamientos, motores, frenos, E/S...). También se han detallado las prestaciones de hardware (alimentación,

potencia, ejes controlables, microcontroladores, memoria, lenguaje de programación, E/S, buses de campo, comunicaciones, consola de programación, rango de trabajo de temperatura y humedad,...) y de software (entornos de programación y simulación) de cada uno de los controladores utilizados para el control de los robots seleccionados.

Al final de este apartado se ha realizado una tabla comparativa con las características más importantes de estos robots seleccionados, tanto de los robots como de sus controladores o unidades de control y consolas de programación. Esta tabla, a modo de resumen, ofrece una visión objetiva que permite comparar cada uno de los modelos, con el fin de facilitar la elección final del robot que se utilice en la aplicación de robótica de la automatización del proceso de ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en parabrisas de automóviles. Si bien es cierto que también se tienen en cuenta otros aspectos que no son meramente las prestaciones técnicas de los equipos, como pueden ser:

- el precio y las condiciones de pago
- el plazo de entrega
- la cercanía del suministrador tanto del lugar de montaje como en la del cliente final
- los cursos de formación y la disponibilidad de soporte técnico durante la fase de programación
- la infraestructura ofrecida para el mantenimiento durante la fase de producción de la aplicación de robótica

Finalmente se argumenta la elección del robot teniendo en cuenta todo lo comentado anteriormente. También cabe resaltar en la elección la importancia de la compatibilidad del robot con el resto de componentes que integran la automatización.

2.1.5 ROBOT Y CONTROLADOR KUKA



fue fundada en Oberhausen Alemania en 1898. Las siglas de la compañía provienen de las iniciales de sus fundadores Keller und Knappich Augsburg. Inicialmente la empresa se dedicó a la producción de alumbrados domésticos y municipales, dispositivos caseros y faros para automóviles. En 1918 inició la producción de tornos operados manualmente y tornos eléctricos con regulador de freno automático. La amplia experiencia tecnológica obtenida por KUKA, combinada con la demanda de la industria automovilística culminó en 1973 con el desarrollo de su primer robot llamado Famulus (Figura 2.2), el cual constituyó el primer robot de seis ejes accionados electromecánicamente.

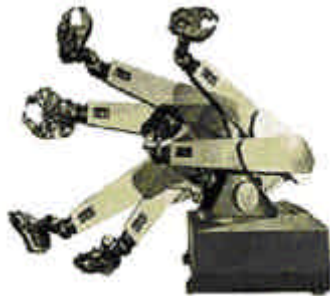


Figura 2.2 Famulus

En la actualidad esta firma comercializa una amplia gama de robots formada por dos series:

- o la serie KR incluye robots de brazo articulado de 4 y 6 ejes capaces de manipular cargas de 3 a 500 kg
- o la serie KL está formada por robots de brazo articulado de 6 ejes montados sobre un eje lineal capaces de manipular cargas de 250 a 1500 kg

Los robots KUKA son aplicados en sectores industriales tales como los de la electrónica recreativa, de telecomunicaciones, automoción, química, de máquinas, del plástico, de la cerámica y de la fundición, de la cosmética y farmacéuticos, de la madera y del mueble, y de la alimentación.

KUKA tiene representación en la mayoría de países de la Unión Europea, en Estados Unidos y en algunos de Asia. La representación de KUKA en España es KUKA Sistemas de Automatización, S.A. con sede en Vilanova i La Geltrú (Barcelona).

Dentro de la gama de robots KUKA, el robot que cumple las características especificadas que más se adecuan a las necesidades de la aplicación de robótica de la automatización es el KR 3. Es un robot industrial de brazo articulado con 6 ejes para aplicaciones de carga ligera que requieran movimientos en planos con cualquier inclinación y orientación hasta un alcance máximo de 635 mm.

Está diseñado para una carga nominal de 6 kg de peso con una repetibilidad de $\pm 0,05$ mm. El KR 3 proporciona una combinación poderosa de automatización flexible de alta velocidad, fiabilidad y fácil manejo.

El robot tiene un peso de 53 kg y puede ser montado en suelo o invertido. El grado de estanqueidad de serie es IP54 permitiendo un amplio campo de usos.



Figura 2.3 Robot KR3

Las aplicaciones industriales típicas en las que se usa el KR 3 son: alimentación de máquinas, chequeo de productos, manipulación, ensamblaje, soldadura por arco, pulido, lijado y desbarbado e incluso pintado.

En la Figura 2.4 se muestra el área de trabajo abarcado por el KR 3, el alcance máximo desde el centro de la base hasta el 5º eje y el rango de giro de cada eje.

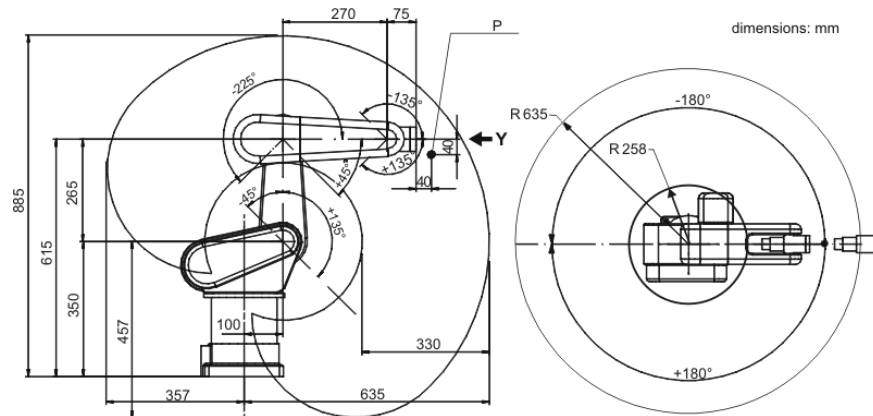


Figura 2.4 Área de trabajo del robot KR 3

El rango de giro de cada eje está limitado mediante topes mecánicos preajustados de fábrica. Este área de trabajo del robot puede ser limitado mediante software para cada uno de los ejes.

La Figura 2.5 muestra las curvas de carga soportada por el TCP (Tool Center Point) del KR 3 respecto del centro de gravedad de la carga.

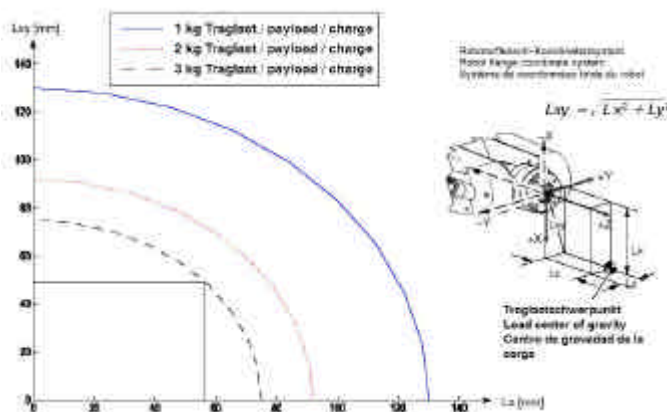


Figura 2.5 Curvas de carga del robot KR 3

Además de la carga manipulada por el robot, también es capaz de soportar una carga adicional de 0,5 kg en el 3º eje.

Los servomotores brushless DC y la alta robustez de la transmisión “harmonic drive” empleado en el KR 3 hacen de él, uno de los más rápidos y duraderos robots de esta clase. Es capaz de alcanzar unas velocidades angulares de hasta 375 °/s. Todos los ejes del robot tienen freno a excepción del 4º y 6º eje.

Dispone de codificadores absolutos de 2048 pasos por vuelta en cada eje, permitiendo conservar la información de posición y haciendo posible que el robot esté listo para su funcionamiento pocos segundos después del arranque. Los parámetros de posición del robot pueden ser mantenidos en memoria hasta 2 meses, incluso cuando él y el controlador estén desconectados. La remasterización solamente es requerida después de un prolongado periodo de desconexión del sistema del robot.

Un completo e integrado servocontrol localizado en el interior del robot proporciona al KR3 inmunidad frente a radiaciones electromagnéticas externas. Este diseño interno también permite que el controlador tenga un tamaño más pequeño, y reduce la complejidad del cableado del robot.

Este robot incorpora un conector eléctrico con 4 entradas y 4 salidas digitales en el 3^{er} eje. Por el contrario, no posee ninguna electroválvula interna.

El robot KR 3 es el robot más pequeño de KUKA. El siguiente dentro de su gama es el KR 6. Este otro robot también es de brazo articulado, de 6 ejes y apto para las mismas aplicaciones pero permite manipular cargas de hasta 6 kg con un alcance máximo de 1611 mm, permitiendo además una carga suplementaria de 10 kg sobre el 3^{er} eje. La repetibilidad que ofrece es de $\pm 0,1$ mm. Se trata de un robot mucho más voluminoso, con unos brazos mucho más largos y de mayor peso (235 kg) que el KR 3, por tanto permite una menor maniobrabilidad para espacios reducidos. Por este motivo y por sobrepasar el alcance máximo exigido en la aplicación además de tener una repetibilidad peor que el KR 3, el robot KR 6 ha sido descartado para la aplicación. En cambio, el KR 3 es el robot escogido de la marca KUKA.



Figura 2.6 Robot KR 6

Los robots KUKA están equipados con el armario de control KR C2. El sistema de control y la potencia electrónica están integrados en este armario de control versátil y de fácil manejo, con unas dimensiones de 485x460x310 mm y con un peso total de 185 kg. El controlador KR C2 posee un potente sistema de control para los 6 ejes del robot y para 2 ejes auxiliares externos integrables de manera opcional.

Tiene una potencia de 7,3 kVA y una alimentación trifásica de 400 V con un rango de frecuencia admisible de 49 a 61 Hz. El controlador contiene el computador y la unidad de alimentación.



Figura 2.7 Controlador KR C2

El computador comprende la consola de programación y el hardware propio de un PC estándar con un procesador Pentium o equivalente, un disco duro de 6,4 GB y un software con una interfaz de usuario bajo Windows 95.

La unidad de alimentación incluye la alimentación de los componentes, accionamientos de los servomotores y todos los contactores y relés requeridos para la conexión lógica.

La alimentación se suministra a los accionamientos de los servomotores a través de módulos individuales KSD de KUKA. Estos a su vez están alimentados por los KPS (bloques de alimentación) y controlados vía DSE-IBS (servo electrónica digital con interfaz Interbus).

El lenguaje de programación utilizado en los controladores KUKA es el KRL. Este controlador permite realizar un backup de todo el sistema incluyendo software, programas y datos en una memoria compact flash de 64 MB.

El KR C2 incorpora funciones básicas de movimiento del robot que, mediante el sistema de control, permite generar trayectorias punto a punto (PTP), movimientos lineales y circulares, cubriendo de este modo una amplia gama de aplicaciones desde las tareas más simples hasta las más complejas como: ensamblaje, manipulación, soldadura por punto, soldadura por arco, dosificación, manejo, paletizado, pulido, corte y soldadura por láser, y corte por agua.

Por otro lado, también dispone de numerosas funciones especiales que proporcionan la capacidad de controlar la periferia del robot de una manera eficaz, simple y rentable. Posee dos puertos RS232, un RS485 y un puerto Ethernet. El controlador dispone, de manera opcional, de varios buses de campo para el control de entradas/salidas distribuidas como DeviceNet, CAN e Interbus-S. El número máximo de entradas/salidas es de 512/512. Estas entradas/salidas pueden ser digitales DC y AC, transistor o relé (salidas), y también analógicas de tensión ± 10 V y de corriente 4-20 mA. De esta manera, es posible realizar integraciones entre un conjunto de sistemas para implementar completamente diversas funciones tecnológicas de: supervisión y procesamiento de señales de entradas/salidas, reacción a procesos de eventos rápidos y selectivos, operaciones lógicas y aritméticas, y comunicaciones con unidades de control externos.

La unidad de control KR C2 incorpora todas las medidas para proporcionar una constante seguridad del robot y del conjunto del sistema, en cumplimiento con los requerimientos seguridad especificados en la DIN EN 775. Estas medidas de seguridad son las siguientes:

- un pulsador de parada de emergencia de dos canales en el panel de control
- un selector con llave para la selección del modo de operación
- tres ergonómicos interruptores de tres posiciones y dos canales para la habilitación de movimiento o interruptores de hombre muerto en el panel de control o consola
- seguridad de dos canales para la protección del operador
- limitación del espacio de trabajo
- monitorización de histórico de fallos y evaluación de los elementos de seguridad
- integración del histórico de fallos de señales de seguridad del sistema

En el funcionamiento del robot se distinguen los siguientes modos de operación con diferentes niveles de seguridad en cumplimiento con la DIN EN 775:

- Modo T1: programación y test a velocidad reducida
El robot puede ser movido solamente en modo jog con los pulsadores de ejes o con el ratón de 6 direcciones. Además, un interruptor de habilitación en el panel de control o consola debe estar presionado. La velocidad es limitada al valor máximo permitido en el modo T1.
- Modo T2: test a velocidad de trabajo
El robot puede ser movido solamente en modo jog con los pulsadores de ejes o con el ratón de 6 direcciones. Además, un interruptor de habilitación en el panel de control o consola debe estar presionado. El robot puede moverse a la velocidad de trabajo.

- Modo AUTO: modo automático
Ninguna persona puede estar dentro de la zona de trabajo del robot. El robot opera bajo el panel de control o consola, la cual debe ser colocado fuera de la zona de trabajo del robot.
- Modo EXTERNO
Ninguna persona puede estar dentro de la zona de trabajo del robot. El funcionamiento del robot está controlado por una computadora externa (host) o PLC.

El controlador KR C2 está equipado con un ergonómico panel de control de KUKA llamado KCP. Es utilizado para la programación y operación del controlador de robot y de este modo actúa de interfaz hombre-máquina. El KCP tiene unas dimensiones de 260x330x110 mm y un peso de 1,4 kg.

El microcontrolador del panel de control KCP envía la señal del teclado y los datos al PC vía CAN bus, lo cual quiere decir que éste es inicializado y parametrizado por el controlador. La información mostrada en pantalla es transmitida vía serie por una interfaz separada de alta velocidad.



Figura 2.8 Panel de control KCP

El panel de control está formado por una pantalla de color VGA de 8" con resolución de 640x480 píxeles, un teclado de membrana, un ratón de 6 direcciones. Entre los elementos de control de operador que incorpora destaca la parada de emergencia, los interruptores de hombre muerto, pulsadores de "drives On/Off", un selector de modo de operación y habilitación. Los sistemas de coordenadas que utiliza son "Joint" (especifica eje a eje), "World robroot" (fija el origen del sistema de coordenadas en la base del robot), "Base" (fija el origen del sistema de coordenadas en la pieza de trabajo) y TCP (fija el origen del sistema de coordenadas en el punto de la herramienta o "Tool Center Point").

KUKA ha desarrollado un software de simulación llamado KUKA Sim (Figura 2.9) que permite planificar y proyectar células de robot idénticas al original con datos en tiempo real, pudiendo combinarse con otros simuladores (Igrip, Robcad).

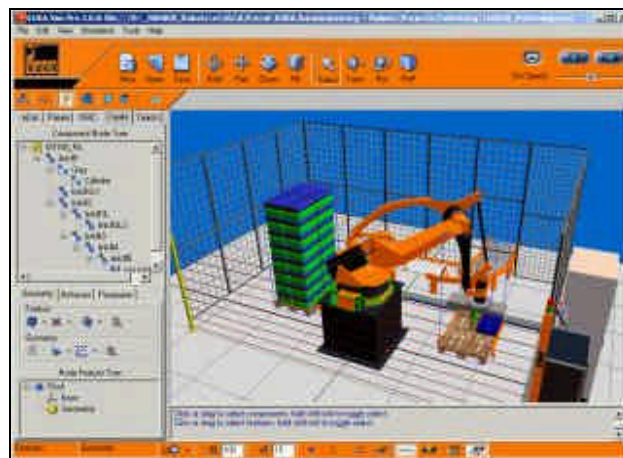


Figura 2.9 Software de simulación KUKA Sim

Este software representa una gran ventaja para la puesta en funcionamiento y la planificación de la aplicación.

2.1.6 ROBOT Y CONTROLADOR ABB

ABB fue fundado en 1988 a raíz de la fusión de las compañías ASEA AB de Suecia y BBC Brown Boveri LTD de Suiza, ambas multinacionales con más de cien años de experiencia en el campo energético. El grupo ABB es hoy una empresa multidoméstica con casa matriz en Zürich, y aproximadamente tiene 1.000 compañías con 210.000 empleados repartidas en 145 países.

ABB satisface necesidades que van desde la construcción y mantenimiento de plantas para generación de energía eléctrica a base de carbón, gas, petróleo, agua o energía nuclear hasta el cubrimiento de todos los factores referentes a la transmisión de energía. ABB involucra en sus actividades productos y sistemas de automatización para todo tipo de industrias, producción de trenes de alta velocidad, robots y sistemas de control ambiental entre otros.

ABB está ampliamente extendida a nivel mundial con fábricas y representaciones en los cinco continentes. En España la sede central de ABB es ABB Area Manufacturing Industries & Robotics con localización en Sabadell (Barcelona). Además, cuenta con otras delegaciones en Madrid, Zaragoza, Valencia, Valladolid, Vigo, Vitoria y Vizcaya.

La firma ABB comercializa la serie de robots de brazo articulado IRB de 6 ejes capaces de manipular cargas desde 5 a 500 kg. Esta serie de robots cubre los sectores industriales del automóvil, auxiliar, alimenticio, farmacéutico, construcción, químico..., y permite aplicaciones tan variadas como las de soldadura por arco, por puntos, láser, ensamblaje, paletización, pintura, sellado, alimentación de máquina herramienta.



Figura 2.10 Robot IRB 140

Entre ellos, el robot cumple las características especificadas y que más se adapta a las necesidades de la aplicación de robótica de la automatización es el modelo IRB140. Compacto y potente, es un robot industrial de 6 ejes multipropósito, diseñado especialmente para industrias de manufactura que usan automatizaciones basadas en robots flexibles. Entre sus aplicaciones típicas cabe destacar el ensamblaje, manipulación, alimentación de máquinas, soldadura por arco, y pintado.

El IRB140 es capaz de manipular cargas nominales de hasta 5 kg garantizando una repetibilidad de $\pm 0,03$ mm. El alcance máximo de la base al centro del 5º eje es de 810 mm.

Tiene un peso de 98 kg y permite una gran flexibilidad de montaje bien en suelo, muro con cualquier ángulo de inclinación e incluso suspendido.

Disponible en versiones estándar, fundición, sala blanca y limpia, todos los manipuladores tienen un grado de protección IP67 de serie permitiendo un amplio campo de usos.

Cada eje está compuesto por servomotores brushless, resolver de 8000 pasos por vuelta y freno. El IRB140 es capaz de alcanzar unas velocidades angulares de hasta 450 °/s. En cuanto a las velocidades y aceleraciones máximas del TCP ("Tool Center Point") son de 2,5 m/s y 20 m/s², respectivamente.

La Figura 2.11 muestra el área de trabajo que el IRB140 puede abarcar, el alcance máximo desde el centro de la base al 5º eje e incluso la máxima carga aplicable al robot dependiendo de la distancia de ésta respecto del centro del 6º eje. Es capaz de soportar una carga nominal de 5 kg en un radio de poco más de 100 mm de distancia respecto del centro de la herramienta TCP, disminuyendo esta carga a 3 kg en un radio de 150 mm y admitiendo tan solo 1 kg a 400 mm.

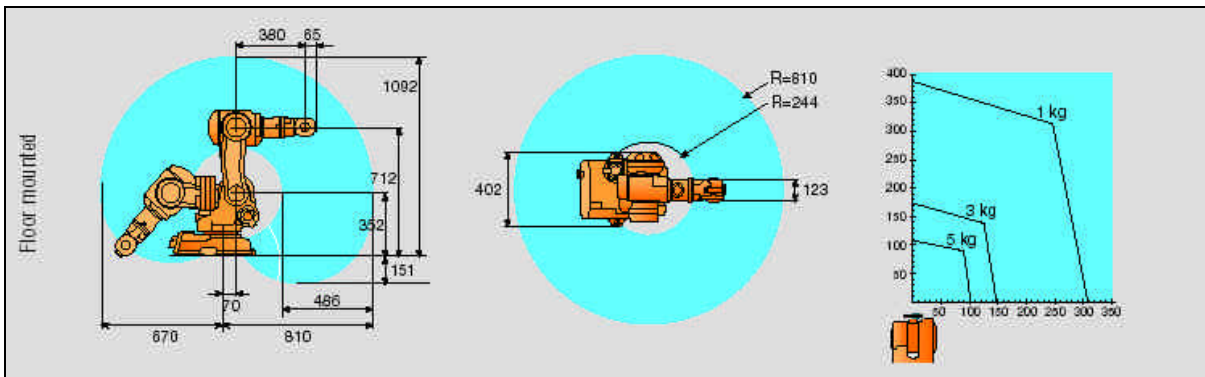


Figura 2.11 Área de trabajo y curvas de carga del robot IRB 140

El rango de giro de cada eje está limitado mediante topes mecánicos preajustados de fábrica. Este área de trabajo del robot puede ser limitado mediante software para cada uno de los ejes.

El IRB140 también soporta cargas adicionales en varios ejes, concretamente permite 1 kg de peso en el 3º eje y 0,5 kg en el 4º eje.

Este robot incorpora un conector eléctrico con 12 entradas digitales en el 4º eje. Por el contrario, no posee ninguna electroválvula interna.

El IRB 140 requiere del armario de control o controlador modelo S4Cplus (Figura 2.12). Se trata de la unidad de control de ABB de 4ª generación. El sistema de control y la potencia electrónica están integrados en este armario de control modular y de fácil manejo, con unas dimensiones de 950x800x620 mm y con un peso total de 250 kg. El controlador S4Cplus posee un potente sistema de control para los 6 ejes del robot y para 6 ejes auxiliares externos integrables de manera opcional.

Esta unidad de control tiene una potencia de 4,8 kVA y una alimentación triásica de entre 200 V y 600 V con un rango de frecuencia admisible de 48,5 a 61,8 Hz. El controlador contiene el computador y la unidad de alimentación.

El computador comprende la consola de programación o "teach pendant", el panel de control situado en el frontal del armario, y un hardware basado en arquitectura multiprocesador con Pentium como unidad central, con una capacidad de memoria de 64/128 MB.

La unidad de alimentación incluye la alimentación de los componentes, accionamientos de los servomotores y todos los contactores y relés requeridos para la conexión lógica.

El lenguaje de programación utilizado en el controlador de ABB es el RAPID. Este controlador permite realizar un backup de todo el sistema formado por el programa, rutinas y datos excepto del software del sistema operativo (S.O.) en un disquete 3^{1/2} de 1,44 MB.



Figura 2.12 Unidad de control de robot S4Cplus

El IRB 140 incorpora un sistema de software con todas las funciones básicas para operaciones y programación de movimiento del robot. El sistema de control permite generar trayectorias punto a punto (PTP), movimientos lineales y circulares. Además, también dispone de la electrónica y de numerosas funciones especiales para el control del robot, ejes externos y equipos periféricos asegurando un significativo incremento de la potencia de computación reflejada en una mejora de la monitorización y supervisión del controlador. Posee dos puertos RS232, un RS485 y dos puertos Ethernet con 100 Mbit/s de capacidad. El controlador dispone, de manera opcional, de varios buses de campo para el control de entradas/salidas distribuidas como Profibus-DP, DeviceNet, Interbus y CAN. El número máximo de entradas/salidas controlables es de 1024/1024. Estas entradas/salidas pueden ser digitales a 24 Vdc, 120 Vac, transistor o relé (salidas), y también analógicas de tensión ± 10 V y de corriente 4-20 mA. De esta manera, es posible realizar integraciones entre un conjunto de sistemas para implementar completamente diversas funciones tecnológicas de: supervisión y procesamiento de señales de entradas/salidas, reacción a procesos de eventos rápidos y selectivos, operaciones lógicas y aritméticas, y comunicaciones con unidades de control externos.

Este controlador incorpora todas las medidas para proporcionar una constante seguridad del robot y del conjunto del sistema, en cumplimiento con los requerimientos seguridad especificados en la DIN EN 775. Estas medidas de seguridad son las siguientes:

- un pulsador de parada de emergencia de dos canales en el panel de control y en la consola de programación
- un pulsador de "Motors On"
- un selector con llave para la selección del modo de operación en el panel de control

- dos ergonómicos interruptores de tres posiciones y dos canales para la habilitación de movimientos o interruptores de hombre muerto en la consola de programación
- seguridad de dos canales para la protección del operador
- limitación del espacio de trabajo
- monitorización de histórico de fallos y evaluación de los elementos de seguridad
- integración del histórico de fallos de señales de seguridad del sistema

En el funcionamiento del robot se distinguen los siguientes modos de operación con diferentes niveles de seguridad en cumplimiento con la DIN EN 775:

- Modo Manual a velocidad reducida: programación y test a velocidad reducida, como máximo 250 mm/s
El robot puede ser movido solamente en modo jog con los pulsadores de ejes. Además, un interruptor de habilitación en el panel de control o consola debe estar presionado.
- Modo Manual 100%: test a velocidad de trabajo
El robot puede ser movido solamente en modo jog con los pulsadores de ejes. Además, el interruptor de habilitación en el panel de control o consola debe estar presionado. El robot puede moverse a la velocidad de trabajo.
- Modo Automático: ciclo producción
Ninguna persona puede estar dentro de la zona de trabajo del robot. El robot opera bajo el panel de control o consola, el cual debe ser colocado fuera de la zona de trabajo del robot. El funcionamiento del robot también está controlado por una computadora externa (host) o PLC.

El controlador S4Cplus está equipado con una completa y ergonómica consola de programación ABB llamado "Teach Pendant Unit" o TPU (Figura 2.13). Es utilizada para la programación y operación del controlador de robot y así, de este modo actúa de interfaz hombre-máquina. La TPU tiene unas dimensiones de 185x325x120 mm y un peso aproximado de 1 kg.



Figura 2.13 Consola de programación TPU

La consola de programación está formada por una pantalla LCD de 16 líneas por 40 caracteres, un teclado de membrana, un "joystick" de 6 direcciones. Entre los elementos de control de operador que incorpora destaca la parada de emergencia y los interruptores de hombre muerto. Los sistemas de coordenadas que utiliza son "Joint" (especifica eje a eje), "World" (fija el origen de coordenadas en la base del robot, aunque se modifica para robots montados en techo o se fija como origen de coordenadas común para varios robots que trabajan conjuntamente), "Base" (fija el origen del sistema de coordenadas en la base del robot), "User" (fija el origen del sistema de coordenadas en la pieza de trabajo), "Obj" (fija el origen de coordenadas en la superficie de trabajo) y "Tool" (fija el origen del sistema de coordenadas en el punto de la herramienta o TCP).

ABB ha desarrollado un software de simulación y de programación “offline” de su gama de robots llamado RobotStudio (Figura 2.14). Este software permite la simulación y la validación de nuevas aplicaciones, realizar nuevos programas desde la oficina y optimizar programas existentes con el fin de incrementar la producción sin interrumpir la misma, y generar trayectorias más rápidas y de mejor calidad. Por tanto, RobotStudio es una herramienta enfocada a maximizar el rendimiento de la inversión en el sistema de robot, planificar y resulta de gran ayuda para la puesta la puesta en funcionamiento y la planificación de la aplicación.

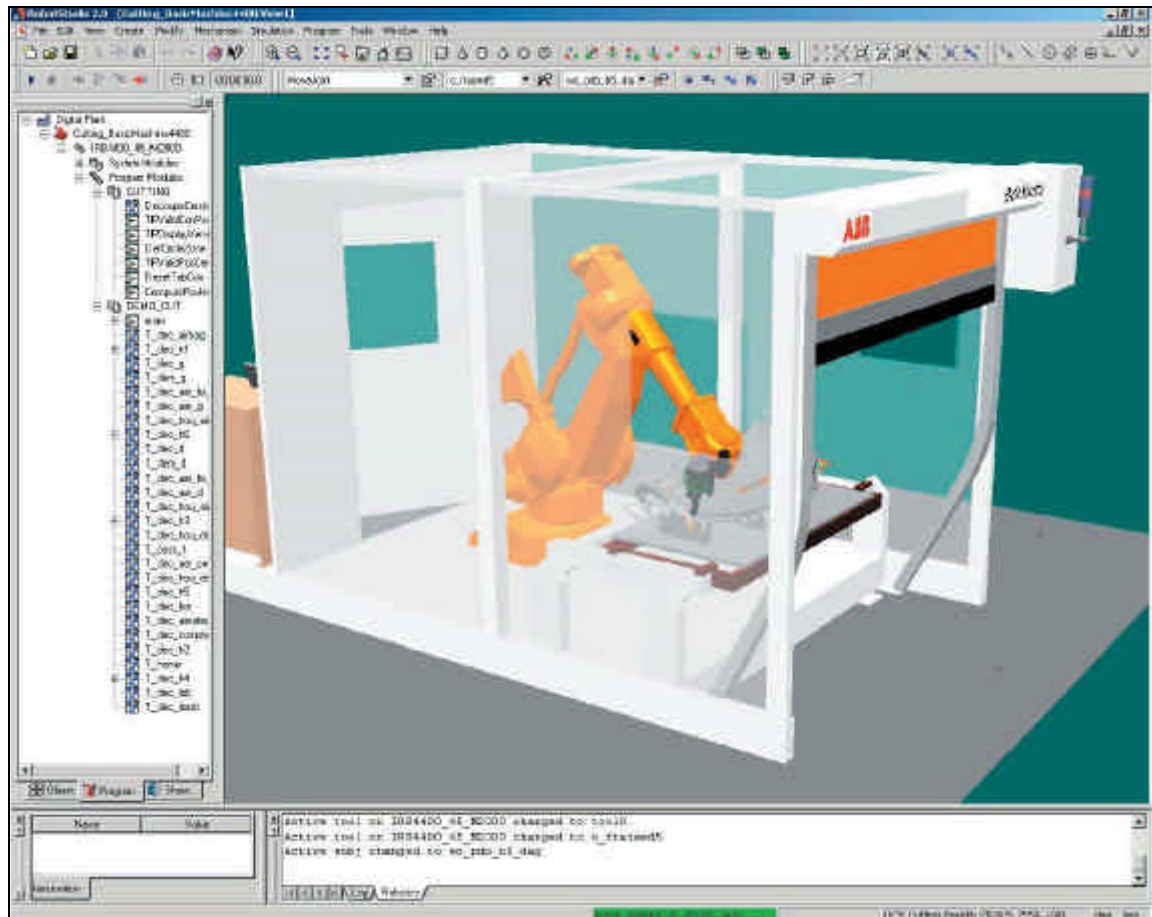


Figura 2.14 Software de simulación y de programación RobotStudio

2.1.7 ROBOT Y CONTROLADOR FANUC



es uno de los fabricantes industriales de robots más importante del mundo desde 1979.

FANUC Robotics es filial de FANUC LTD quien posee el control de todas sus acciones y del 50% de GE FANUC Automation. FANUC LTD se encuentra ubicado en la base del Monte Fuji, cerca del lago Yamanaka, en la localidad de Oshino-mura situada en la provincia de Yamanashi en Japón.

FANUC desarrolla y fabrica robots, servomotores, controles CNC, máquina herramienta y láser. Se estableció en julio de 1972 cuando la división de Control Numérico se independizó de FUJITSU. En este mismo año desarrolló su primer robot industrial. FANUC Robotics es proveedor global de robots y soluciones para procesos en el sector del automóvil y mercado industrial. Opera en países de toda Europa, como Luxemburgo, Bélgica, Francia, Alemania, Italia, España y Reino Unido. La delegación principal de FANUC Robotics en España es FANUC Robotics Ibérica, S.L. situada en Castelldefels (Barcelona). También dispone de otra delegación en Vizcaya.

La firma FANUC Robotics posee una amplísima gama de series robots que van desde 3 a 450 kg.

- La serie LR Mate está formada por pequeños robots de brazo articulado de 5 y 6 ejes capaces de manipular cargas de 3 a 5 kg
- La serie M está formada por robots de brazo articulado de 2, 4 y 6 ejes con una capacidad de 6 a 450 kg
- La serie R está formada por robots de brazo articulado de 6 ejes para cargas de 165 a 200 kg
- La serie S está formada por robots de brazo articulado de 6 ejes y capaces de manipular cargas de 220 a 400 kg
- La serie SR Mate está formada por robots de brazo articulado de 5 y 6 ejes montados sobre un eje lineal capaces de manipular cargas de 3 a 8 kg
- La serie Top mount robot está formada por robots de brazo articulado de 5 y 6 ejes para cargas de 20 a 200 kg



La gama de robots de FANUC Robotics con más de 30 modelos cubre todos los sectores industriales como los del automóvil, auxiliar, alimenticio, farmacéutico, construcción, químico..., y todas las aplicaciones como las de soldadura por arco, soldadura por puntos, soldadura láser, ensamblaje, encajado y paletización, pintura, sellado, operación de plegado, carga/descarga de máquina herramienta, embalaje...

El robot de brazo articulado que cumple con las características especificadas y que mejor se adapta a las necesidades de la aplicación de robótica de la automatización es el modelo LR Mate 200iB (Figura 2.15). Éste es un robot de 6 ejes de construcción modular y servo controlado eléctricamente.

Figura 2.15 Robot LR Mate 200iB

Este robot proporciona máxima flexibilidad y precisión en un diseño compacto. Es capaz de manipular cargas de hasta 5 kg (nominal) garantizando una repetibilidad de $\pm 0,04$ mm. El alcance máximo del centro del eje de la base, 1^{er} eje, al centro del 5^o eje es de 700 mm.

El robot LR Mate 200iB ha sido diseñado para dar solución a una gran variedad de procesos y aplicaciones. Su tamaño permite el uso del robot en una amplia variedad de aplicaciones en la industria como: carga y descarga máquina herramienta, manipulación, ensamblaje, chequeo y muestreo, electrónica / sala limpia, limpieza de componentes, colado y sellado, pulido, lijado y desbarbado, moldeado de plástico e incluso pintado y recubrimiento.

La Figura 2.16 muestra el área de trabajo que el LR Mate 200iB puede abarcar, el alcance máximo desde el centro de la base al 5^o eje e incluso la máxima carga aplicable al robot dependiendo de la distancia de ésta respecto del centro del 6^o eje (TCP).

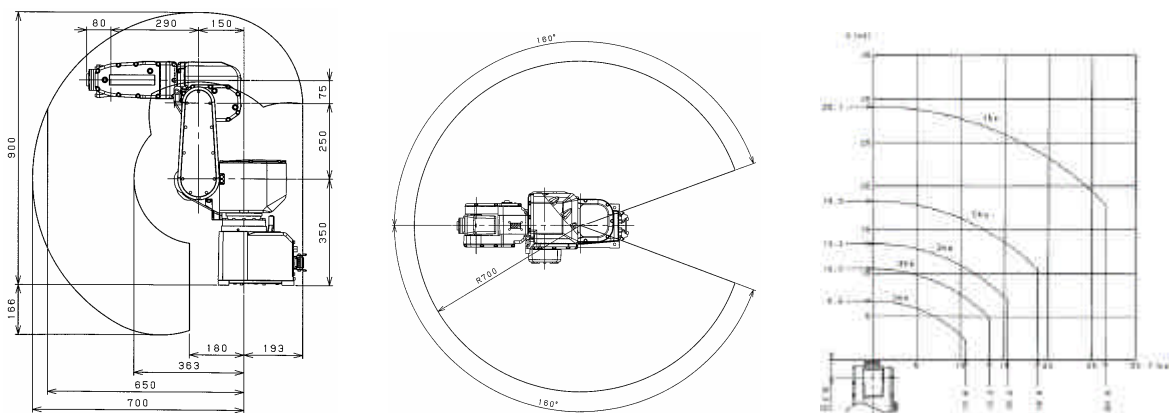


Figura 2.16 Área de trabajo y curvas de carga del robot LR Mate 200iB

El rango de giro de cada eje está limitado mediante topes mecánicos preajustados de fábrica. Este área de trabajo del robot puede ser limitado mediante software para cada uno de los ejes.

El LR Mate 200iB también soporta una carga adicional de hasta 1 kg de peso en el 4^o eje.

Este robot tiene un peso muy reducido, tan sólo 45 kg y conjuntamente con su pequeña base permite su ubicación en sitios reducidos siendo posible su montaje de pie, muro con cualquier inclinación o invertido. El grado de protección de serie es IP65 garantizando protección contra polvo y líquido.

Posee un conector eléctrico en el 4^o eje llamado "End Effector". Este conector incorpora 6 entradas digitales, facilitando de esta manera la instalación de sensores en la herramienta del robot. Además, posee 2 electroválvulas internas, opcionalmente ampliables a 3. De esta forma resulta fácil la instalación de varios actuadores neumáticos en la herramienta.

Los motores instalados en el robot son brushless AC y los reductores "harmonic drive" proporcionan máxima fiabilidad y reducen los costes de mantenimiento. Posee codificadores relativos de 65536 pasos por vuelta pero al estar siempre alimentados se comportan como codificadores absolutos. El rango de giro de cada eje está limitado mediante topes mecánicos preajustados de fábrica. El área de trabajo del robot puede ser limitado mediante software para cada uno de los ejes. Este robot es capaz de alcanzar velocidades angulares de hasta 480 °/s.

Tan sólo dispone de frenos de seguridad en el 2º y 3º ejes, aunque opcionalmente se puede suministrar con frenos mecánicos en todos los ejes. Todos los motores, cables y otros elementos están localizados internamente para protegerlos del ambiente.

El armario de control o controlador R-J3iB Mate ha sido diseñado exclusivamente por FANUC Robotics para la serie de robots LR Mate. El sistema de control y la potencia electrónica están integrados en este armario de control con unas dimensiones de 470x530x320 mm y con un peso total de 35 kg. El controlador R-J3iB Mate posee un potente sistema de control para los 6 ejes del robot y para 2 ejes auxiliares externos integrables de manera opcional.

Tiene una potencia de hasta 1,2 kVA y dos posibles alimentaciones, monofásica de 200 a 220 Vac o bien trifásica de 380 a 500 Vac con una frecuencia admisible de 50 o 60 Hz.

El R-J3iB Mate utiliza una avanzada tecnología desarrollada a partir de las fiables generaciones anteriores de controladores. Su gran capacidad de procesamiento y su arquitectura abierta permiten mejorar las posibilidades de aplicación y características de movimiento, simplificando a su vez la integración del sistema. Además, incorpora a los robots FANUC un concepto único “plug-in options”, que permite una gran flexibilidad para configuraciones específicas de aplicación, manteniendo una misma base para todos los usuarios del sistema. El controlador contiene el computador y la unidad de alimentación.



Figura 2.17 Controlador R-J3iB Mate

El computador comprende la consola o “teach pendant”, el panel de control en el frontal del armario y el hardware de control con arquitectura multiprocesador. Esta arquitectura de procesador dual ofrece una velocidad de proceso muy alta, reduciendo los tiempos de ejecución de programa y permitiendo mejorar la exactitud de las trayectorias. Se compone de un procesador principal RISC que gestiona el control de movimientos, la ejecución del programa y la aplicación, y otro procesador RISC para comunicaciones con la consola de programación y con dispositivos externos. Posee una capacidad de memoria de 32 MB.

La unidad de alimentación incluye la alimentación de los componentes, accionamientos de los servomotores y todos los contactores y relés requeridos para la conexión lógica, así como las cartas de seguridades y de comunicación.

Las comunicaciones internas entre los componentes que forman el controlador se realizan a través de dos buses de fibra óptica (HSSB y FSSB), los cuales dotan al controlador de rapidez, fiabilidad y durabilidad.

FANUC Robotics dispone de varios lenguajes de programación para sus controladores o unidades de control. Concretamente tres y son el TPE, KAREL (lenguaje de bajo nivel para desarrollo de aplicaciones) y PMC (lenguaje ladder para gestión interna y de periferia). Este controlador permite realizar un backup de todo el sistema incluyendo software, programas y datos en una memoria compact flash de 32 MB.

El controlador incorpora funciones básicas de movimiento del robot. El sistema de control permite generar trayectorias punto a punto (PTP), movimientos lineales y circulares.

Del mismo modo, también dispone de numerosas funciones especiales que proporcionan la capacidad de controlar la periferia del robot e intercambiar datos con periféricos, tales como lectores de códigos de barra, sistemas de visión y PCs de una manera eficaz y reduciendo costes. Posee un puerto RS232 y un puerto Ethernet. El controlador dispone, de manera opcional, de varios buses de campo para el control de entradas/salidas distribuidas como FANUC I/O para CNCs de FANUC, Profibus-DP, DeviceNet e Interbus. El número máximo de entradas/salidas es de 512 puntos como máximo. Estas entradas/salidas pueden ser digitales a 24 Vdc, 120 Vac, transistor o relé (salidas), y también analógicas de tensión ± 10 V y de corriente 0-20 mA y de 4-20 mA. De esta manera, es posible realizar integraciones entre un conjunto de sistemas para implementar completamente diversas funciones tecnológicas de: supervisión y procesamiento de señales de entradas/salidas, reacción a procesos de eventos rápidos y selectivos, operaciones lógicas y aritméticas, y comunicaciones con unidades de control externos.

El R-J3/B Mate incorpora todas las medidas para proporcionar una constante seguridad del robot y del conjunto del sistema, en cumplimiento con los requerimientos seguridad especificados en la DIN EN 775. Estas medidas de seguridad son las siguientes:

- un pulsadores de parada de emergencia de dos canales en el panel de control y en la consola de programación
- un selector con llave para la selección del modo de operación en el panel de control
- dos ergonómicos interruptores de tres posiciones y dos canales para la habilitación de movimientos o interruptores hombre muerto en la consola de programación
- seguridad de dos canales para la protección del operador
- limitación del espacio de trabajo
- monitorización de histórico de fallos y evaluación de los elementos de seguridad
- integración del histórico de fallos de señales de seguridad del sistema

En el funcionamiento del robot se distinguen los siguientes modos de operación con diferentes niveles de seguridad en cumplimiento con la DIN EN 775:

- Modo T1: programación y test a velocidad reducida
El robot puede ser movido solamente en modo jog con los pulsadores de ejes. Además, el interruptor de habilitación de la consola debe estar activado y el interruptor de "hombre muerto" debe estar presionado. La velocidad está limitada a un valor inferior a 250 mm/s.
- Modo T2: test a velocidad de trabajo
El robot puede ser movido solamente en modo jog con los pulsadores de ejes. Además, el interruptor de habilitación de la consola debe estar activado y el interruptor de "hombre muerto" debe estar presionado. El robot puede moverse a la velocidad de trabajo.
- Modo AUTO: modo automático
Ninguna persona puede estar dentro de la zona de trabajo del robot. El robot opera bajo el panel de control o consola, el cual debe ser colocado fuera de la zona de trabajo del robot. El funcionamiento del robot también puede estar

controlado por un dispositivo externo como un PLC. No existe ninguna limitación de velocidad.

El controlador R-J3/B Mate está equipado con una ergonómica “teach pendant” o consola de control de FANUC llamada *i*Pendant. Es utilizada para la programación y operación del controlador de robot y así, de este modo actúa de interfaz hombre-máquina. La consola *i*Pendant tiene unas dimensiones de 332x205x115 mm y un peso de 1,3 kg.

La consola tiene una pantalla color VGA de 8” con resolución de 640x480 píxeles, un teclado de membrana. Entre los elementos de control de operador que incorpora destaca la parada de emergencia, los interruptores de hombre muerto y el selector de habilitación. Los sistemas de coordenadas que utiliza son “Joint” (eje a eje), “World” (define el sistema de coordenadas en la base del robot), “User” (define el sistema de coordenadas en la pieza de trabajo) y “Tool” (fija el sistema de coordenadas en el punto de la herramienta o TCP).



Figura 2.18 Consola de programación *i*Pendant

FANUC Robotics ha desarrollado un software específico de robot requerido en algunas aplicaciones. Entre ellas destacan:

- “Collision detection”: permite controlar la detección inmediata de colisión minimizando los daños ocasionados en el robot o en la pinza
- “AccuPath”: proporciona mejoras de comportamiento de trayectorias durante movimientos lineales y circulares, minimizando las variaciones de velocidad en los cambios de dirección
- “Multi-tasking”: permiten la ejecución de varios programas de usuario o tareas simultáneamente
- “Torque Limit”: permite ajustar el par máximo de cada motor independientemente, con el fin de controlar la presión ejercida por la herramienta contra un objeto
- “Data Transfer”: es un software de comunicación serie que permite al robot un intercambio de datos bidireccional con un PC u otro dispositivo; los usuarios pueden controlar el robot a través de un interfaz gráfico en VB
- “Robot Link”: esta función sirve para realizar movimientos sincronizados entre robots, conectando los controladores de cada uno con Ethernet (cable directo) a través de un “hub” (no imprescindible). La manipulación de cargas pesadas que están por encima de la capacidad de un solo robot puede repartirse entre varios gracias a esta función (si una pieza pesa 800 kg, esta pieza puede ser manipulada por 4 robots que tengan una carga máxima de 200 kg)

- “Softfloat”: permite liberar y suavizar los ejes del robot de tal modo que se adapte a las fuerzas externas
- “TurboMove”: proporciona un tiempo de ciclo mínimo gracias a los cálculos dinámicos del robot en tiempo real
- Visión V-500i: es un sistema de visión 2D en escala de grises. El sistema V-500i de FANUC Robotics es un sistema de visión basado en PC destinado a la localización y orientación de piezas. Proporciona una guía en 2D al robot para aplicaciones de manipulación y sirve de base para la localización de objetos para el sistema en 3D. El sistema V-500i se caracteriza por un entorno gráfico que simplifica su instalación. La calibración de la cámara, la toma de patrón y la búsqueda de piezas se realizan a través de iconos accesibles con el ratón. No es necesario ningún tipo de desarrollo adicional con algún tipo de lenguaje estructurado. La función de procesamiento de imagen de FANUC permite la localización de cualquier tipo de objeto. Es un sistema muy robusto a cambios de imagen. Acepta cambios de tamaño, de iluminación, desenfoques y similares condiciones difíciles de detección.

FANUC Robotics ha desarrollado un software de simulación de sistemas robotizados llamado Roboguide (Figura 2.19). Se trata de una herramienta “off-line” diseñada para la configuración y mantenimiento de sistemas robotizados. Permite la modelización del entorno del robot, otros dispositivos periféricos y maquinaria, la simulación precisa del tiempo de ciclo sin necesidad de mover el robot y facilita la conexión con él. Además, también es una herramienta “on-line” la cual puede ser utilizada en una planta industrial. Este software representa una gran ventaja para la puesta en funcionamiento y la planificación de la aplicación.

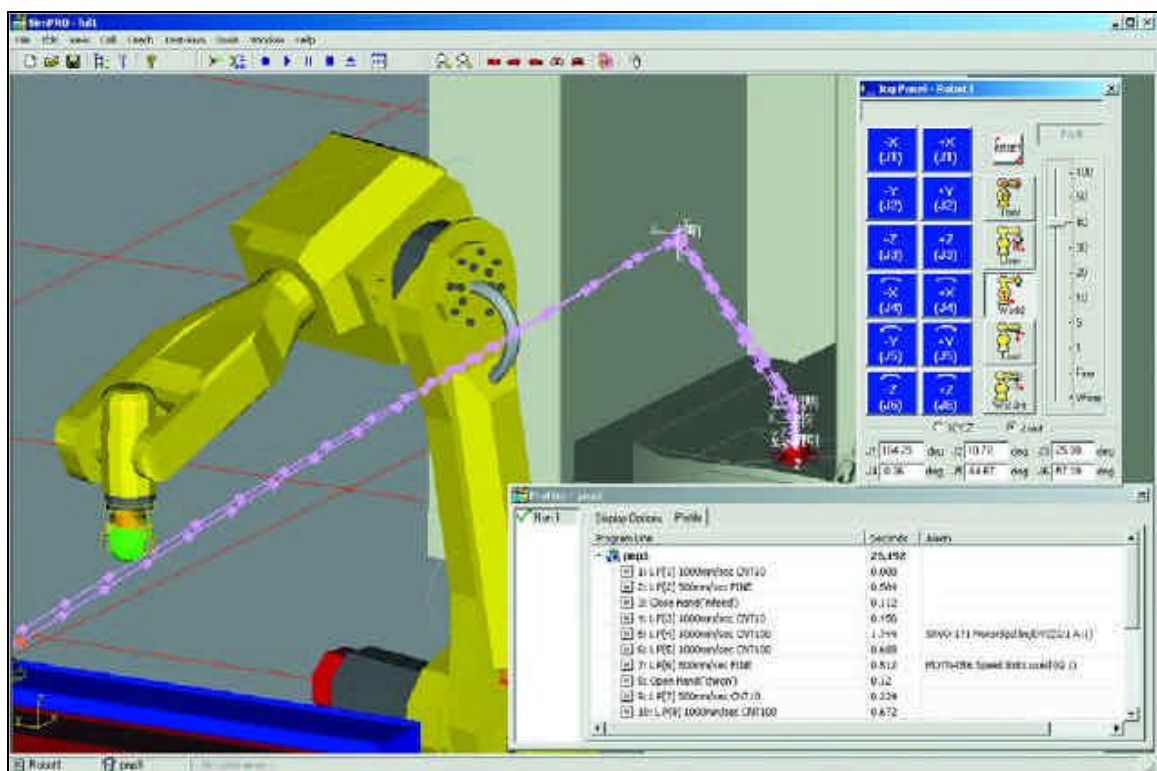


Figura 2.19 Software de simulación Roboguide

2.1.8 MANIPULADOR Y CONTROLADOR REIS



REIS fue fundada en 1957 y actualmente es uno de los suministradores líderes de robots, sistemas de robots y sistemas de control en el mercado europeo. También suministra productos a USA y Asia. La sede central de REIS a nivel mundial se encuentra en Obernburg cerca de Frankfurt Alemania. Existen sociedades filiales en los EE.UU., Francia, Italia, España, la República Checa y en Brasil. En España la delegación es REIS Robotics España S.L. situada en Esplugas de Llobregat (Barcelona).

REIS ofrece una completa gama de robots con diferentes configuraciones cinemáticas y unidades periféricas como mesas giratorias, unidades lineales y posicionadores orbitales cubriendo una capacidad de carga de 200 a 6300 kg. Adicionalmente a estos productos, REIS también produce prensas de corte y moldeado por punto que pueden ser fabricados en diferentes variantes y tamaños, y chequeo de prensas.

Además de la fabricación, REIS también es una empresa de tecnología puntera en el sector de integración de robots y de sistemas. REIS ofrece servicios de asesoramiento, planificación, diseño, ingeniería, manufactura y programación de sistemas de robots para solucionar de manera óptima, técnica y económica cualquier tarea de automatización en todos los campos de aplicación. El servicio post-venta garantiza, en colaboración con las filiales y empresas colaboradoras de REIS en todo el mundo, un apoyo continuo y un servicio de asistencia al cliente rápido. Dispone de una amplia oferta de formación para usuarios, programadores y mantenimiento.

En los últimos años REIS Robotics ha continuado con el desarrollo y optimización de su familia de robots. Éstos han sido concebidos y fabricados de manera modular. El diseño de este sistema modular presenta tres tipos de robots con las siguientes configuraciones cinemáticas:

- la serie RV formada por robots de brazo articulado vertical
- la serie RH compuesta por robots de brazo articulado horizontal (configuración cartesiana)
- la serie RL formada por robots de brazo articulado montados sobre ejes lineales

Estas series de robots tienen una capacidad de carga de 4 a 300 kg.

La gama de robots de REIS Robotics es apta para su uso en todos los sectores industriales (automóvil, auxiliar, alimenticio, farmacéutico, construcción, químico...) y aplicaciones (soldadura al arco, soldadura por puntos, paletización, pintura, sellado, carga/descarga máquina herramienta...)

Dentro de su amplia gama de robots de la serie RV se ha seleccionado el robot RV 4. Es un robot industrial de 6 ejes para aplicaciones de carga ligera que requieren movimientos articulados en planos horizontales y verticales hasta un alcance máximo de 990 mm desde el centro del 1^{er} eje al centro del 5^o.

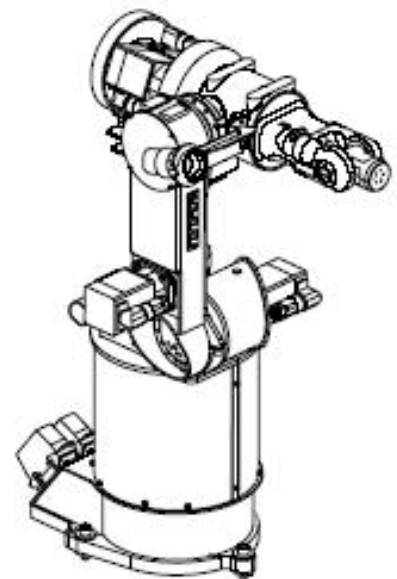


Figura 2.20 Robot RV 4

Diseñado para manipular una carga nominal de 4 kg de peso garantizando una repetibilidad de $\pm 0,03$ mm, el RV 4 proporciona una combinación poderosa de automatización flexible de alta velocidad, fiabilidad y fácil manejo. Tiene un peso de 195 kg y permite tanto montajes en suelo como invertido. El grado de estanqueidad de serie es IP54 permitiendo un amplio campo de usos.

Las aplicaciones industriales típicas en las que se usa el RV 4 son: alimentación de máquinas, manipulación, ensamblaje, soldadura por arco y pintado.

Cada eje está compuesto por servomotores brushless, resolvers y freno. El RV 4 es capaz de alcanzar unas velocidades angulares de hasta 550 $^{\circ}/s$.

En la Figura 2.21 se muestra el área de trabajo abarcado por el RV 4, el alcance máximo desde el centro de la base al 5^o eje y el rango de giro de cada eje.

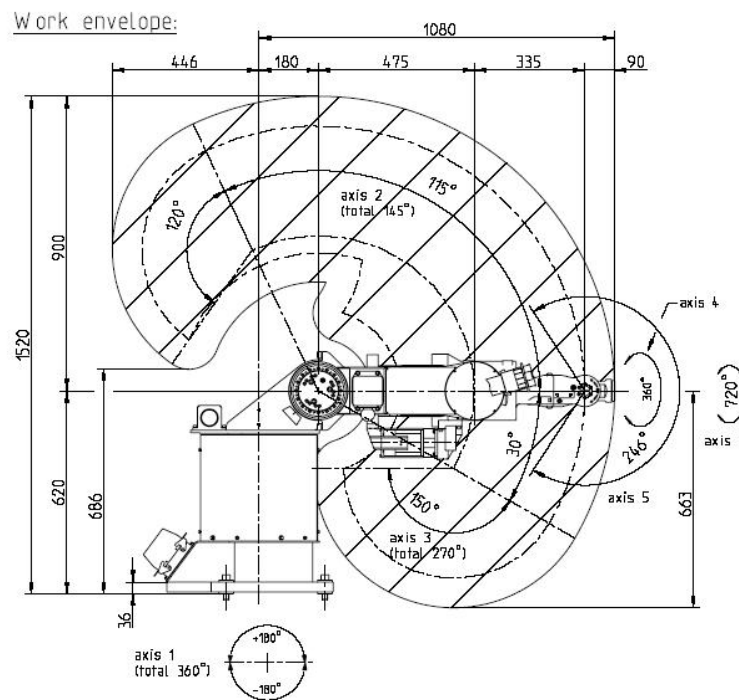


Figura 2.21 Área de trabajo del robot RV 4

El rango de giro de cada eje está limitado mediante topes mecánicos preajustados de fábrica. Este área de trabajo del robot puede ser limitado mediante software para cada uno de los ejes.

Como se ha comentado anteriormente el RV 4 es capaz de manipular cargas de hasta 4 kg. Sin embargo, la máxima carga aplicable es de 6 kg. La Figura 2.22 permite conocer la máxima carga soportada por el robot dependiendo de la distancia del centro de la carga al eje 5^o y 6^o.

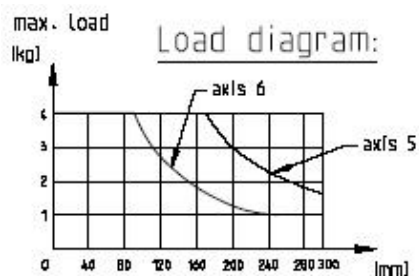


Figura 2.22 Curvas de carga del robot RV 4

Además, este robot es capaz de soportar una carga adicional de 6 kg en el 3^{er} eje.

Este robot incorpora un conector eléctrico con 4 entradas y 4 salidas digitales en el 4^o eje. Por el contrario, no posee ninguna electroválvula interna.

Los robots REIS Robotics están equipados con el armario de control o controlador ROBOTstarV (Figura 2.23). Esta unidad de control ha sido desarrollada completamente por REIS y actualmente comercializa la 5^a generación. El sistema de control y la potencia electrónica están integrados en este armario de control espacioso, con unas dimensiones de 900x800x600 mm y con un peso total de 215 kg. El controlador ROBOTstarV posee un potente sistema de control para los 6 ejes del robot y para 18 ejes auxiliares externos integrables de manera opcional.

Tiene una potencia de 2,4 kVA y una alimentación trifásica de 400 Vac con una de frecuencia admisible de 50 o 60 Hz. El controlador contiene el computador y la unidad de alimentación.

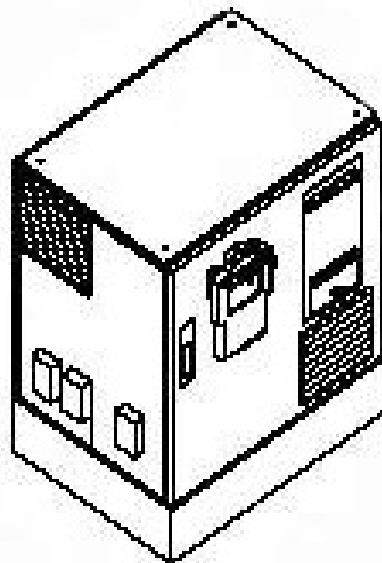


Figura 2.23 Controlador de robot ROBOTstarV

El computador comprende la botonera de programación o consola y el hardware propio de un PC estándar con un procesador Celeron a 300 MHz o equivalente y una capacidad de memoria de 64 MB.

La unidad de alimentación incluye la alimentación de los componentes, accionamientos de los servomotores y todos los contactores y relés requeridos para la conexión lógica.

El lenguaje de programación utilizado en los controladores REIS es el ROBOTstarV. Este controlador permite realizar un backup de todo el sistema incluyendo software, programas y datos en una memoria compact flash de 32 MB.

El controlador incorpora funciones básicas de movimiento del robot. El sistema de control permite generar trayectorias punto a punto (PTP), movimientos lineales y circulares.

Del mismo modo, también dispone de la electrónica y de numerosas funciones especiales para el control del robot manipulador, ejes externos y equipos periféricos asegurando un significativo incremento de la potencia de computación reflejada en una mejora de la monitorización y supervisión del controlador. Posee dos puertos RS232, un puerto RS485 y un puerto Ethernet. El controlador dispone del bus de

campo CAN para el control de entradas/salidas. El número máximo de entradas/salidas es de 512/512. Estas entradas/salidas pueden ser digitales DC y AC, y también analógicas de tensión ± 10 V y de corriente 0-20 mA. De esta manera, es posible realizar integraciones entre un conjunto de sistemas para implementar completamente diversas funciones tecnológicas de: supervisión y procesamiento de señales de entradas/salidas, reacción a procesos de eventos rápidos y selectivos, operaciones lógicas y aritméticas, y comunicaciones con unidades de control externos.

El ROBOTstarV incorpora todas las medidas para proporcionar una constante seguridad del robot y del conjunto del sistema, en cumplimiento con los requerimientos seguridad especificados en la DIN EN 775. Estas medidas de seguridad son las siguientes:

- un pulsadores de parada de emergencia de dos canales en el panel de control y en la botonera de programación
- un selector con llave para la selección del modo de operación en la botonera de programación
- un botón de confirmación para la habilitación de movimientos o interruptor de hombre muerto en la botonera de programación o consola
- seguridad de dos canales para la protección del operador
- limitación del espacio de trabajo
- monitorización de histórico de fallos y evaluación de los elementos de seguridad
- integración del histórico de fallos de señales de seguridad del sistema

En el funcionamiento del robot se distinguen los siguientes modos de operación con diferentes niveles de seguridad en cumplimiento con la DIN EN 775:

- **Modo AUTO: modo automático**
Ninguna persona está permitida en la zona de trabajo del robot. El robot opera bajo el panel de control o consola, la cual debe ser colocado fuera de la zona de trabajo del robot. El funcionamiento del robot también puede estar controlado por una computadora externa (host) o PLC. No existe velocidad reducida, por tanto, el robot se mueve a velocidad de trabajo y las protecciones tienen que estar activas. El arranque de los motores sólo es posible mediante el botón de arrancar motores. En Test 1 y Test 3 se selecciona el modo de paso a paso. En Test 2, Test 4 y auto no hay modo de paso a paso.
- **Modo MANUAL: testeo a velocidad de trabajo**
El robot puede ser movido solamente en modo jog con los pulsadores de eje. La velocidad del robot es reducida y las protecciones no tienen que estar activas. El arranque de los motores sólo es posible mediante botón de confirmación. El modo de operación sólo es paso a paso, ya que la secuencia automática no es posible.
- **Modo AUTO-TEST:**
No existe velocidad reducida, por tanto, el robot puede moverse a la velocidad de trabajo y las protecciones no tienen que estar activas. El arranque de los motores sólo es posible mediante botón de confirmación. En Test 1 y Test 3 se selecciona el modo de paso a paso. En Test 2, Test 4 y Auto no hay modo paso a paso.


El controlador ROBOTstarV está equipado con una completa consola o botonera de programación PHG (Figura 2.24). Es utilizada para la programación y operación del controlador de robot y así, de este modo, actúa de interfaz hombre-máquina. La PHG tiene unas dimensiones de 355x210x85 mm y un peso de 1,5 kg.

La botonera de programación está formado por una pantalla color VGA de 8" con resolución de 640x480 píxeles, un teclado de membrana. Entre los elementos de control de operador que incorpora destaca la parada de emergencia, los pulsadores de arrancar y parar motores, un selector de modo de operación y un botón de confirmación. Los sistemas de coordenadas que utiliza son "Joint" (especifica eje a eje), "Base" (fija el origen del sistema de coordenadas en la base del robot) y "Tool" (fija el origen del sistema de coordenadas en el punto de la herramienta o "Tool Center Point").



Figura 2.24 Botonera de programación PHG

2.1.9 MANIPULADOR Y CONTROLADOR MOTOMAN

 **MOTOMAN**[®] Robotics fabrica, diseña y distribuye robots industriales, y sistemas robotizados industriales para la automatización de la mayoría de los procesos de producción.

MOTOMAN Robotics es una subsidiaria de YASKAWA Electric Corporation (YEC) fundada en 1915. Inicialmente, MOTOMAN colaboró conjuntamente con Brown Bobery & CO en el desarrollo de motores DC. En 1958 desarrolló los servomotores DC. Construyó su primer robot en Japón el 1977. Se trataba de un robot de brazo articulado vertical llamado L10 (Figura 2.25).



Figura 2.25 Robot L10

MOTOMAN además de robots, también fabrica y distribuye servo-posicionadores multieje con capacidad de carga de hasta 20.000 kg, máquinas de soldadura, convertidores de frecuencia, servomotores AC y accionamientos.

MOTOMAN está implantada a nivel mundial con fábricas y sedes en los cinco continentes. Su sede central en Europa es MOTOMAN Robotics Europe AB con localización en Torsas Suecia, donde se realizan las principales tareas de desarrollo y fabricación. La compañía está bien arraigada en Europa con subsidiarias en España, Inglaterra, Francia, Italia, Holanda, Alemania y Eslovenia. La representación en España es MOTOMAN Robotics España, S.L. situada en Sant Boi de Llobregat (Barcelona).

La familia de robots industriales de MOTOMAN Robotics incluye diferentes series de robots.

- la serie SV está formada por pequeños robots de brazo articulado de 6 ejes con una capacidad de carga de 3 kg
- la serie UP incluye robots de brazo articulado de 6 grados de libertad con un rango de capacidad de carga de 6 kg a 200 kg
- la serie SK contempla un robot de brazo articulado con estructura de paralelogramo de 6 ejes para cargas de hasta 300 kg
- la serie SP contiene varios robots de brazo articulado con estructura de paralelogramo y uno sin paralelogramo montado sobre un eje lineal vertical con 4 grados de libertad y capaces de manipular cargas de 70 a 400 kg



Figura 2.26 Robot SV3XL

Estos robots encuentran su uso en aplicaciones de soldadura por arco, soldadura por puntos, soldadura láser, manipulación de materiales, ensamblaje, encajado y paletizado, desbarbado y pulido, encolado y sellado, corte de plasma y láser, esmerilado, pulverizado y pintado, alimentación (carga y descarga) de máquinas herramientas, operación de plegado, embalaje, y descarga de inyección de aluminio.

La serie de pequeños robots SV está formada por el SV3X y el SV3XL. Ambos tienen 6 grados de libertad y permiten manejar cargas de hasta 3 kg (nominal), con la única diferencia del alcance del robot que es de 677 mm a 795 mm respectivamente. La repetibilidad que ofrecen ambos es de $\pm 0,03$ mm.

Por tanto el robot seleccionado de MOTOMAN que más se adapta a las necesidades de la aplicación de robótica de al automatización es el SV3XL (SV3-J30). Este robot resulta muy manejable y apto para aplicaciones de manipulación, soldadura por arco, montaje y ensamblaje, encajado y alimentación de máquinas. Cada eje está compuesto por servomotores brushless AC, codificador absoluto y freno. Es capaz de alcanzar unas velocidades angulares de hasta 420 0/s.

La Figura 2.27 muestra el área de trabajo que el SV3XL puede abarcar y el alcance máximo desde el centro de la base al 5º eje, representado por el punto P.

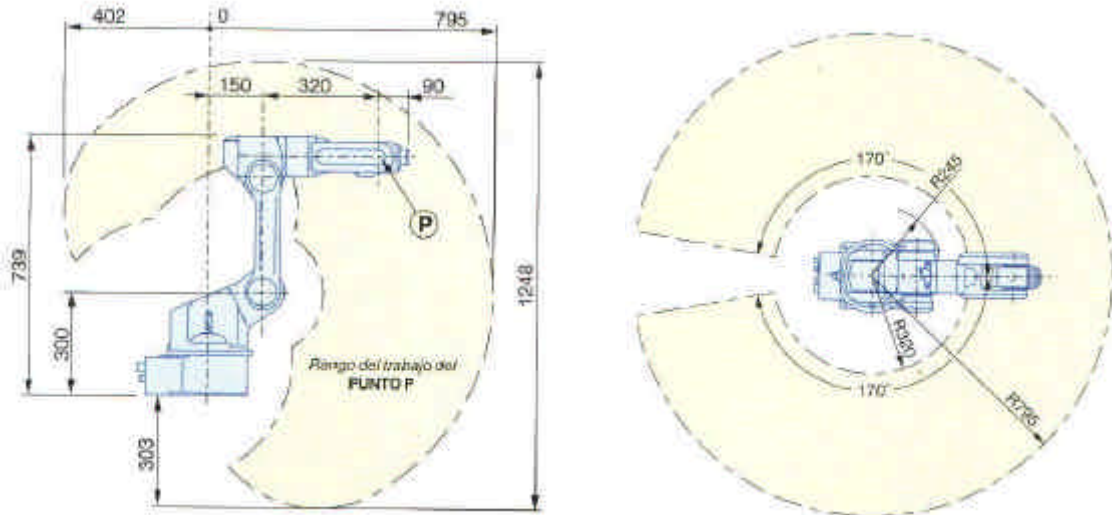
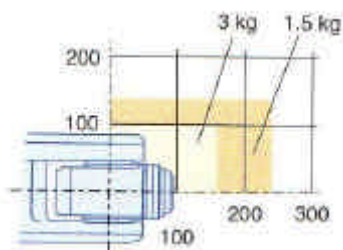


Figura 2.27 Área de trabajo del robot SV3XL



El rango de giro de cada eje está limitado mediante topes mecánicos preajustados de fábrica. Este área de trabajo del robot puede ser limitado mediante software para cada uno de los ejes.

La Figura 2.28 permite conocer la máxima carga aplicable al robot dependiendo de la distancia de ésta respecto del centro de los ejes 5º o 6º. El SV3XL soporta una carga adicional de hasta 0,5 kg en su 4º eje.

Figura 2.28 Curvas de carga del robot SV3XL

Su peso es de 35 kg y puede ser montado en suelo o en muro. El grado de estanqueidad de serie es IP54 permitiendo un amplio campo de usos. Este robot dispone de 6 entradas y 4 salidas digitales en el 1º eje. Por el contrario, no posee ninguna electroválvula interna.

El robot SV3XL es el robot más pequeño de MOTOMAN Robotics, el siguiente ya dentro de la serie UP es el UP6. Éste otro también es un robot de brazo articulado de 6 ejes que permite manipular cargas de hasta 6 kg, pero su alcance máximo es de 1611 mm. La repetibilidad que ofrece es de $\pm 0,08$ mm. Se trata de un robot mucho más voluminoso, con brazos más largos y con casi 100 kg más de peso que el SV3XL, por tanto permite una menor maniobrabilidad para entornos reducidos. Por este motivo y por sobrepasar el alcance máximo recomendado para la aplicación, además de tener una repetibilidad peor que el SV3XL, el UP6 no es apto para la aplicación. Mientras que el SV3XL es el robot escogido de la marca MOTOMAN Robotics.



Figura 2.29 Robot UP 6

El armario de control o controlador XRC de MOTOMAN es el apropiado para la serie de robots SV. El sistema de control y la potencia electrónica están integrados en este armario de control versátil, con unas dimensiones de 650x600x450 mm y con un peso total de 100 kg. El controlador XRC (Figura 2.30) posee un potente sistema de control para los 6 ejes del robot y para 21 ejes auxiliares externos integrables de manera opcional, permitiendo la operación sincronizada de 4 robots incluyendo ejes externos.



Tiene una potencia de 1 kVA y una alimentación trifásica de 200 a 220 Vac con una frecuencia admisible de 50 o 60 Hz. El controlador contiene el computador y la unidad de alimentación.

El computador comprende la consola o “teach pendant”, el panel de control situado en el frontal del armario y el hardware de control basado en un procesador RISC. Posee una capacidad de memoria para 2200 pasos y 1200 instrucciones.

La unidad de alimentación incluye la alimentación de los componentes, accionamientos de los servomotores y todos los contactores y relés requeridos para la conexión lógica.

Figura 2.30 Controlador XRC

El lenguaje de programación utilizado en los controladores MOTOMAN es el TOE. Este controlador permite realizar un backup de todo el sistema incluyendo software, programas y datos en una memoria compact flash de 32 MB.

El controlador incorpora funciones básicas de movimiento del robot. El sistema de control permite generar trayectorias punto a punto (PTP), movimientos lineales y circulares.

Por otro lado, también dispone de numerosas funciones especiales que proporcionan la capacidad de controlar la periferia del robot de una manera simple. Posee un puerto RS232, un puerto Ethernet y uno M-Net. El controlador no dispone de buses de campo para el control de entradas/salidas distribuidas. El número máximo de entradas/salidas es de 30/31. Estas entradas/salidas pueden ser digitales DC y AC. Este controlador no puede trabajar con señales analógicas.

El XRC incorpora todas las medidas para proporcionar una constante seguridad del robot y del conjunto del sistema, en cumplimiento con los requerimientos seguridad especificados en la DIN EN 775. Estas medidas de seguridad son las siguientes:

- dos pulsadores de parada de emergencia de dos canales en el panel de control y en la consola de programación
- un selector con llave para la selección del modo de operación en el panel de control
- dos ergonómicos interruptores de tres posiciones y dos canales de habilitación de movimientos o interruptores de hombre muerto en la consola de programación
- seguridad de dos canales para la protección del operador
- limitación del espacio de trabajo
- monitorización de histórico de fallos y evaluación de los elementos de seguridad
- integración del histórico de fallos de señales de seguridad del sistema

En el funcionamiento del robot se distinguen los siguientes modos de operación con diferentes niveles de seguridad en cumplimiento con la DIN EN 775:

- Modo T1: programación y test a velocidad reducida
El robot puede ser movido solamente en modo jog con los pulsadores de ejes. Además, un interruptor de habilitación en el panel de control o consola debe estar presionado. La velocidad es limitada al valor máximo permitido en el modo T1.
- Modo T2: test a velocidad de trabajo
El robot puede ser movido solamente en modo jog con los pulsadores de ejes. Además, un interruptor de habilitación en el panel de control o consola debe estar presionado. El robot puede moverse a la velocidad de trabajo.
- Modo AUTO: modo automático
Ninguna persona está permitida en la zona de trabajo del robot. El robot opera bajo el panel de control o consola, el cual debe ser colocado fuera de la zona de trabajo del robot. El funcionamiento del robot también puede estar controlado por un dispositivo externo.

El controlador XRC está equipado con una completa consola de programación o “teach pendant” TP (Figura 2.31). Es utilizada para la programación y operación del controlador de robot y así, de este modo actúa de interfaz hombre-máquina. La TP tiene unas dimensiones de 312x211x75 mm y un peso de 0,6 kg.



Figura 2.31 Consola TP

Los sistemas de coordenadas que utiliza son “Joint” (especifica eje a eje), “Base” (define el origen del sistema de coordenadas en la base del robot) y “Tool” (especifica el origen del sistema de coordenadas en el punto de la herramienta o TCP).

MOTOMAN ha desarrollado especialmente un paquete de software para la simulación y programación “off-line” de su gama de robots llamado PC Software. Este software permite la simulación y la validación de nuevas aplicaciones, realizar nuevos programas desde la oficina y optimizar programas existentes con el fin de incrementar la producción sin interrumpir la misma, y generar trayectorias más rápidas y de mejor calidad. Por tanto, PC Software es una herramienta enfocada a maximizar el rendimiento de la inversión en el sistema de robot, planificar y resulta de gran ayuda para la puesta en funcionamiento y la planificación de la aplicación.

Este software ha sido especialmente desarrollado para la programación “off-line”, simulación 3D y la optimización de los ciclos de trabajo de todos sus robots mediante un PC estándar. El paquete “PC Software” incluye varios programas como el JobEditor para la creación y edición de programas de robot “off-line”, LadderEditor para la creación y edición de programas para PLC “off-line” para robots, JobExchanger para la transferencia de ficheros entre un PC y hasta 4 robots, MotoAmin para el control remoto de uno o más robots desde un PC, MotoCalV para la calibración del robot, MotoSim para la programación “off-line” y simulación en 3D

en tiempo real, Rotsy-Pal (Figura 2.32) para la creación y edición de programas de paletizado, MotoBup para realizar “back-ups” de uno o más robots.

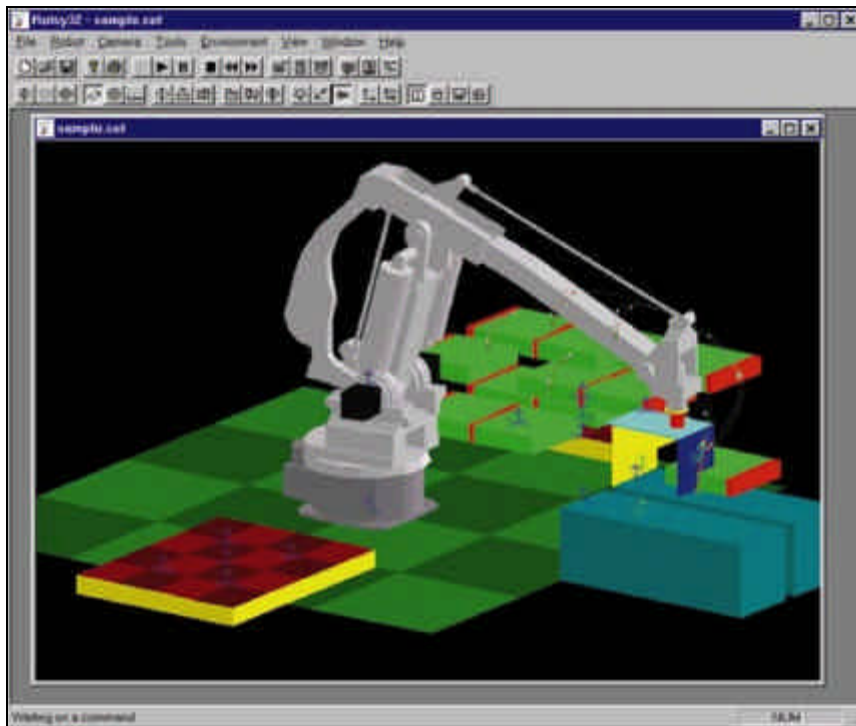


Figura 2.32 Software Rotsy-Pal

2.1.10 MANIPULADOR Y CONTROLADOR STÄUBLI

STÄUBLI es una de las empresas líderes en la fabricación de multiejes de alta precisión y robots industriales que proporcionan soluciones óptimas en automatizaciones para diferentes sectores de la industria de producción. También fabrica y suministra productos tan variados como componentes de neumática y hidráulica, multiconectores, controles de temperatura, e intercambiadores de herramientas.

STÄUBLI comenzó su actividad en el mundo de la robótica en 1982 con la distribución del robot PUMA de UNIMATION, empresa perteneciente a la división de WESTINGHOUSE USA. En 1987 lanzó la gama de robots scara RS. Un año después adquirió la empresa UNIMATION. En 1992 STÄUBLI lanzó al mercado la serie de robots de brazo articulado RX y la serie TX en 2004.

Su fábrica principal está en Faverges Francia, donde se realizan las principales tareas de desarrollo y fabricación. No obstante, posee varias fábricas en países de Europa como Suiza, Alemania e Italia. La compañía está bien arraigada en Europa con subsidiarias en España, Inglaterra, Francia, Italia, Alemania, Benelux y Suiza. La representación de STÄUBLI en España es STÄUBLI Española, S.A. con localización en Sabadell (Barcelona).

Stäubli fabrica y comercializa dos series de robots de brazo articulado de 6 ejes con una carga nominal de 1,5 a 130 kg:

- o la serie RX comprende varios modelos de robots capaces de manipular cargas que van desde 1,5 a 130 kg, a su vez cada modelo dispone de diferentes variantes adaptadas a los requerimientos específicos para cada aplicación
- o la serie TX contiene varios robots con una capacidad de carga de 1,7 a 7 kg

Éstos robots han sido diseñados para trabajar en aplicaciones tan diversas como mecanizado, pulido, desbarbado, lijado, esmerilado y acabado, pintura y pulverización, sellado de juntas y encolado, corte de precisión por plasma y soldadura, ensamblaje y manipulación, medición con o sin contacto y control. STÄUBLI ha instalado más de 13000 unidades de la gama RX en todo el mundo.

Dentro de la serie RX se ha seleccionado el modelo RX90 (Figura 2.33). El modelo estándar es un robot de brazo articulado robusto de 6 ejes con capacidad de manipular cargas de hasta 6 kg con un diseño compacto que proporciona una alta velocidad y aceleración combinada con una muy buena precisión y repetibilidad de $\pm 0,02$ mm.

El alto grado de destreza hace de él un modelo apropiado para la automatización de tareas meticulosas y detalladas como ensamblaje y manipulación de cargas, control y chequeo, pintado y pulverización de piezas, moldeado de plásticos, medición de piezas, etc.



Figura 2.33 Robot RX90

El peso del robot es de 111 kg. El montaje es apto tanto en suelo como en techo y destaca su base de reducidas dimensiones. El grado de protección IP65 permite protegerlo contra agresiones externas. También dispone de versiones específicas para plásticos, sala blanca y pintura.

El movimiento de los 6 ejes proporciona una amplia área de trabajo, con un alcance máximo de 900 mm. En la Figura 2.34 se muestra el área de trabajo abarcado por el RX90, el alcance máximo desde el centro de la base al 5º eje y el rango de giro de cada uno de los ejes.

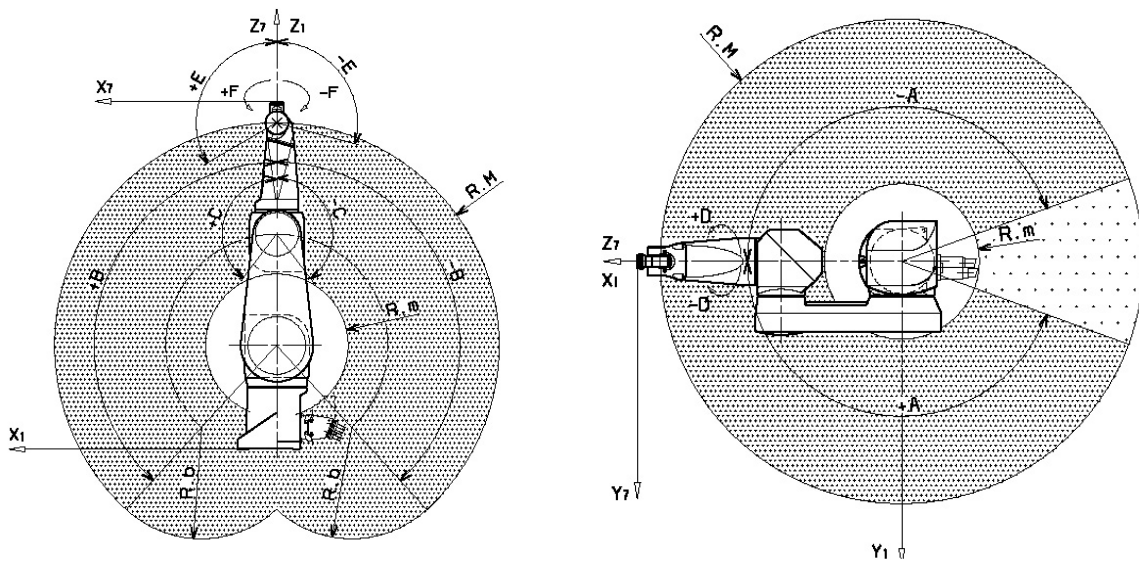
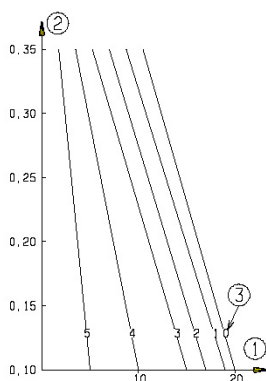


Figura 2.34 Área de trabajo del robot RX90

El rango de giro de cada eje está limitado mediante topes mecánicos preajustados de fábrica, siendo posible el ajuste de posición de los tres primeros ejes. Este área de trabajo del robot puede ser limitado mediante software para cada uno de los ejes.

Este robot permite aplicar una carga adicional en el 4º eje, este hecho repercute en una disminución de la velocidad y aceleración del robot. La Figura 2.35 permite determinar las cargas adicionales aplicables en el antebrazo del robot dependiendo de la posición de su centro de gravedad respecto del eje 3º eje y de la carga aplicada en la muñeca del robot.



1: Representa la carga adicional en kg

2: Posición del centro de gravedad de la carga adicional respecto del eje de la articulación 3ª. La posición del centro de gravedad de la carga adicional debe ser como máximo de 0.25 m desde el eje de la articulación 4ª

3: Carga aplicada en la muñeca del robot. Ésta debe ser como máximo 15 mm desde el centro de la articulación 5ª y 75 mm desde el centro de la articulación 6ª

Figura 2.35 Curvas de carga del robot RX90

Cada eje del RX90 está compuesto por un servomotor brushless, codificador absoluto y freno. El robot es capaz de alcanzar unas velocidades angulares nominales de hasta 580 0/s. Además es capaz de seguir trayectorias complejas, incluso a velocidades máximas de 1125 0/s. En cuanto a las velocidades máximas del TCP ("Tool Center Point") son de 2 m/s.

Este robot incorpora en los ejes 1º a 4º un sistema de transmisión JCS (Juntas Combinadas Stäubli) patentado por STÄUBLI, éstas transmisiones van equipadas con reductores JCS las cuales no presentan juego angular ("backlash") y no requieren mantenimiento.

El RX90 dispone de un conector eléctrico llamado “End Effector”. Localizado en el 4º eje, está formado por 7 entradas y 2 salidas digitales. Además, también posee 2 electroválvulas internas en el mismo eje ofreciendo flexibilidad en la instalación de todo tipo de actuadores neumáticos en la herramienta del robot.

La unidad de control del robot RX90 es el controlador CS8C. Desarrollado y fabricado directamente por STÄUBLI, este controlador substituye al modelo CS7B. El nuevo controlador está desarrollado bajo la base de un PC y resulta cuatro veces más rápido y más potente que su antecesor. Tiene un diseño extremadamente compacto con un formato de 19” puede ser instalado en un rack apropiado y éste a su vez, resulta fácil su integración en el interior de un armario. Sus dimensiones son de 305x445x437 mm y su peso total alcanza los 40 kg. El controlador CS8C posee un potente sistema de control para los 6 ejes del robot. Por tanto el nuevo controlador ha alcanzado un compromiso ente potencia y tamaño. La capacidad de memoria de la que dispone es de 64 MB.

Este controlador tiene una potencia de 1,2 kVA y una alimentación triásica de 400 Vac con una frecuencia admisible de 50 o 60 Hz. El controlador contiene el computador y la unidad de alimentación.



Figura 2.36 Controlador CS8C

El computador comprende el panel de control o “teach pendant” y el hardware de control basado en un procesador RISC. Posee una capacidad de memoria de 64 MB.

La unidad de alimentación incluye la alimentación de los componentes, accionamientos de los servomotores y todos los contactores y relés requeridos para la conexión lógica.

El lenguaje de programación de los robots STÄUBLI es el VAL3. Este lenguaje es intuitivo y de fácil programación. Este controlador permite realizar un backup de todo el sistema incluyendo software, programas y datos en una memoria compact flash de 64 MB.

El CS8C incorpora un sistema de software con todas las funciones básicas para operaciones y programación de movimiento del robot. El sistema de control permite generar trayectorias punto a punto (PTP), movimientos lineales y circulares. Del mismo modo, también dispone de la electrónica y de numerosas funciones especiales para el control del robot, ejes externos y equipos periféricos. Posee un puerto RS232, un RS422 y un puerto Ethernet. El controlador dispone, de manera opcional, de varios buses de campo para el control de entradas/salidas distribuidas

como Profibus-DP, DeviceNet, CANopen y Modbus. El número máximo de entradas/salidas controlables es de 32/32. Estas entradas/salidas tan sólo pueden ser digitales DC. El controlador también permite comunicar el robot con un sistema de visión mediante comunicación serie o incluso Ethernet. El CS8C posee algunos protocolos de comunicación con sistemas de visión como el Insight de COGNEX. La mayoría de las interconexiones entre el robot y el controlador se realizan con fibra óptica, de esta manera se reduce el tamaño de los cables y el número de hilos, proporcionando mejoras en la inmunidad ante el ruido. Los conectores y PCBs son extremadamente fáciles de acceder desde el panel frontal.

Este controlador incorpora todas las medidas para proporcionar una constante seguridad del robot y del conjunto del sistema, en cumplimiento con los requerimientos seguridad especificados en la DIN EN 775. Estas medidas de seguridad son las siguientes:

- un pulsador de parada de emergencia de dos canales en el panel de control o consola
- un selector con llave para la selección del modo de operación
- dos ergonómicos interruptores de tres posiciones y dos canales para la habilitación de movimientos o interruptores de hombre muerto en el panel de control o consola
- seguridad de dos canales para la protección del operador
- limitación del espacio de trabajo
- monitorización de histórico de fallos y evaluación de los elementos de seguridad
- integración del histórico de fallos de señales de seguridad del sistema

En el funcionamiento del robot se distinguen los siguientes modos de operación con diferentes niveles de seguridad en cumplimiento con la DIN EN 775:

- Modo Manual a velocidad reducida: programación y test a velocidad reducida, como máximo 250 mm/s
El robot puede ser movido solamente en modo jog con los pulsadores de ejes. Además, un interruptor de habilitación en el panel de control o consola debe estar presionado.
- Modo Manual a máxima velocidad: test a velocidad de trabajo
El robot puede ser movido solamente en modo jog con los pulsadores de ejes. Además, el interruptor de habilitación en el panel de control o consola debe estar presionado. El robot puede moverse a la velocidad de trabajo.
- Modo Automático: trabajo producción
Ninguna persona está permitida en la zona de trabajo del robot. El robot opera bajo el panel de control o consola, el cual debe ser colocado fuera de la zona de trabajo del robot. El funcionamiento del robot también puede ser controlado por un dispositivo externo.

El controlador CS8C está equipado con un completo panel de control o "teach pendant" SP1. Se trata de un panel de control manual multifuncional y ergonómico que ha sido diseñado para incrementar la facilidad de la programación y la seguridad del usuario. La consola SP1 se puede utilizar tanto con la mano derecha como con la izquierda. Además la consola tan sólo pesa 700 gramos con unas dimensiones de 320x280x128 mm.



Figura 2.37 Panel de control SP1

El panel de control permite realizar la programación, seleccionar los modos de operación, realizar los desplazamientos del robot y actúa de interfaz hombre-máquina.

La consola de programación SP1 está formado por una pantalla LCD de 16 líneas por 40 caracteres, un teclado de membrana. Entre los elementos de control de operador que incorpora destaca la parada de emergencia y dos interruptores de hombre muerto con tres posiciones. Los sistemas de coordenadas que utiliza son "Joint" (especifica eje a eje), "Base" (fija el origen de coordenadas en la base del robot) y "Tool" (fija el origen del sistema de coordenadas en el punto de la herramienta o "Tool Center Point").

STÄUBLI facilita el software Toolbox formado por una librería de plantillas que permite una creación rápida de aplicaciones de carga/descarga, paletizado, máquina herramienta o inyección en máquinas de prensa. Además, también existe un software de programación para PC llamado SRS (Stäubli Robotics Studio). Este software facilita la programación del robot incluso para programadores poco expertos. También se dispone de un software especial para aplicaciones de pintado llamado V-Paint.

2.1.11 MANIPULADOR Y CONTROLADOR MITSUBISHI ELECTRIC



es uno de los líderes mundiales en la producción de pequeños robots industriales. MITSUBISHI ELECTRIC se estableció en 1921 como resultado de la unión de varias compañías japonesas. En 1978 fabricó su primer robot. Entre la extensa gama de productos que fabrica destacan productos para la automatización como controles numéricos, autómatas, controles de ejes, convertidores de frecuencia y otros productos como semiconductores, sistemas de telecomunicación, ascensores y equipos de aire acondicionado.

MITSUBISHI ELECTRIC Corporation tiene su fábrica principal en Nagoya Japón, donde se realizan las principales tareas de desarrollo y fabricación. No obstante posee varias fábricas en países de Europa como España, Inglaterra, Francia, Italia y Alemania. La compañía está bien arraigada en Europa con subsidiarias en España, Inglaterra, Francia, Italia, Holanda, Portugal y Alemania. La representación de MITSUBISHI ELECTRIC en España es MITSUBISHI ELECTRIC Ibérica, S.L. y se encuentra en Sant Cugat del Vallés (Barcelona).

Desde 1978 MITSUBISHI ELECTRIC ha instalado sus robots en multitud de aplicaciones para diferentes campos. En la actualidad fabrica y comercializa una gama de pequeños robots MELFA. Esta gama está formada por las siguientes series:

- la serie RP compuesta por robots de brazo articulado de precisión con 4 grados de libertad y con capacidad para manipular cargas de 1 a 5 kg con una repetibilidad de $\pm 0,005$ mm
- la serie RH comprende robots scara con 4 grados de libertad y capacidad de 5 a 10 kg
- la nueva serie RV incluye robots de brazo articulado con 6 grados de libertad y con una capacidad de carga desde 1 hasta 12 kg



Estos pequeños robots, compactos y de alto rendimiento son ideales para aplicaciones de manipulación y ensamblaje. A su vez, existen versiones especiales de todos los modelos para sala limpia tanto de clase 10 como 100.

De entre la serie de robots MELFA se ha escogido el RV-6S. Es un robot industrial de 6 grados de libertad capaz de manipular una carga nominal de 5 kg garantizando una repetibilidad de $\pm 0,02$ mm. El alcance máximo que permite es de 696 mm.

Su diseño compacto admite su uso en ambientes industriales, centros de investigación, enseñanza, universidades y laboratorios, en aplicaciones de manipulación y ensamblaje de medio alcance con pequeños componentes.

El robot RV-6S posee servomotores AC de alta precisión en cada eje que consiguen minimizar el mantenimiento del sistema de accionamiento. Además, incorpora de serie frenos en cada eje.

Figura 2.38 Robot RV-6S

Dispone de codificadores absolutos, los cuales permiten tener el robot listo para funcionar después de encender el controlador. El robot es capaz de alcanzar unas velocidades angulares de hasta 660 °/s. En cuanto a la velocidad máxima del TCP ("Tool Center Point") puede alcanzar los 9,3 m/s.

El robot tiene un peso de 49 kg y puede ser montado en suelo o invertido. El grado de estanqueidad de serie es IP54 para los tres primeros ejes e IP65 para el resto permitiendo un amplio campo de usos.

La Figura 2.39 muestra el área de trabajo que el RV-6S puede abarcar y el alcance máximo desde el centro de la base al 5º eje. Este envoltorio corresponde a las posiciones que el punto Q (centro del 5º eje) puede alcanzar.

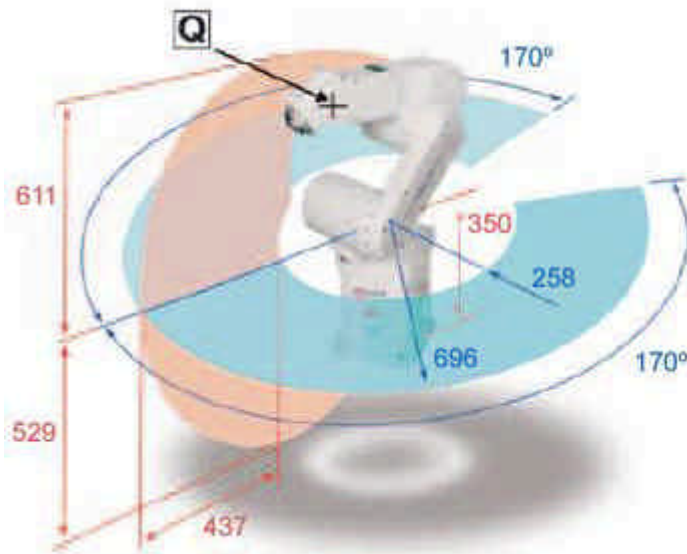


Figura 2.39 Área de trabajo del robot RV-6S

El rango de giro de cada eje está limitado mediante topes mecánicos preajustados de fábrica. Este área de trabajo del robot puede ser limitado mediante software para cada uno de los ejes.

El RV-6S también soporta cargas adicionales en varios ejes, concretamente permite 0,5 kg de peso en el 3º eje.

Este robot incorpora un conector eléctrico con 8 entradas digitales en el 4º eje, las cuales pueden utilizarse para conectar sensores de las pinzas de la herramienta e incluso, señales de interrupción de movimientos. También dispone de 4 electroválvulas internas en el mismo eje del robot que permiten el control de dos pinzas o dos cilindros neumáticos pequeños.

El controlador del robot RV-6S es el CR2B-574 (Figura 2.40). El sistema de control y la potencia electrónica están integrados en este armario de control compacto, con unas dimensiones de 200x460x400 mm y con un peso total de apenas 35 kg. El controlador CR2B-574 posee un potente sistema de control para los 6 ejes del robot y para 8 ejes auxiliares externos integrables de manera opcional. De esta manera es posible implementar un eje lineal en la base del robot para aumentar el área de trabajo del éste.

Este controlador tiene una potencia de 0,9 kVA y una alimentación monofásica de 200V a 220V con una frecuencia admisible de 50 o 60 Hz. El controlador contiene el computador y la unidad de alimentación.



Figura 2.40 Controlador CR2B-574 y "Teaching Box"

El computador comprende la consola o "teaching box", el panel de control situado en el armario y el hardware de control basado en un procesador RISC de 64 bits con DSP el cual ofrece la flexibilidad necesaria en las aplicaciones industriales. Posee una capacidad de memoria de 32 MB.

La unidad de alimentación incluye la alimentación de los componentes, accionamientos de los servomotores y todos los contactores y relés requeridos para la conexión lógica.

El lenguaje de programación utilizado en los robots MITSUBISHI es el Melfa-Basic IV. De fácil aprendizaje y manejo, ofrece herramientas de programación potentes permitiendo resolver secuencias de movimientos complejas en pocos minutos. Este controlador permite realizar un backup de todo el sistema incluyendo software, programas y datos en una memoria compact flash de 16 MB.

El controlador CR2B-574 incorpora funciones básicas de movimiento del robot. El sistema de control permite generar trayectorias punto a punto (PTP), movimientos lineales y circulares.

Por otro lado, también dispone de numerosas funciones especiales que proporcionan la capacidad de controlar la periferia del robot y el intercambio de datos, programas y posiciones con un PC u otro dispositivo externo. Posee un puerto RS232, un puerto RS422 y un puerto Ethernet. El controlador dispone del bus de campo CC-Link para el control de entradas/salidas distribuidas.

El número máximo de entradas/salidas es de 256/256. Estas entradas/salidas pueden ser digitales DC. Este controlador no puede trabajar con señales analógicas.

El desarrollo de los programas se realiza con la ayuda de un PC, cargando estos al controlador de manera rápida y eficaz. Gracias a el interfaz Ethernet es posible la integración del robot en una red Ethernet usando el protocolo TCP/IP.

Los controladores de robot están dotados de un sistema multitarea el cual soporta la ejecución de hasta un total de 32 tareas al mismo tiempo además de generar las secuencias de movimiento del robot. Por ejemplo, controlar simultáneamente dispositivos externos, leer posiciones de un sistema de visión e incluso, controlar ejes externos al robot.

El CR2B-574 incorpora todas las medidas para proporcionar una constante seguridad del robot y del conjunto del sistema, en cumplimiento con los requerimientos seguridad especificados en la DIN EN 775. Estas medidas de seguridad son las siguientes:

- un pulsadores de parada de emergencia de dos canales en el panel de control y en la consola de programación
- dos selectores con llave para la selección del modo de operación en el panel de control y en la consola de programación
- un ergonómico interruptor de tres posiciones y dos canales para la habilitación de movimientos o interruptor de hombre muerto en la consola de programación
- seguridad de dos canales para la protección del operador
- limitación del espacio de trabajo
- monitorización de histórico de fallos y evaluación de los elementos de seguridad
- integración del histórico de fallos de señales de seguridad del sistema

En el funcionamiento del robot se distinguen los siguientes modos de operación con diferentes niveles de seguridad en cumplimiento con la DIN EN 775:

- Modo PROG: programación y test a velocidad reducida
El robot puede ser movido solamente en modo jog con los pulsadores de ejes. Además, un interruptor de habilitación en el panel de control o consola debe estar presionado. La velocidad está limitada.
- Modo MANUAL: test a velocidad de trabajo
El robot puede ser movido solamente en modo jog con los pulsadores de ejes. Además, un interruptor de habilitación en el panel de control o consola debe estar presionado. El robot puede moverse a la velocidad de trabajo.
- Modo AUTO: modo automático
Ninguna persona está permitida en la zona de trabajo del robot. El robot opera bajo el panel de control o consola, el cual debe ser colocado fuera de la zona de trabajo del robot. El funcionamiento del robot también puede estar controlado por un dispositivo externo.

El controlador CR2B-574 está equipado con una pequeña consola de programación llamada "Teaching Box". Es utilizada para la programación y operación del controlador de robot y así, de este modo actúa de interfaz hombre-máquina. La "Teaching Box" tiene unas dimensiones de 190x130x80 mm y un peso de 0,5 kg.

La "Teaching Box" está formada por una pantalla LCD de 4 líneas por 20 caracteres y un teclado de membrana. Entre los elementos de control de operador que incorpora destaca la parada de emergencia, el interruptor de hombre muerto el cual

proporciona una máxima seguridad para la programación de las posiciones del robot y el selector de habilitación. Los sistemas de coordenadas que utiliza son “Joint” (especifica eje a eje), “Base” (define el origen del sistema de coordenadas en la base del robot) y “Tool” (especifica el origen del sistema de coordenadas en el punto central de la herramienta o TCP).

La interfaz de programación Cosirop (Figura 2.41) es un software utilizado para la programación de los robots. Este paquete de software ha sido desarrollado en entorno Windows y contiene funciones adicionales para el control online, configuración de parámetros y diagnóstico.

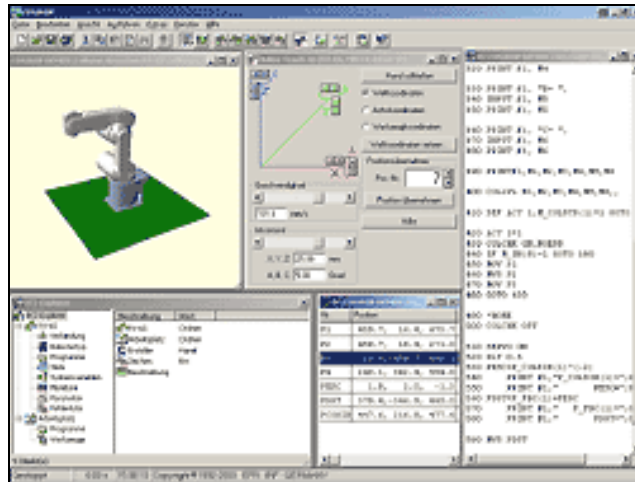


Figura 2.41 Software de programación Cosirop

MITSUBISHI también ha desarrollado un software de simulación 3D llamado Casimir (Figura 2.42). Éste incluye todas las funciones del Cosirop y también soporta el diseño de la aplicación del robot, para la optimización del layout. Además, incluye funciones de chequeo para asegurar que todas las posiciones son accesibles por el robot. El software permite simular todas las secuencias de movimientos en 3D permitiendo prevenir colisiones y optimizar el ciclo de trabajo. Además de la simulación de los movimientos del robot, el Cosimir permite también simulaciones reales de otros objetos de la aplicación como mesas de giro indexadas, cintas transportadoras, etc. Ese paquete de programación “off-line” se usa generalmente para realizar simulaciones en 3D de la aplicación con el objetivo de obtener información detallada y útil para el diseño físico de la aplicación.

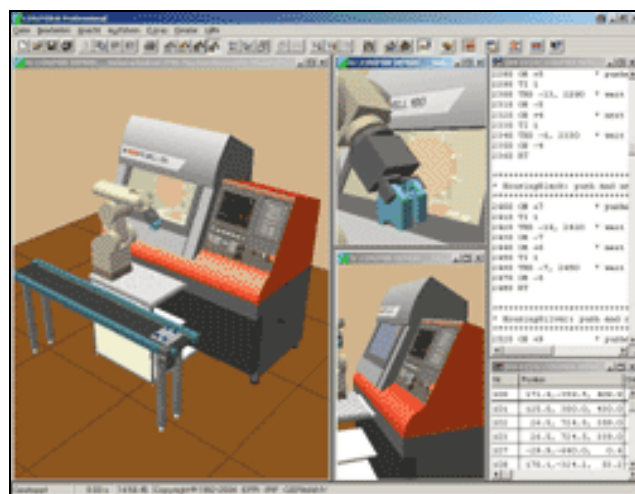


Figura 2.42 Software de simulación Cosimir

2.1.12 ELECCIÓN DEL ROBOT

La elección del robot es tal vez uno de los puntos clave del éxito de la automatización. Todos los robots seleccionados cumplen con las características principales, mencionadas en el capítulo 2.1.4 Criterios de selección, y requeridas por la aplicación de robótica de la automatización.

En la Tabla 2.2 se realiza una comparativa con las características más importantes, tanto de los robots como de sus controladores y consolas de programación. Esta tabla, a modo de resumen, ofrece una visión objetiva que permite comparar cada uno de los modelos, con el fin de facilitar la elección final del robot que se utilice en la aplicación de robótica de la automatización. Si bien es cierto que también se tienen en cuenta otros aspectos que no son meramente las prestaciones técnicas de los equipos. Entre ellos destacan:

- ✓ el precio es bastante diferente entre los diferentes modelos de robots y las condiciones de pago, en cambio, son prácticamente iguales para cada fabricante
- ✓ el plazo de entrega de todos los robots oscila entre las 3 y las 6 semanas dependiendo del stock de cada suministrador
- ✓ como se ha mencionado anteriormente la cercanía del suministrador tanto del lugar de montaje como en la del cliente final es buena ya que todos disponen de sucursales en varias ciudades de España
- ✓ todos los suministradores disponen de soporte técnico y ofrecen cursos de formación tanto a nivel de programación y de mantenimiento

De entre los factores anteriores el precio resulta ser el más relevante conjuntamente con las características técnicas. Por tanto, para la elección se recurre al buen criterio, escogiendo, dentro de los robots seleccionados, aquel que mejor cumple y más se adapte a las características necesarias para la aplicación de robótica de la automatización y buscando siempre el compromiso entre precio y prestaciones. No se debe escoger el mejor robot de todos sino aquel que se adapta mejor a las necesidades de la aplicación. También cabe resaltar en la elección la importancia la compatibilidad del robot con el resto de componentes que integran la automatización.

Por tanto, el precio es un primer factor que establece una clasificación inicial de los robots. En la Tabla 2.1 se detalla una tabla ordenada según el precio de venta de cada robot de menor a mayor:








CLASIFICACIÓN POR PRECIO					
POS.	ROBOT	MARCA	PRECIO	DPRECIO*	DPRECIO**
1	SV3XL	MOTOMAN	22.320,00 €	0,00 €	0,00 €
2	IRB 140	ABB	23.990,00 €	1.670,00 €	1.670,00 €
3	LR Mate 200iB	FANUC Robotics	24.339,00 €	2.019,00 €	349,00 €
4	KR 3	KUKA	25.732,00 €	3.412,00 €	1.393,00 €
5	RV-6S	MITSUBISHI	26.250,00 €	3.930,00 €	518,00 €
6	RX90	STÄUBLI	27.600,00 €	5.280,00 €	1.350,00 €
7	RV 4	REIS Robotics	30.235,00 €	7.915,00 €	2.635,00 €

(*) Incremento de precio de cada robot en comparación con el de menor precio de venta.

(**) Incremento de precio de venta del robot en comparación con el robot que le precede.

Tabla 2.1 Clasificación por precio de los robots seleccionados

Automatización del Proceso de Ensamblaje del Soporte del Sensor de Lluvia en Parabrisas

ROBOTS								ROBOTS
Marca	KUKA	ABB	FANUC Robotics	REIS Robotics	MOTOMAN	STÄUBLI	MITSUBISHI	Marca
Manipulador	KR 3	IRB 140	LR Mate 200/B	RV 4	SV3XL	RX90	RV-6S	Manipulador
Ejes	6	6	6	6	6	6	6	Ejes
Carga nominal (kg)	3	5	5	4	3	6	5	Carga nominal (kg)
Carga (kg) adicional en eje	0,5 en 3º	1 en 3º y 0,5 en 4º	1 en 4º	6 en 3º	0,5 en 3º	20 en 4º	0,5 en 3º	Carga (kg) adicional en eje
Alcance (mm)	635	810	700	990	795	900	696	Alcance (mm)
Repetibilidad (mm)	±0,05	±0,03	±0,04	±0,03	±0,03	±0,02	±0,02	Repetibilidad (mm)
Accionamiento	Brushless DC	Brushless	Brushless AC	Brushless	Brushless AC	Brushless	Servo AC	Accionamiento
Sensores de posición	Encoders abs.	Resolvers	Encoders incr.	Resolvers	Encoders abs.	Encoders abs.	Encoders abs.	Sensores de posición
Resolución sensor posición	2048pasos/vuelta	8000pasos/vuelta	65536pasos/vuelta	8000pasos/vuelta	2048pasos/vuelta	-	2048pasos/vuelta	Resolución sensor posición
Transmisión	Harmonic Drive	Harmonic Drive	Harmonic Drive	Harmonic Drive	Harmonic Drive	JCS	Harmonic Drive	Transmisión
Frenos mecánicos	J1, J2, J3 y J5	Todos los ejes	J2 y J3, opc. todos	Todos los ejes	Todos los ejes	Todos los ejes	Todos los ejes	Frenos mecánicos
Resolución (mm y grados)	0,001mm y 0,001º	0,01 mm y 0,01º	0,001 mm y 0,001º	-	0,01 mm y 0,001º	- y 0,72-2,75º·10 ⁻³	-	Resolución (mm y grados)
Rango de Movimiento (grados)	J1 ±180 J2 -45 a +135 J3 -225 a +45 J4 ±180 J5 ±135 J6 Sin fin	-180 a +180 -90 a +110 -230 a +50 ±200 ±120 ±400	±160 -33 a +152 -149,8 a +165 ±190 ±120 ±360	±180 -30 a +115 -150 a +120 ±180 ±123 ±360	±170 -45 a +150 -70 a +190 ±180 ±135 ±350	±160 ±137.5 ±142.5 ±270 +120 a -105 ±270	±170 -92 a +135 -107 a +166 ±160 ±120 ±360	Rango de Movimiento (grados)
Velocidad de Movimiento (grados/s)	J1 240 J2 210 J3 240 J4 375 J5 300 J6 375	200 200 260 360 360 450	180 180 225 400 330 480	180 180 200 350 350 550	150 120 195 300 300 420	236 200 286 401 320 580	401 321 401 352 450 660	Velocidad de Movimiento (grados/s)
Vel. / Acel. TCP máx. (m/s)	-	2,5 / 20	-	-	-	2 / -	9,3 / -	Vel. / Acel. TCP máx. (m/s)
Entradas / Salidas digitales	4 / 4 en 4º eje	12 / 0 en 3º eje	6 / 0 en 4º eje	4 / 4 en 4º eje	6 / 4 en 1º eje	7 / 2 en 4º eje	8 / 0 en 4º eje	Entradas / Salidas digitales
Electroválvulas internas	0	0	2-3	0	0	2	4	Electroválvulas internas
Peso robot (kg)	53	98	45	195	35	111	49	Peso robot (kg)
Montaje	suelo o techo	suelo, ángulo o techo	suelo, ángulo o techo	suelo o techo	suelo o muro	Suelo o techo	suelo o techo	Montaje
Grado de protección	IP54	IP67	IP65	IP54	IP54	IP65	IP54(1-3) IP65(4-6)	Grado de protección
Temperatura de fun. (°C)	10 ~ 40	5 ~ 45	0 ~ 45	5 ~ 45	0 ~ 45	5 ~ 40	0 ~ 40	Temperatura de fun.. (°C)
Humedad relativa (%)	95	95	95	95	20-80	95	95	Humedad relativa (%)
Nivel ruido acústico (dB)	<70	<70	=70	70	70	70	70	Nivel ruido acústico (dB)
Precio (con IVA)	25.732 €	23.990 €	24.339 €	30.235 €	22.320 €	27.600 €	26.250 €	Precio (con IVA)




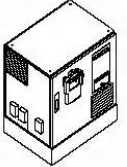










CONTROLADORES DE ROBOT								CONTROLADORES DE ROBOT
Marca	KUKA	ABB	FANUC Robotics	REIS Robotics	MOTOMAN	STÄUBLI	MITSUBISHI	Marca
Controlador	KR C2	S4Cplus	R-J3/B Mate	ROBOTstarV	XRC	CS8C	CR2B-574	Controlador
Ejes controlables	8	12	8	24	27	6	14	Ejes controlables
Tamaño (AlxAxP) (mm)	485 x 460 x 310	950 x 800 x620	470 x 530 x 320	900 x 800 x 600	650 x 600 x 450	305 x 445 x 437	200 x 460 x 400	Tamaño (AlxAxP) (mm)
Peso Controlador (kg)	185	250	35	215	100	40	35	Peso Controlador (kg)
Suministro potencia	3x400Vac ±10% 49/61Hz	3x200-600Vac +10% -15% 48,5 a 61,8Hz	3x380-500Vac +10% -15% 50/60Hz ±1%	3x400Vac ±10% 50/60Hz	3x200-220 Vac +10% -15% 50/60 Hz	3x400 Vac ±10% 50/60 Hz	200-220 Vac ±10% 50/60 Hz	Suministro potencia
Potencia (kVA)	7,3	4,8	1,2	2,4	1	1,2	0,9	Potencia (kVA)
CPU	Procesador Pentium o equivalente	Multiprocesador Pentium	Multiprocesadores RISC (mov y com) reloj tiempo real	Intel Celeron 300MHz	Procesador RISC	Procesador RISC	Procesador RISC de 64bits	CPU
Capacidad Memoria (MB)	6400	64/128	32	64	2200 pasos y 1200 instrucc.	64	32	Capacidad Memoria (MB)
Backup (MB)	64 MB Compact Flash Disk	1,44 MB Disquete 3 ^{1/2}	32 MB Compact Flash Disk	32 MB Compact Flash Disk	32 MB Compact Flash Disk	64 MB Compact Flash Disk y USB	16 MB Compact Flash Disk	Backup (MB)
Lenguaje de programación	KRL	RAPID	TPE, KAREL, PMC	ROBOTstarV	TOE	VAL3	MELFA-BASIC IV	Lenguaje de programación
Comunicación	2xRS232, RS485, Ethernet	2xRS232, RS485, 2xEthernet	Puerto RS232, Ethernet	2xRS232, RS485 Ethernet	RS232, Ethernet, M-NET	RS232, RS422, Ethernet	RS232, RS422, Ethernet	Comunicación
Número Entradas/Salidas	512/512	1024/1024	512 puntos máx.	256/256	30/31	32/32	256/256	Número Entradas/Salidas
Tipos Entrada/Salida	Digitales DC/AC Analógicas 12bits ±10V, 4-20mA	Digitales DC/AC Analógicas 12bits ±10V, 4-20mA	Digitales DC/AC Analógicas 12 bits ±10V, 0/4-20mA	Digitales DC/AC Analógicas 12bits ±10V, 4-20mA	Digitales DC/AC	Digitales DC	Digitales DC	Tipos Entrada/Salida
Bus de campo para E/S remotas	DeviceNet, CAN, Interbus-S	Profibus-DP, 2XDeviceNet, Interbus-S, 2xCAN	Fanuc I/O, Profibus-DP, DeviceNet, Interbus-S	CAN	-	Profibus-DP, DeviceNet, CANopen/Modbus	CC-Link	Bus de campo para E/S remotas
Grado de protección	IP54	IP54	IP20	IP20	IP54	IP20	IP20	Grado de protección
Temperatura de func.(°C)	5-45	5-52	0-45	5-45	0-45	5-40	0-40	Temperatura de func. (°C)
Humedad relativa (%)	95	95	95	95	90	95	45-85	Humedad relativa (%)
CONSOLAS DE PROGAMACIÓN								CONSOLAS DE PROGAMACIÓN
Modelo	KCP	TPU	iPendant	PHG	TP	SP1	Teaching Box	Modelo
Pantalla	8" 640x480píxeles	LCD 16x40	8" 640x480píxeles	8"640x480píxeles	LCD 12x40	LCD 16x40	LCD 4x20	Pantalla
Tamaño (AlxAxP) (mm)	260 x 330 x 110	185 x 325 x 120	332 x 205 x 115	355 x 210 x 85	312 x 211 x 75	320 x 280 x 128	190 x 130 x 80	Tamaño (AlxAxP) (mm)
Peso (kg)	1,4	1	1,3	1,5	0,6	0,7	0,5	Peso (kg)

Tabla 2.2 Características robots y controladores seleccionados

Según la Tabla 2.2 el mejor robot de todos es el RX90 de STÄUBLI y por ello puede disponer de muchas prestaciones que no son requeridas por la aplicación y que pueden suponer un despilfarro económico debido a su elevado precio.

Como se ha comentado todos los robots cumplen con las especificaciones pero no en la misma medida, es decir, todos son robots de brazo articulado con 6 grados de libertad, pero tienen otras características que satisfacen en diferente manera las necesidades de la aplicación de robótica de la automatización. Por tanto, se realiza a continuación un análisis de cada robot destacando sus ventajas y desventajas. Del resultado de éste se determina el robot elegido para la aplicación de robótica.







KUKA	
	Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Apto para aplicaciones de ensamblaje ▪ Rango de movimientos bueno ▪ Velocidad de movimientos buena ▪ E/S integradas ▪ Peso reducido ▪ Base reducida ▪ Controlador con comunicación vía serie y Ethernet
	Desventajas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacidad de carga muy pequeña, mínima requerida ▪ Alcance corto, puede presentar problemas ▪ Repetibilidad peor de entre todos los robots ▪ No dispone de electroválvulas internas ▪ Precio medio
	Resultado: Debido a sus desventajas su calidad/precio es mala, por tanto, este robot es descartado.
	KR 3

ABB	
	Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Apto para aplicaciones de ensamblaje ▪ Capacidad de carga óptima ▪ Alcance óptimo, entre el mínimo y el máximo requerido ▪ Repetibilidad muy buena ▪ Rango de movimientos muy bueno ▪ Velocidad de movimientos buena ▪ E/S integradas ▪ Controlador con comunicación vía serie o Ethernet ▪ Precio bajo
	Desventajas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ No dispone de electroválvulas internas ▪ Peso elevado ▪ Base de grandes dimensiones
	Resultado: En principio su calidad/precio es buena, por tanto, es un candidato a ser elegido.
	IRB 140

FANUC Robotics	
	Ventajas:
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apto para aplicaciones de ensamblaje ▪ Capacidad de carga óptima ▪ Alcance óptimo, entre el mínimo y el máximo requerido ▪ Repetibilidad muy buena ▪ Rango de movimientos muy bueno ▪ Velocidad de movimientos buena ▪ E/S integradas ▪ Dispone de electroválvulas internas ▪ Peso muy reducido ▪ Base de muy reducidas dimensiones ▪ Controlador con comunicación vía serie o Ethernet ▪ Precio bajo
	Desventajas:
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Frenos en sólo 2 ejes de serie
	<p>Resultado: En principio su calidad/precio es muy buena y es un candidato con muchas posibilidades de ser elegido.</p>
LR Mate 200iB	

REIS Robotics	
	Ventajas:
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apto para aplicaciones de ensamblaje ▪ Repetibilidad buena ▪ Rango de movimientos bueno ▪ Velocidad de movimientos buena ▪ E/S integradas ▪ Controlador con comunicación vía serie o Ethernet
	Desventajas:
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacidad de carga pequeña ▪ Alcance excesivamente largo, mayor de entre todos los robots ▪ No dispone de electroválvulas internas ▪ Peso muy elevado, mayor de entre todos los robots ▪ Base de grandes dimensiones ▪ Precio muy elevado, el mayor de entre todos los robots
	<p>Resultado: Debido a sus desventajas su calidad/precio es muy mala, por tanto, este robot es descartado.</p>
RV 4	

MOTOMAN	
	Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Apto para aplicaciones de ensamblaje ▪ Alcance óptimo, entre el mínimo y el máximo requerido ▪ Repetibilidad buena ▪ Rango de movimientos bueno ▪ E/S integradas ▪ Peso muy reducido, el menor de entre todos los robots ▪ Base de reducidas dimensiones ▪ Controlador con comunicación vía serie o Ethernet ▪ Precio bajo, el menor de entre todos los robots
	Desventajas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacidad de carga muy pequeña, mínima requerida ▪ Velocidad de movimientos peor de entre todos los robots ▪ No dispone de electroválvulas internas
	Resultado:
	Debido a sus desventajas su calidad/precio es mala, por tanto, este robot es descartado.
SV3XL	

STÄUBLI	
	Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Apto para aplicaciones de ensamblaje ▪ Repetibilidad muy buena, mejor de entre todos los robots ▪ Rango de movimientos muy bueno ▪ Velocidad de movimientos buena ▪ E/S integradas ▪ Dispone de electroválvulas internas ▪ Base de reducidas dimensiones ▪ Controlador con comunicación vía serie o Ethernet
	Desventajas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacidad de carga excesiva, más alta de entre todos los robots ▪ Alcance excesivamente largo ▪ Peso elevado ▪ Precio muy elevado
	Resultado:
	En principio su calidad/precio es buena, pero sus prestaciones superan ampliamente las requeridas por la aplicación, por tanto, este robot es descartado.
RX90	

MITSUBISHI	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Apto para aplicaciones de ensamblaje ▪ Capacidad de carga óptima ▪ Alcance óptimo, entre el mínimo y el máximo requerido ▪ Repetibilidad muy buena, mejor de entre todos los robots ▪ Rango de movimientos muy bueno ▪ Velocidad de movimientos muy buena, la mejor de entre todos los robots ▪ E/S integradas ▪ Dispone de electroválvulas internas ▪ Base de reducidas dimensiones ▪ Peso reducido ▪ Controlador con comunicación vía serie o Ethernet <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Precio muy elevado <p>Resultado:</p> <p>En principio su calidad/precio es buena, por tanto, es un candidato a ser elegido.</p>
RV-6S	



Los tres robots candidatos a ser elegidos son muy similares y los tres pueden formar parte de la aplicación con las mismas garantías. No obstante, sólo uno de ellos puede ser elegido. El más barato es el IRB 140 de ABB pero es descartado por tener un peso elevado, tener una base de grandes dimensiones y no disponer de electroválvulas internas, lo contrario que los otros dos. La diferencia de precio de este robot con respecto al LR Mate 200/B de FANUC es inapreciable, por el contrario el RV-6 de MITSUBISHI es bastante más caro que los dos anteriores. Es por este motivo que el RV-6S también es descartado, ya que sus prestaciones son prácticamente iguales que las del robot de FANUC, pero su precio es bastante mayor. El hecho de que el LR Mate 200/B no disponga de serie de frenos en todos sus ejes sino tan sólo en el 2º y 3º no es un hecho relevante para la aplicación. Por tanto, el robot elegido para la aplicación de robótica de la automatización del proceso de ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en parabrisas de automóviles es el LR Mate 200/B de FANUC.



Figura 2.43 Robot LR Mate 200/B

Además, el LR Mate 200/B permite gracias a la opción de software “Torque Limit” controlar el punto crítico de la **profundidad del ensamblaje**. El software “Torque Limit” permite ajustar el par máximo para cada motor independientemente, con el fin de controlar la presión ejercida por la herramienta contra el parabrisas. Por tanto, no es necesario requerir de un sensor capaz de localizar o bien avisar cuando el utillaje alcanza o está en contacto con la ventana de serigrafía del vidrio.

2.2 SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL INDUSTRIAL

En este capítulo se realiza un estudio en profundidad de los sistemas de visión artificial industriales. El objetivo es poder elegir un sistema de visión para la aplicación de visión artificial de la automatización capaz de localizar la ventana sin serigrafía del parabrisas y comunicar al robot su posición para realizar el ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en la posición correcta.

Normalmente, un sistema de visión artificial industrial está compuesto por las siguientes partes:

- Iluminación: es el elemento clave de un sistema de visión industrial. Su objetivo es mejorar el contraste de los objetos para distinguir las estructuras de interés. Para obtener los óptimos resultados de cada estructura se requiere de experiencia para elegir el sistema de iluminación apropiado. En el capítulo de iluminación se detallan los tipos, las técnicas y la elección de la iluminación más adecuada según los criterios de selección del sistema de visión artificial industrial propios de la automatización.
- Óptica: se utilizan para transmitir la luz al sensor de la cámara de una forma controlada y así obtener una imagen enfocada de uno o varios objetos. En el capítulo de las ópticas se detallan los parámetros técnicos, los criterios de calidad y la elección de la óptica más adecuada según los criterios de selección del sistema de visión artificial industrial propios de la automatización.
- Cámara: su función es la de capturar la imagen proyectada en el sensor, vía las ópticas, para poder transferirla a un sistema electrónico y así poder ser interpretada, almacenada y/o visualizada. Este sistema puede ser un monitor para visualizar la imagen, un vídeo para almacenarla o un ordenador para visualizar, almacenar, procesar y medir. En el capítulo de cámaras se detallan los tipos, las características y la elección de la cámara más adecuada según los criterios de selección del sistema de visión artificial industrial propios de la automatización.
- “Frame grabber” o capturadora de imágenes: tiene por objetivo digitalizar las imágenes tomadas y enviarlas a la memoria del ordenador con el fin de procesarlas, analizarlas y/o visualizarlas. En el capítulo de “frame grabbers” se detallan las categorías, las características y la elección de la capturadora de imagen más adecuada según los criterios de selección del sistema de visión artificial industrial propios de la automatización.
- Software: realiza el procesamiento y el análisis de las imágenes capturadas. La base del software de un sistema de visión es la interpretación y análisis de los píxeles. En el capítulo de software se detallan los fundamentos teóricos, los tipos y la elección del software más adecuado según los criterios de selección del sistema de visión artificial industrial propios de la automatización.

No obstante, un sistema de visión artificial no tiene porque estar necesariamente compuesto por cada una de estas partes independientes unas de las otras, sino que algunas de éstas pueden encontrarse integradas en un único dispositivo.

En este capítulo, también se establecen los criterios de selección y las características que debe cumplir el sistema de visión para adecuarse a las necesidades de la automatización. Una vez conocidas, se realiza un análisis exhaustivo de la oferta de sistemas de visión existente en el mercado actual en búsqueda de aquel que sea óptimo para la aplicación de visión de la automatización.

2.2.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Para realizar la selección del sistema de visión artificial industrial, en primer lugar, cabe conocer la aplicación, sus objetivos y requerimientos, y determinar en función de estos las características principales que debe cumplir el sistema de visión artificial industrial de la automatización.

Las características principales de los sistemas de visión que permiten determinar los requerimientos del sistema necesario para cualquier aplicación de visión son las siguientes:

- el objetivo
- el objeto y sus dimensiones
- el área de visión
- la distancia de trabajo
- la resolución

Por tanto para la aplicación del sistema de visión de la automatización del proceso de ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en parabrisas se requiere un sistema de visión con las siguientes características principales:

- ✓ El objetivo de la aplicación del sistema de visión artificial de la automatización es localizar la ventana sin serigrafía del parabrisas, calcular su posición y comunicársela al robot para que éste realice el ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en la posición correcta cumpliendo las tolerancias de posición.
- ✓ El objeto del que se pretende capturar imágenes es la ventana sin serigrafía del parabrisas. La ventana es traslúcida y está delimitada por la serigrafía. Tiene una forma de rombo horizontal con esquinas chaflanadas y sus dimensiones son de 41,5x41,5 mm.
- ✓ El área de visión debe corresponder a aquella área del parabrisas en la cual se pueda encontrar la ventana sin serigrafía. Por tanto, el área de visión del sistema de visión artificial debe cubrir las dimensiones de la ventana sin serigrafía más el área correspondiente a los posibles desplazamientos que pueda sufrir la ventana más un margen de seguridad. Estos desplazamiento de la ventana son debidos al posible decalaje presente en el parabrisas que puede llegar a ser como máximo de 2 mm en las dos dimensiones y a la variación de la doble curvatura del parabrisas que puede suponer como máximo un desplazamiento de 4 mm también en las dos dimensiones. Léase:

$$\begin{aligned} \text{Área Visión}_{2D} &= \text{Área Ventan}_{a_{2D}} + \text{Área Decalaje}_{2D} + \text{Área Doble Curvatura}_{2D} + \text{M arg en} \\ \text{Área_Visión}_{2D} &= (40 \times 34,5) + (2 \times 2) + (4 \times 4) + (7 \times 7) = 53 \times 47,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

En realidad, el área de visión normalmente conserva una relación de 4:3, por tanto esta área correspondiente al sistema de visión artificial de la aplicación del proceso de ensamblaje es de:

$$\text{Área_Visión}_{2D43} = (53 \times 47,5) = 63,3 \times 47,5 \text{ mm}$$

- ✓ La distancia de trabajo de la cámara respecto de la ventana sin serigrafía del parabrisas, por cuestiones mecánicas, debe estar entre 475 y 700 mm
- ✓ La resolución del sistema de visión corresponde a la equivalencia de 1 píxel en milímetros. Cuanto menor sea esta equivalencia, mayor precisión se obtendrá y como consecuencia menor error presentará la aplicación del sistema de visión artificial.

Una vez establecidas las características que debe cumplir el sistema de visión para adecuarse a las necesidades de la aplicación de visión de la automatización, se realiza un estudio en profundidad de cada una de las partes que componen los sistemas de visión artificial industrial. Se identifican sus especificaciones técnicas y cualidades, así como los usos para los que se destinan. Gracias a este estudio se obtiene el conocimiento de cada una de las partes que forman el sistema de visión artificial. Además, se obtienen los criterios para la selección del tipo de componentes que cumplen los criterios de selección del sistema.

Estos criterios de selección se incluyen al principio de cada apartado y se establecen los parámetros para la selección de estos componentes.

Una vez seleccionado el tipo de componentes, se realiza un análisis exhaustivo de la oferta de cada uno en el mercado actual, en búsqueda del sistema de visión deseado para la aplicación de visión de la automatización del proceso de ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en parabrisas de automóviles.

Al final de este apartado se ha realizado una tabla comparativa de las diferentes opciones de sistemas de visión. Esta tabla, a modo de resumen, ofrece una visión objetiva que permite comparar cada una de las opciones posibles. El objetivo es facilitar la elección final del sistema de visión artificial que se utilice en la aplicación de visión de la automatización. Si bien es cierto que también se tienen en cuenta otros aspectos que no son meramente las prestaciones técnicas de los equipos, como pueden ser:

- el precio y las condiciones de pago
- el plazo de entrega
- la cercanía del suministrador tanto del lugar de montaje como del cliente final
- los cursos de formación y la disponibilidad de soporte técnico durante la fase de programación

Finalmente se argumenta la elección del sistema de visión teniendo en cuenta todo lo expresado anteriormente. También cabe resaltar en la elección la importancia de la compatibilidad del sistema de visión artificial con el robot y si fuera necesario con el resto de componentes que integran la automatización.

2.2.2 ILUMINACIÓN

En las aplicaciones de visión artificial, la importancia de la iluminación es en muchas ocasiones subestimada. 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 los sistemas 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 la iluminación por tanto debe ajustarse al objeto a iluminar.

Una iluminación correcta facilita la solución de una aplicación de visión, mientras que una iluminación incorrecta puede dar como resultado la imposibilidad de resolución de la aplicación. Si para resolver una aplicación es necesario utilizar muchos filtros de software, significa que la iluminación que se aplica no es lo suficientemente correcta. Una iluminación adecuada permite emplear menos filtros en la imagen y por tanto aumentar la velocidad de procesado en esa aplicación.

Por otro lado, los sistemas de iluminación comerciales presentan ventajas respecto a los contruidos por uno mismo (a menudo complejos y caros en tiempo), como son:

- efectividad económica: ahorran tiempo y dinero en investigación, diseño, desarrollo y construcción del sistema de iluminación
- calidad: miles de sistemas funcionando en todo el mundo
- efectividad: larga duración con el mínimo servicio técnico
- repetibilidad: siempre disponible en grandes cantidades y con las mismas características
- gran variedad: muchos tipos de sistemas de iluminación disponibles y probados

A continuación, se detallan y analizan las técnicas de iluminación existentes para determinar el tipo de iluminación a utilizar en el sistema de visión artificial de la automatización.

2.2.2.1 Técnicas de iluminación

Existen diferentes técnicas de iluminación que se utilizan para resaltar diferentes aspectos de las piezas que se van a analizar en una aplicación de visión artificial. A continuación se describen las formas de iluminación según distintas categorías: frontal o de campo claro, lateral, de campo oscuro, por contraste, en el mismo eje o coaxial, coaxial avanzada y difusa continua.

2.2.2.1.1 Iluminación frontal

Es la técnica más común de iluminación. La cámara se posiciona mirando al objeto en la misma dirección que la luz. La cámara recibe la luz reflejada del objeto. Este tipo de iluminación se consigue mediante anillos de luz, iluminadores puntuales, de área y lineales. Esta iluminación es especialmente útil en superficies con pocos reflejos (papel, tela,...).

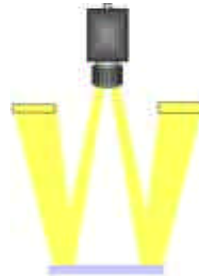


Figura 2.44 Técnica de iluminación frontal

2.2.2.1.2 Iluminación lateral

Esta técnica se utiliza para resaltar ciertos detalles en las piezas que sólo son visibles orientando la luz de forma lateral a la posición de la cámara.

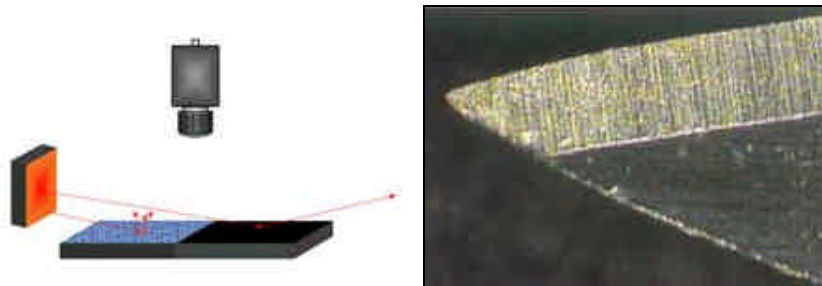


Figura 2.45 Técnica de iluminación lateral

2.2.2.1.3 Iluminación por campo oscuro (dark field)

Esta técnica se utiliza para resaltar los defectos superficiales, grietas, surcos, etc. o para detectar, identificar y leer caracteres, códigos de matriz o barras grabadas en una superficie. Normalmente se utilizan anillos de luz que emiten la luz en dirección perpendicular a la cámara.



Figura 2.46 Técnica de iluminación por campo oscuro

2.2.2.1.4 Iluminación por contraste

Esta técnica se utiliza colocando el objeto entre la iluminación y la cámara. De esta forma se puede reconocer la silueta del objeto por contraste y realizar mediciones muy precisas. 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...

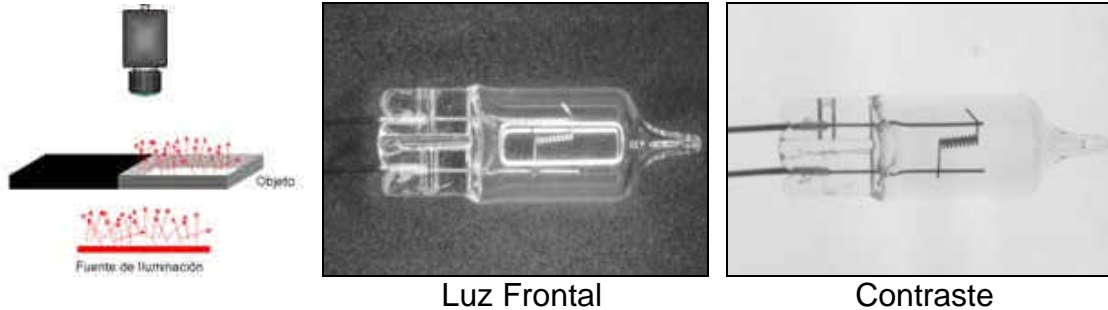


Figura 2.47 Técnica de iluminación por contraste

2.2.2.1.5 Iluminación sobre el mismo eje o iluminación coaxial

Esta es una técnica que se usa para iluminar objetos reflectantes. La luz se emite de forma lateral sobre un espejo semitransparente ("beam splitter") que desvía los haces de luz en la misma dirección que el eje de la cámara, como se muestra en la figura adjunta. De esta forma se consigue una luz difusa homogénea.

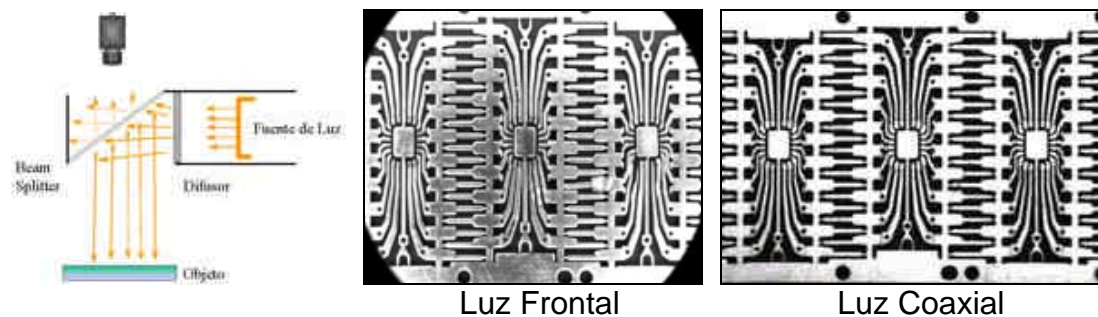


Figura 2.48 Técnica de iluminación coaxial

Esta técnica es ideal para inspección de objetos muy reflectantes, como PCB, etiquetas reflectantes, inspección de impresión sobre aluminio, etc...

2.2.2.1.6 Iluminación coaxial avanzada

Esta técnica ofrece un mejor rendimiento en aplicaciones con material muy reflectante, añadiendo una cámara de reflexión de forma que la luz incide de forma más difusa sobre el objeto. Esta iluminación se utiliza para iluminar superficies más reflectantes, como papel de aluminio, blister farmacéuticos, códigos de barra o matriz en superficies reflectantes,...

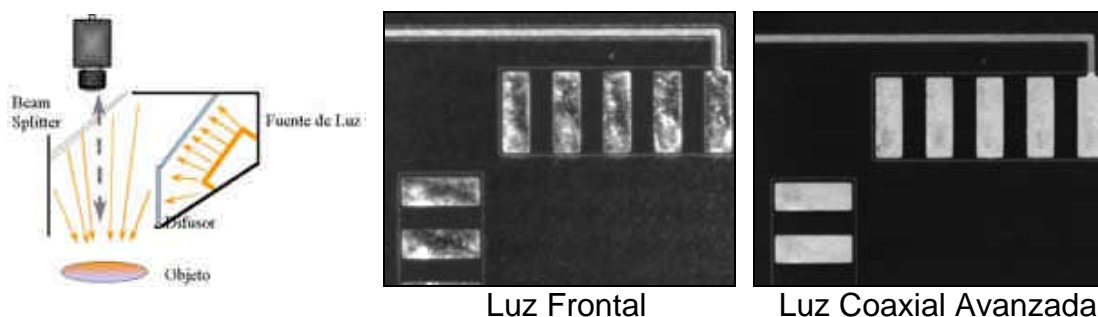


Figura 2.49 Técnica de iluminación coaxial avanzada

2.2.2.1.7 Iluminación difusa continua

La técnica denominada difusión continua ofrece el máximo nivel posible de rendimiento en iluminación difusa. Ha sido diseñada para las aplicaciones más complejas y combina iluminación reflectante en una cúpula esférica e iluminación coaxial en la parte superior. A esta iluminación se la denomina también iluminación de día nublado ya que no produce ningún tipo de sombra. Puede utilizarse para iluminar las superficies especulares más complejas, incluyendo instrumental médico, espejos, compact disc, latas, etc...

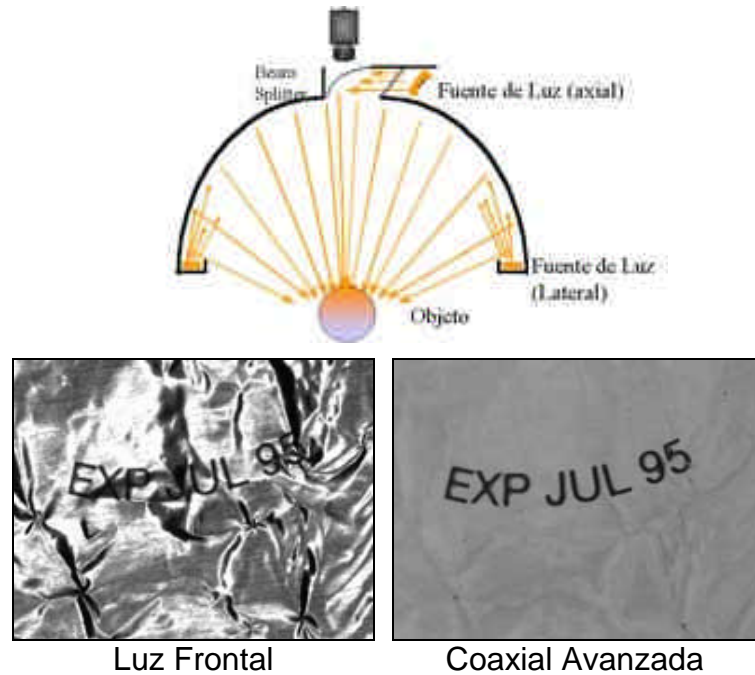


Figura 2.50 Técnica de iluminación difusa continua

2.2.2.2 Control de la iluminación

Una de las consideraciones a tener en cuenta cuando se desarrolla un sistema de visión industrial es el ambiente de iluminación.

Muchas aplicaciones funcionan correctamente en el laboratorio sin embargo cuando se instalan en la línea de producción de la fábrica no funciona porque se ven afectadas por la luz ambiente. En estos casos se debe controlar el ambiente en el que se va a hacer la inspección, bien instalando una carcasa, o utilizando una iluminación con una longitud de onda determinada y una cámara con un filtro para esa longitud de onda.

La iluminación infrarroja está dando muy buenos resultados en aplicaciones en monocromo especialmente ahora que se disponen de cámaras con una alta sensibilidad al infrarrojo. Utilizando LED infrarrojos y filtros infrarrojos en la óptica de la cámara las variaciones en la luz ambiente no afectan tanto a la aplicación de visión, ya que la luz solar y la luz artificial no acostumbra a llevar demasiada emisión infrarroja.

2.2.2.3 Tipos de iluminación

En la actualidad se dispone de cuatro tipos de iluminación distintas utilizadas para resolver las aplicaciones de visión:

- fibra óptica
- fluorescentes
- LED
- láser

Cada una de ellas tiene sus ventajas y desventajas con respecto a las otras. Y dependiendo del tipo de aplicación deberá utilizarse una u otra. De la misma manera el tipo de iluminación está condicionada por los siguientes factores:

- intensidad lumínica
- duración
- flexibilidad de diseños o variedad de formas
- precio

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

A continuación, se realiza una descripción de todos los tipos de iluminación a fin de conocer sus ventajas y desventajas, y de esta manera poder escoger la iluminación más idónea para el sistema de visión artificial de la aplicación de visión de la automatización.

2.2.2.3.1 Iluminación por fibra óptica

La iluminación por fibra óptica, es actualmente, la que puede proporcionar la luz más intensa de todos los tipos de iluminación que se utilizan en visión artificial. La idea básica es conducir la luz procedente de una bombilla halógena, o de xenón, que se encuentra en una fuente de iluminación, a través de un haz de fibras ópticas que termina en un adaptador específico para cada tipo de aplicación. Estos adaptadores pueden tener forma circular, lineal, puntual o de panel, y puede ser de distintos tamaños y dimensiones.



Figura 2.51 Fibra óptica

En los haces de fibra óptica hay cierta pérdida de intensidad con relación a la longitud o distancia. Normalmente no se aconseja utilizar haces de fibra óptica de una longitud superior a 5 metros, ya que por una parte se pierde intensidad y por otra el precio resulta un factor determinante. Una de las ventajas de la fibra óptica es que proporciona luz fría, y por tanto es ideal en aplicaciones donde los sistemas que puedan emitir calor sean un inconveniente o también en entornos deflagrantes.

Las fuentes de iluminación acostumbran a incorporar una bombilla halógena y generalmente incluyen un estabilizador de corriente, con una fuente de alimentación para la lámpara halógena (150 W) que se aloja en un espacio donde se conecta el haz de fibra óptica. La potencia de iluminación de la lámpara halógena se controla mediante un reóstato. La vida media de las lámparas halógenas utilizadas con este tipo de iluminación oscila entre 1.000 y 2.000 horas. Algunas fuentes de iluminación incorporan control de intensidad vía puerto serie RS-232 de forma que se pueden controlar desde un elemento externo como un PC.

2.2.2.3.2 Iluminación por 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 una frecuencia mínima de 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. Así es habitual utilizar en según que aplicaciones, fluorescentes casi monocromáticos: ultravioletas, amarillos, verdes, azules...

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 sólo 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.



Figura 2.52 Equipo de iluminación por fluorescente

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 10.000 horas.

2.2.2.3.3 Iluminación por LED

Para aplicaciones donde no se requiera una gran intensidad de iluminación se puede utilizar la iluminación por LED ("Light Emiting Diodes"). Los LED proporcionan una intensidad de iluminación relativa a un coste muy interesante, y además tienen una larga vida, aproximadamente 100.000 horas. Otra consideración a tener en cuenta es que sólo requieren un cable de alimentación y no un haz de fibra óptica que en ocasiones es muy delicado.



La intensidad de la iluminación continua por LED no es tan intensa como otros tipos de iluminación pero actualmente se están introduciendo los LED de alta intensidad que empiezan a proporcionar una iluminación mucho más potente. Si los LED se conectan a un sistema estroboscópico se pueden alcanzar potencias lumínicas muy similares a los de la luz halógena.

Figura 2.53 Iluminación por LED

Recientemente se ha introducido una nueva tecnología de LED que se denomina "chip-on-board" y que permite concentrar un gran número de ellos en una superficie muy reducida y por tanto aumentar aún más su poder lumínico.

Aunque los equipos con LED más comunes emiten luz de color rojo y se utilizan para aplicaciones monocromas, actualmente se está extendiendo el uso de otros colores como infrarrojo, verde, azul o blanco. El motivo por el que los LED rojos son

los más utilizados en los sistemas de visión es porque son los más fáciles de encontrar y los más baratos. La vida media de los sistemas de LED puede alcanzar hasta las 100.000 horas.

2.2.2.3.4 Iluminación por láser

La iluminación mediante láser o luz estructurada se utiliza normalmente para resaltar o determinar la tercera dimensión de un objeto. La luz estructurada se define como el proceso de iluminar un objeto desde un ángulo conocido con un patrón de luz específico. Por tanto, el método consiste en colocar la fuente de luz láser en un ángulo conocido con respecto al objeto a iluminar y con respecto a la cámara. Viendo la distorsión de la luz, puede interpretarse la profundidad de los objetos a medir.

La luz estructurada se utiliza en muchas aplicaciones para obtener la percepción de profundidad y para inspecciones en 3D. Para hacerse una idea, se genera una línea de luz y se visualiza de forma oblicua. Las distorsiones en la línea se traducen en variaciones de altura. Y de aquí se puede desprender los cambios de profundidad o altura de un objeto. Por tanto, se puede también determinar la falta o exceso de material, o bien se puede llegar a hacer una reconstrucción en tres dimensiones del objeto.

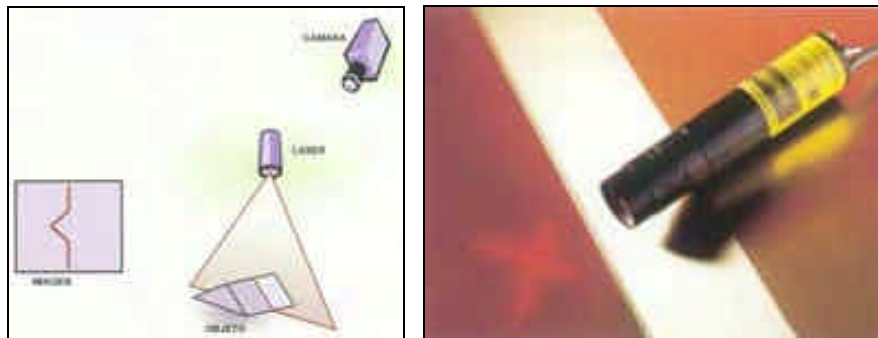


Figura 2.54 Equipo de iluminación por láser

Para obtener la mejor reconstrucción 3D se debe obtener un tamaño de línea lo más delgada posible sobre un fondo con muy baja o nula iluminación.

La mayoría de láser que se utilizan en visión industrial usan lentes cilíndricas para convertir el punto láser en un patrón. Aunque a primera vista este sistema parece correcto, la intensidad lumínica a lo largo presenta una forma gaussiana, haciendo la detección mucho más difícil a nivel de software. Los sistemas de láser más avanzados utilizan sistemas complejos no gaussianos que proporcionan una iluminación relativamente constante a lo largo de toda la línea, y que de esta forma facilitan las medidas en las aplicaciones de visión.

Existen un gran número de patrones disponibles, entre los que se incluyen: puntos, matrices de puntos, una línea recta, múltiples líneas paralelas, círculos concéntricos, mallas, y cruces, que se utilizan dependiendo de la aplicación. Los sistemas de luz estructurada láser están disponibles en distintos tipos de potencia y longitudes de onda. Así mismo se han realizado diseños específicos para aplicaciones concretas tales como: sistemas de líneas ultra finas, o sistemas láser conectados a fibra óptica para aplicaciones en ambientes con peligro de deflagración.

Todos los equipos láser pueden ser pulsantes, es decir, disponen de una opción que permite sincronizar el encendido del láser con una señal externa, del mismo modo, dependiendo de la potencia de la señal TTL que se le envíe, el láser incrementa o disminuye la potencia.

2.2.2.4 Elección de la iluminación

Para empezar a definir el sistema de visión primero se debe tener claro cual es la mejor iluminación para la aplicación de visión de la automatización del proceso de ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en parabrisas de automóviles. Existen ciertas consideraciones a tener en cuenta para determinar la mejor iluminación para cualquier aplicación:

- ¿Es en color o en monocromo?
- ¿Es de alta velocidad o no?
- ¿Cuál es el campo de visión a iluminar?
- ¿El objeto presenta superficies con reflejos?
- ¿Qué fondo presenta la aplicación: color, geometría...?
- ¿Cuál es la característica a resaltar?
- ¿Qué duración debe tener el sistema de iluminación?
- ¿Qué requisitos mecánicos, ambientales, deben considerarse?

Depende de la respuesta a estas preguntas se debe aplicar un tipo u otro de iluminación. En este caso, el objeto del sistema de visión es la ventana sin serigrafía. Por tanto para la aplicación de visión de la automatización del proceso de ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en parabrisas se observa que:

- ✓ Es en monocromo, ya que no se requiere discriminar diferentes tonalidades de los detalles superficiales de la ventana sin serigrafía, además de ser totalmente innecesario. Basta con obtener la silueta de la ventana sin serigrafía.
- ✓ Es de baja velocidad, ya que la ventana sin serigrafía está estática debido a que el parabrisas permanece inmóvil durante todo el proceso de ensamblaje.
- ✓ El campo de visión a iluminar debe tener una superficie como mínimo superior al área de visión correspondiente a 63,3x47,5 mm. La superficie del vidrio perteneciente a esta área es totalmente plana.
- ✓ El objeto es la ventana sin serigrafía traslúcida del parabrisas, delimitada por serigrafía negra y opaca, por tanto al ser vidrio presenta reflejos.
- ✓ El fondo de la aplicación no es ninguno en particular, el objeto es transparente y no existe nada por delante ni por detrás de él, por tanto, sin geometría definida y puede ser cualquier fondo.
- ✓ La característica a resaltar es silueta de la ventana sin serigrafía del parabrisas, la cual está rodeada de serigrafía negra y opaca.
- ✓ La duración del equipo de iluminación debe ser la máxima, es decir, el tiempo de vida del sistema de iluminación tiene que ser alto, para conseguir un mantenimiento nulo, o en su defecto, un cambio de componentes poco frecuente.
- ✓ No existe ningún requisito mecánico ya que la dimensión y situación de la iluminación no comporta ninguna limitación, es decir, el diseño mecánico de la aplicación se va a adaptar a las características del sistema de iluminación. Tampoco se destaca ningún requisito ambiental, como ambientes con peligro de deflagración o zona clasificada Ex, salas limpias... ya que los procesos de dosificado y ensamblaje del soporte del sensor de lluvia no requieren ningún entorno ambiental diferente de las condiciones ambientales normales.

Una vez determinadas las consideraciones básicas de la iluminación de la aplicación de visión de la automatización del proceso de ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en parabrisas, se requiere escoger la técnica y el tipo de iluminación más idónea para el sistema de visión.

La técnica de iluminación más adecuada para la aplicación es la iluminación por contraste, ya que es especialmente indicada para objetos translúcidos como es el caso de la ventana sin serigrafía. Además, esta técnica permite obtener una imagen binarizada directamente por hardware, reconocer la silueta del objeto por contraste y, gracias a ello, se pueden realizar mediciones muy precisas. Esta característica resulta especialmente destacable debido a la pequeña tolerancia de posición del ensamblaje del soporte, ya que obliga a tener un sistema de visión artificial con mucha precisión y poco error. El requerimiento de situar el objeto entre la iluminación y la cámara es posible mecánicamente. El hecho de que esta técnica no permita reconocer los detalles superficiales de la ventana no afecta a la inspección de ésta, ya que lo importante es reconocer su silueta independientemente de su superficie. Por otra parte, es la técnica por contraste la que mejor puede definir su silueta. Otra ventaja de utilizar esta técnica es que se evitan los reflejos de la superficie del vidrio al iluminar la ventana sin serigrafía por debajo del objeto.

El resto de técnicas han sido descartadas por los siguientes motivos:

- La técnica de iluminación frontal provocaría reflejos en la superficie del vidrio de la ventana sin serigrafía produciendo una pérdida de precisión en la inspección. Esta técnica es aconsejada para superficies poco reflectantes.
- La técnica de iluminación lateral tiene escasa o nula eficacia para la aplicación de visión de la automatización al ser la superficie de la ventana totalmente plana y al no necesitar resaltar el perfil lateral de ésta, tal y como se consigue con esta técnica.
- La iluminación por campo oscuro es descartada al no necesitar resaltar los defectos superficiales de la ventana sin serigrafía, sino que interesa despreciarlos.
- La técnica de iluminación coaxial es aconsejable para inspeccionar objetos mucho más reflectantes que el vidrio, normalmente piezas de cobre, por ejemplo.
- La técnica de iluminación coaxial avanzada sigue la misma técnica que la coaxial pero incluso permite obtener mejores resultados con objetos muy reflectantes.
- La técnica de iluminación difusa continua resulta ineficaz porque la superficie de vidrio de la ventana no tiene irregularidades ya que es totalmente plana.

Por lo que respecta al tipo de iluminación, se requiere uno que cumpla con las siguientes características:

- diseñada especialmente para la técnica de iluminación por contraste o a contraluz
- con una área útil de iluminación mínima que sea superior al campo o área de visión correspondiente a 63,3x47,5 mm y como máximo 85x65 mm, porque normalmente, áreas útiles superiores suponen iluminaciones más caras. No existe restricción de dimensiones totales
- con una intensidad lumínica baja, ya que no se necesita que sea alta debido a la técnica utilizada y a la capacidad de situar la iluminación muy próxima a la ventana sin serigrafía
- la duración debe ser la máxima posible y con el mínimo mantenimiento posible
- con una flexibilidad de diseño baja ya que no se requiere una iluminación con variedad de formas o formas complejas, sino iluminar una superficie rectangular con forma de panel
- con el menor precio, siempre y cuando se cumplan los requisitos anteriores

Los tipos de iluminación que permiten utilizar la técnica de iluminación por contraste son la fibra óptica, el LED y el fluorescente.

A continuación, se ha realizado un estudio de todos aquellos modelos de iluminación existentes en el mercado que corresponden a los tipos de iluminación mencionados y que cumplen con las características anteriores. Como resultado de este estudio se ha seleccionado el mejor modelo de cada uno de los tipos de iluminación posibles. La siguiente tabla muestra estos modelos y sus características.

ILUMINACIÓN				
Técnica	Por contraste			
Tipo	Fibra Óptica	LED		Fluorescente
Fabricante	Schott-Fostec	CCS		StockerYale
Modelo	A08023	LDL-TP63x60	LFL-4012	CL-5000P
Fuente iluminación	A20900	-		-
<i>Área útil deseada</i>	63,3x47,5			
Área útil (mm)	76x76	63x60	70x50	127x101,6
Dimensión total (mm)	152x89x19	73x70x10	95x74x7	193x114x13
Color	Blanco	Rojo		Blanco
Máx. long. fibra (mm)	1016	-		-
Frecuencia (kHz)	-	-		120
Alimentación (V)	110 / 220 Vac	12 Vdc		120 Vac
Potencia (W)	50	7,6	2.1	2.7
Intensidad lumínica	Muy alta	Baja		Media
Flexibilidad diseño*	Alta			Muy Baja
Duración (h)	<3.500	≈100.000		10.000
Precio (con IVA)	1326,55 €	703,00 €	465,00 €	312,44 €

(*) Esta valoración corresponde al tipo de iluminación, no a al modelo seleccionado

Tabla 2.3 Características de los equipos de iluminación seleccionados

Como se ha comentado anteriormente todos cumplen las características requeridas pero sólo uno puede ser el elegido. Por tanto, a continuación se analizan las ventajas e inconvenientes de cada uno de los tipos de iluminación seleccionados:

- El modelo seleccionado de iluminación por fibra óptica destaca por proporcionar la luz más intensa y por la facilidad para conducir la luz hasta sitios poco accesibles. Pero estas características son útiles en aplicaciones que requieren mucha intensidad lumínica y tienen un espacio reducido, las cuales no se corresponden ni son necesarias para la aplicación de visión artificial de la automatización del proceso de ensamblaje. Por tanto se convierten en desventajas ya que conllevan un sobreprecio innecesario e injustificable. Del mismo modo, la imprescindible fuente de alimentación, propia de la fibra óptica, también repercute en un aumento del coste. Al ya elevado precio del equipo se debe valorar el frecuente mantenimiento de este modelo debido a la corta vida útil de la bombilla halógena, que es de tan sólo 3.500 horas como máximo. Además, la intensidad lumínica desciende con el uso. Por estos motivos, este modelo en particular y la iluminación por fluorescente en general son descartados. Cabe resaltar que este tipo de iluminación está siendo reemplazado por la iluminación con LED.
- Los modelos seleccionados de iluminación por LED proporcionan una intensidad de iluminación relativa con un precio muy interesante, mayor pero comparable al

fluorescente y mucho menor en comparación con la fibra óptica. Además, apenas requieren mantenimiento ya que tienen una larga vida, de aproximadamente 100.000 horas. Otra consideración a tener en cuenta es que sólo requieren un cable de alimentación y no un haz de fibra óptica que en ocasiones es muy delicado, por tanto, es una iluminación robusta.

Se han seleccionado dos modelos para poner de manifiesto que existen diversos tipos de iluminaciones de panel ("backlight"), con diferentes acabados, con y sin marco. Como se puede comprobar el precio es muy diferente y son los paneles sin marcos mucho más caros que los que tienen. Esto es debido al acabado. Los paneles sin marco presentan la opción de unirse entre ellos y obtener un área útil más grande. Al no ser necesario para el sistema de visión ya que con uno es suficiente, el modelo sin marco queda descartado. Mientras que por todo lo comentado anteriormente, el modelo con marco puede llegar a ser la iluminación utilizada en el sistema de visión artificial.

- El modelo seleccionado de iluminación por fluorescente es el único que no cumple en su totalidad las características deseadas, ya que su área útil es mayor que la máxima establecida. No obstante, es el modelo de iluminación por fluorescente más pequeño que se ha encontrado. Ello se debe a que este tipo de iluminación no puede competir con el LED en cuanto a superficies pequeñas, sin embargo, resulta mucho más económico que el LED cuando se pretende iluminar grandes superficies. Y aunque tan sólo no cumple esta característica, se ha seleccionado por su precio reducido y por disponer comparativamente de un modelo con fluorescente de entre los tipos de iluminación con técnica por contraste. La iluminación con fluorescente resulta ser la más económica y presenta un mantenimiento algo mejor que la fibra óptica ya que la vida útil del tubo fluorescente alcanza las 10.000 horas. Debido a su precio puede llegar a ser la iluminación utilizada en el sistema de visión artificial.

Para finalizar, se han elegido dos modelos, uno de LED y el otro de fluorescente. Ambos proporcionan una intensidad lumínica similar y homogénea, con lo que por precio se elegiría el fluorescente. Sin embargo, finalmente se escoge el modelo de LED ya que éste apenas necesita mantenimiento, sus dimensiones totales son bastante inferiores al modelo de fluorescente y su diferencia de precio no es significativa, pues está justificada por su ausencia de mantenimiento y por su duración.

Como se puede comprobar en la tabla anterior únicamente los modelos de iluminación de LED emiten luz de color rojo. Esto es así, debido a que se ha definido el sistema de visión de la aplicación como monocromo, por tanto, las cámaras con sensor CCD monocromo son más sensibles a la longitud de onda del color rojo. En el caso del LED es aun más favorable ya que el color más estándar y por eso el más económico es el rojo.

Como conclusión, el modelo de iluminación utilizada para obtener la silueta de la ventana sin serigrafía en el sistema de visión artificial de la aplicación de visión de la automatización del proceso de ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en parabrisas utiliza la técnica por contraste y es el modelo LFL-4012 de la marca CCS.



Figura 2.55 Iluminación por LED CCS modelo LFL-4012

2.2.3 CÁMARAS

La función de la cámara de visión es capturar la imagen proyectada en el sensor, vía la óptica, para poder transferirla a un sistema electrónico, y así poder ser interpretada, almacenada y/o visualizada. Este sistema electrónico puede ser un monitor para visualizar la imagen, un vídeo para almacenarla o un ordenador para visualizarla, almacenarla, procesarla y tomar medidas.

Las cámaras de video han tenido una rápida evolución en los últimos años, desde las primeras cámaras de video que iban equipadas con tubos Vidicon hasta las más modernas cámaras provistas de sensores CCD (“Charge Coupled Device”) y CMOS (“Complementary Metal Oxide Semiconductor”). Los sensores son componentes sensibles a la luz que modifican su señal eléctrica en función de la intensidad luminosa que perciben.

Las cámaras que se utilizan en visión artificial requieren una serie de características específicas, como el control del disparo de la cámara para capturar las piezas que pasan por delante de ésta exactamente en la posición requerida.

Las cámaras de visión artificial son más sofisticadas que las convencionales, ofreciendo un completo control de los tiempos y señales, de la velocidad de obturación, de la sensibilidad y de otros factores fundamentales en las aplicaciones industriales.

Hay dos tipos principales de cámaras que se utilizan en visión artificial que según el tipo de sensor se clasifican en: cámaras matriciales y cámaras lineales.

A continuación, se describen por separado cada uno de estos tipos de cámaras. Se consideran generalmente tecnologías completamente distintas, sin embargo, hay muchas características que se superponen en ambos tipos de cámaras.

2.2.3.1 Tecnología de los sensores de las cámaras

2.2.3.1.1 Sensores CCD

En la actualidad, la mayoría de las cámaras modernas utilizan sensores CCD (“Charge Coupled Device”). Estos sensores 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.

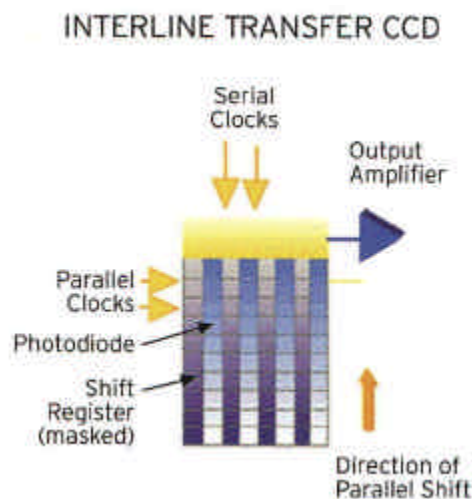


Figura 2.56 Sensor con tecnología CCD

2.2.3.1.2 Sensores CMOS

Se han popularizado en los últimos tres años. La calidad de imagen ha mejorado y esta tecnología es indispensable en algunos tipos de aplicaciones de muy alta velocidad. Los sensores CMOS (“Complementary Metal Oxide Semiconductor”) utilizan como sustrato un material sensible a la luz, pero contrariamente a los sensores CCD trabajan mediante un método de acceso aleatorio para transferir la información del píxel, en lugar de utilizar registros de desplazamiento. Los sensores CMOS incluyen en su sustrato el área activa del píxel y el espacio necesario para la electrónica que se encuentra en el propio circuito. La ventaja principal de los sensores CMOS es su velocidad. Éstos son capaces de funcionar a cientos o incluso miles de imágenes por segundo. Además, proporcionan unas excelentes características de respuesta. Sin embargo, presentan algunas desventajas, como por ejemplo, la existencia de ruido (“fixed pattern noise”, ver capítulo 2.2.3.4.4.1 FPN y PRNU) y otros problemas adicionales que se van resolviendo con los nuevos sensores.

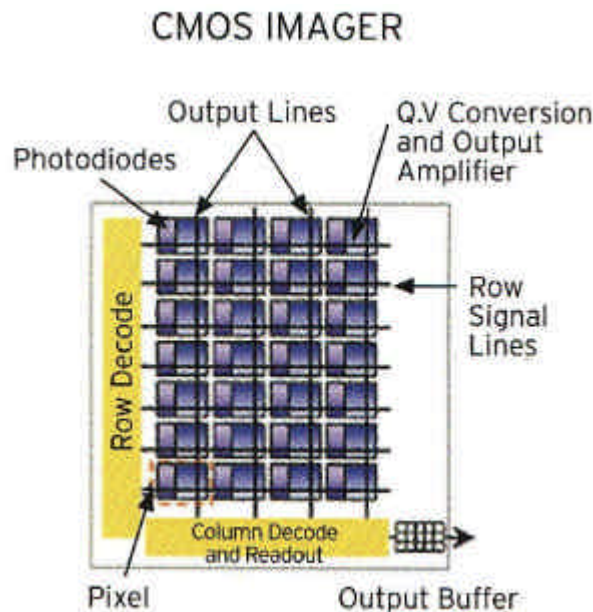


Figura 2.57 Sensor con tecnología CMOS

Dentro de la tecnología CMOS se pueden encontrar dos tipos de sensores:

- “Rolling shutter”: utilizan una arquitectura de control de exposición en el que, durante la captura, una ventana de integración se desplaza a lo largo del sensor. La anchura de la ventana de integración conjuntamente con la velocidad de barrido define el tiempo de integración. Cada línea de píxeles se lee de forma consecutiva y se transfiere de la misma forma, así si hay movimiento aparece una cierta distorsión en la imagen.
- “Global shutter”: utilizan una arquitectura de control de exposición en el que, durante la captura, todos los píxeles del sensor son sensibles a la luz durante el mismo tiempo. Los valores de señal de integración se almacenan en el nodo de almacenamiento de píxel y posteriormente se vuelcan en el periodo de transferencia.

La mayoría de las cámaras CMOS para visión utilizan “global shutter”, sin embargo las cámaras CMOS con tecnología “rolling shutter” tienen un coste menor y se utilizan en aplicaciones de bajo coste.

2.2.3.1.3 CCD contra CMOS

En la actualidad no es posible decir que un sensor o cámara CCD es mejor que un CMOS, pero tampoco se puede decir lo contrario. Dependiendo del tipo de aplicación es más conveniente utilizar una cámara CCD o una cámara CMOS.

En la Tabla 2.4 pueden observarse las ventajas e inconvenientes de las dos tecnologías en la actualidad:

CARACTERÍSTICAS	COMPORTAMIENTO		COMENTARIO
	CCD	CMOS	
Velocidad de barrido	Normal	Bueno	CMOS no tiene registro H
Factor de relleno	Bueno	Normal	CCD puede llegar al 100%
Sensibilidad	Normal	Malo	CMOS factor de conversión bajo
Relación señal / ruido	Bueno	Malo	CMOS debido al "Fixed Pattern Noise"
Corriente oscura	Bueno	Malo	CMOS 10 veces superior a CCD
Rango dinámico	Bueno	Malo	Debido a los fotodiodos
Acceso aleatorio a píxeles	Malo	Bueno	CMOS permite capturas de píxeles aleatorios
Múltiples ROI (región de interés)	Malo	Bueno	CMOS trabaja con múltiples ROI
Miniaturización	Bueno	Normal	CMOS sólo un bajo porcentaje del área es ocupado por el fotodiodo

Tabla 2.4 Características de los sensores CCD contra CMOS

2.2.3.2 Cámaras matriciales

El término cámaras matriciales o de área se refiere a que el sensor de la cámara cubre un área o que está formado por una matriz de píxeles.

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 las cámaras modernas son mayoritariamente CCD.

2.2.3.2.1 Tecnología de los sensores CCD

Los tamaños de los CCD están definidos en pulgadas, sin embargo su tamaño real no tiene nada 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".

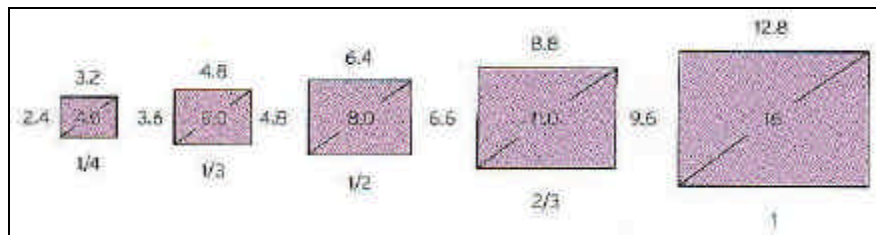


Figura 2.58 Formatos de los sensores CCD más comunes

2.2.3.2.2 Características de los sensores

2.2.3.2.2.1 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% y se obtiene cuando los píxeles activos ocupan el 100% del área del sensor. Sin embargo, circuitos como los registros de lectura y los circuitos "anti-blooming" reducen este factor, en algunas ocasiones hasta el 30%. El efecto de esta reducción se traduce en una menor sensibilidad y en efectos de solapamiento o "aliasing". Para mejorar este efecto, 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.

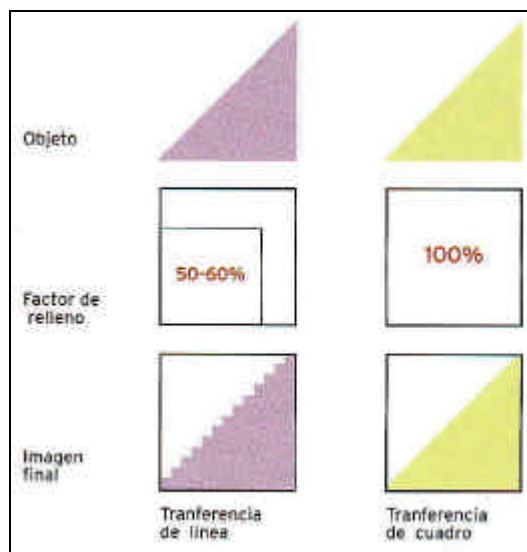


Figura 2.59 Factor de relleno y tipo de transferencia

2.2.3.2.2.2 Tipo de transferencia

Existen varios tipos de sensores según la forma de transferencia de la información de los píxeles.

- Transferencia Inter Línea (ITL): los CCD que incorporan esta tecnología son los más comunes. Utilizan registros de desplazamiento que se encuentran entre las líneas de píxeles, y 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, sin embargo, 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 tienen 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 la exposición de los fotones, la integración y el 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%.

2.2.3.2.3 Estándares 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 define la frecuencia de la señal de video, el número de líneas por imagen y el número de imágenes 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 Comite for International Radio) y PAL (Phase Alternation by Line). Y en Estados Unidos son RS-170 (EIA) y NTSC (National Television System Comité). 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 imágenes por segundo (50 campos por segundo)
- RS-170 y NTSC:
 - 525 líneas entrelazadas
 - 30 imágenes 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 formado por las líneas de video horizontales impares y el campo par formado por las líneas de video horizontales pares. El término entrelazado se refiere a 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 una cierta velocidad por delante de la cámara. Cuando se utilizan cámaras entrelazadas, estos objetos se mueven entre la captura del campo impar y la del campo par, el resultado es que la imagen aparece desenfocada, como si tuviera una doble exposición.



Imagen con cámara progresiva

Imagen con cámara entrelazada

Figura 2.60 Diferencia cámara progresiva y entrelazada

Para paliar este efecto algunas cámaras entrelazadas pueden configurarse para leer sólo 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. Resulta 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 “binning”.

El termino “binning” 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, que se describen más adelante, ya que se trata de cámaras con señal de video no estándar.

2.2.3.2.4 Señal de video no estándar

2.2.3.2.4.1 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.

2.2.3.2.4.2 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 768x576 píxeles, mientras que las nuevas cámaras denominadas megapíxel tienen resoluciones de 1024x768, 1300x1030, o incluso superiores. Este tipo de cámaras se está utilizando cada vez más en aplicaciones de medida de precisión.

2.2.3.2.4.3 Barrido progresivo

El término barrido progresivo significa que toda la imagen, y no sólo 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 y se usan para aplicaciones de televisión y vigilancia. Por este motivo las cámaras progresivas tienen un precio más elevado que las entrelazadas, no obstante, son más adecuadas para las aplicaciones de visión artificial.

2.2.3.3 Cámaras color

En las aplicaciones industriales cada vez se utilizan más las cámaras color. Aunque el procesado de las imágenes en color es más complejo, este tipo de cámaras pueden proporcionar más información que las cámaras monocromo.

2.2.3.3.1 Cámaras color 1CCD

Las cámaras color de 1CCD disponen de un sensor con un filtro en forma de mosaico que incorpora los colores primarios RGB. Este filtro de color es conocido como filtro Bayer. De hecho se trata de un sensor monocromo al que se le ha superpuesto el filtro de color. La forma en que se disponen los colores R, G y B se muestra en la Figura 2.61. Como se puede ver hay el doble de píxeles con filtro verde que con filtro azul o rojo. Esto es así para hacer más semejante la percepción del sensor a la visión humana, la cual es más sensible al verde.

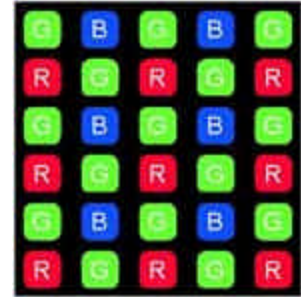


Figura 2.61 Filtro de color para cámara color de 1CCD

Debido al carácter del propio filtro, es evidente que en los píxeles donde se sitúa el filtro rojo, no tienen señal ni de verde ni de azul. Para subsanar la falta de estos colores en estos píxeles, se construye una señal RGB a partir de los píxeles adyacentes de cada color. Este cálculo se realiza en el interior de la cámara mediante un circuito DSP específico, el cual permite realizar la operación en tiempo real y dependiendo de la cámara permite obtener una señal analógica o digital en RGB. Algunas cámaras transmiten la señal del sensor de forma digital hacia el exterior de la cámara y mediante un programa apropiado un ordenador realiza la transformación y permite visualizar la imagen en color.

2.2.3.3.2 Cámara color 3CCD

Las cámaras color 3CCD incorporan un prisma y tres sensores tal y como se observa en la Figura 2.62. La luz procedente del objeto pasa a través de la óptica y se divide en tres direcciones al llegar al prisma. En cada uno de los tres extremos del prisma se encuentra un filtro de color rojo, verde y azul, y un sensor que captura la luz de cada color procedente del exterior. Internamente la cámara combina los colores y genera una señal RGB similar a la que ve el ojo humano. La fidelidad de las imágenes de las cámaras de 3CCD es muy superior a las de las cámaras de 1 CCD, pero hay un par de inconvenientes inherentes al sistema. Por una parte este tipo de cámaras requieren más luz debido a que el prisma hace que sea menor la cantidad de iluminación que incide sobre los sensores, y por otra parte se genera un efecto de aberración cromática debida a la propia estructura del prisma. Este efecto puede ser subsanado con ópticas especialmente diseñadas para estas cámaras.

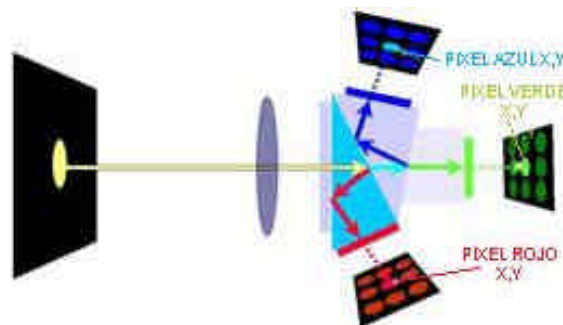


Figura 2.62 Prisma y sensores de las cámaras color con 3CCD

2.2.3.3.3 Características de las cámaras de visión artificial

En las cámaras de visión artificial requieren una serie de características especiales que no acostumbra a tener las cámaras utilizadas en otros tipos de aplicaciones como la televisión o la vigilancia y seguridad.

2.2.3.3.3.1 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 píxeles 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.

2.2.3.3.3.2 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 está expuesto durante un tiempo superior al de un cuadro. El máximo tiempo de integración está limitado por el ruido térmico del sensor, que puede mejorarse si se refrigera.

2.2.3.3.3.3 Captura en modo de reset asíncrono

Este modo 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 en las cuales 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 25 Hz, que equivale a un periodo de 40 ms. Si no se emplea reset asíncrono en la captura, puede existir un desfase temporal de hasta 20 ms en distintas adquisiciones. Si el objeto a capturar está en movimiento, este se desplazará 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” externo.

2.2.3.3.3.4 “Trigger” al “frame grabber”

La señal de video procedente de una cámara consiste en una serie de imágenes enviadas en un tiempo determinado (en el caso de la señal CCIR son 25 imágenes por segundo con 40 ms de retardo entre cada imagen consecutiva). Si el frame grabber o placa de captura recibe un “trigger”, captura la próxima imagen de video. Este puede tener un retardo aleatorio que puede variar entre 0 y 40 ms y por tanto el objeto que se pretendía capturar puede estar en cualquier posición en la imagen.

El concepto de “trigger” al “frame grabber” puede servir tanto para adquirir un único “frame”, como para iniciar una única captura en modo de reset asíncrono.

Con esta configuración, la señal externa se conecta a la entrada de “trigger” del “frame grabber”. La señal de control “frame reset” de la tarjeta, se debe conectar a la entrada de “trigger” de la cámara para poder resincronizar el sistema.

2.2.3.3.3.5 “Trigger” a la cámara

Las cámaras de visión artificial pueden capturar de forma asíncrona mediante una señal de “trigger” (normalmente se trata de una fotocélula). Del mismo modo que se realiza el reset asíncrono a través de la tarjeta, también se puede hacer directamente a la cámara. Los tiempos de reset y de resincronización son idénticos para ambos modos de “trigger”.

Con esta configuración, la señal externa se conecta a la entrada de “trigger” de la cámara. Ésta toma la imagen y envía una señal de salida, la cual debe estar conectada tanto a la entrada de sincronismo como a la entrada de “trigger” del “frame grabber”.

2.2.3.3.3.6 Sincronización y “píxel clock”

Cuando un “frame grabber” interrumpe una señal de video de entrada, generalmente, es necesario esperar algunas imágenes 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 “frame grabber” necesita ser informado mediante señales de sincronismo por separado para interpretar rápidamente la señal de video que le llega.

Los “frame grabbers” estándar de bajo coste no son capaces de aceptar este tipo de señales por separado y por tanto, es necesario utilizar “frame grabbers” avanzados con barrido variable.

Las señales necesarias para sincronizar son:

- HD sincronismo horizontal
- VD sincronismo vertical
- “Píxel clock” (opcional) o reloj de alta velocidad que se dirige al registro de desplazamiento del CCD. El “píxel clock” se utiliza para dirigir el ADC (Conversor Análogo/Digital) del “frame grabber” con el HD y VD controlando el inicio de la imagen y el tiempo horizontal. Hay otras formas de hacer el reset asíncrono pero esta es la forma más simple y elegante.

2.2.3.3.4 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 analógico 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, y 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 precio alto.

2.2.3.3.4.1 Salida de video 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 de coste reducido. El cable además puede tener algunas decenas de metros sin que la señal pierda potencia. Todas las cámaras estándar son analógicas y además existen algunas cámaras de alta velocidad y de alta definición que también lo son.

2.2.3.3.4.2 Salida de video digital paralela

La salida digital paralela permite conectar la cámara con un "frame grabber" mediante un cable multihilos. 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 20 MHz. Los sistemas LVDS se denominan actualmente EIA-644 y son pin a pin compatibles con el estándar RS-422. Si un "frame grabber" está 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 40 MHz.

2.2.3.3.4.3 Salida de video digital Camera Link

Camera Link es un nuevo estándar en la conexión entre "frame grabbers" y cámaras digitales, que permite la transferencia de datos a alta velocidad con cables con menos hilos. Camera Link utiliza el protocolo de transmisión de Channel Link TM.

Éste es un dispositivo diseñado para utilizar la tecnología LVDS serializando los datos paralelos con el fin de reducir el número de cables. Grupos de siete bits se transmiten en cables de diez hilos (5 pares trenzados), tal y como se observa en la Figura 2.63. Y la velocidad de transmisión de datos en la actualidad es de hasta 1.8 Gbps.

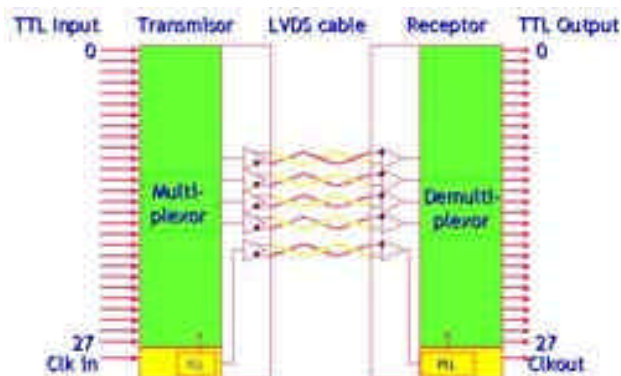


Figura 2.63 Salida de video digital Camera Link

2.2.3.3.4.4 Salida de video digital USB2

El producto de comunicación USB2 es un estándar de la industria informática. Recientemente algunos fabricantes de cámaras para entorno industrial han desarrollado cámaras que cumplen con este estándar. Entre las características principales que se pueden destacar se encuentran:

- estándar apoyado por los grandes fabricantes INTEL, IBM, Microsoft...
- múltiples entradas disponibles en el mismo ordenador
- velocidad de transferencia de hasta 480 Mbit/s (50 MB reales)
- no es recomendable para sistemas que requieran altas prestaciones
- existen librerías disponibles de los principales fabricantes de sistemas de visión

2.2.3.3.4.5 Salida de video digital FireWire - IEEE 1394

El protocolo de comunicación digital IEEE 1394 es un bus digital que puede alcanzar 400 Mbits/s que proporciona una interfaz cámara-ordenador flexible y de coste razonable. Algunas características de esta tecnología son:

- puede conectar varias cámaras a una sola placa
- varios ordenadores 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 deben utilizar placas IEEE 1394 específicas para visión artificial
- esta tecnología no es muy recomendable para aplicaciones que requieran prestaciones algo elevadas

2.2.3.3.4.6 Salida de video digital Gigabit Ethernet

El protocolo de comunicación Gigabit Ethernet se ha convertido en un protocolo estándar dentro del entorno informático. Es compatible con Ethernet 10/100. A principios del año 2004 se creó una comisión internacional bajo el patrocinio de la AIA (Automated Imaging Association) para ajustar esta tecnología a los entornos de visión industrial. Esta tecnología está, por tanto, apoyada por la mayoría de fabricantes de la industria de la visión industrial. La velocidad de transferencia de Gigabit Ethernet es de 1.000 Mbits/s (100 MB reales).

Entre sus características destacan:

- estándar apoyado por la industria de visión
- conexión punto a punto
- permite largas longitudes de cables

- múltiple distribución de imagen
- recomendables para sistemas de prestaciones medias
- número de dispositivos ilimitados

En la Tabla 2.5 se incluye una tabla con las características principales de los distintos sistemas de transmisión digitales disponibles:

SALIDA DE VIDEO DIGITAL	Firewire	USB2	Giga Ethernet	CameraLink
Tipo de estándar	Consumo		Comercial	
Tipo de conexión	Par a par bus compartido	Master / Slave bus compartido	Punto a punto o Land Link	Punto a punto
Rendimiento (MB/s)	<400	<480	<1.000	<7.140
Distancia (m)	10	10	100	10
Distancia con repetidores (m)	72	30	Ilimitada	40
Distancia con fibra óptica (m)	200	-	Ilimitada	1.000
Número de hilos en el cable (8bits)	4/9	2	8	10
Máximo número de dispositivos	63	127	Ilimitado	4
Interfaz PC	Placa base placa PCI			Frame grabber
Driver Windows	Nativo			Propietario

Tabla 2.5 Características principales de las diferentes salidas de video digital

2.2.3.3.5 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”.

2.2.3.3.5.1 “Binning” vertical

Esta tecnología reduce el número de líneas verticales, de forma que el sensor lea 2 o más píxeles a la vez. 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.

2.2.3.3.5.2 Doble velocidad de reloj

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.

2.2.3.3.5.3 Barrido parcial

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

2.2.3.3.5.4 Sensor “multitap”

Permite leer áreas del sensor en paralelo para incrementar la velocidad. Si un sensor funciona a 25 MHz y tiene 4 salidas la velocidad final de la cámara será de 100 MHz. De esta forma en una cámara con sensores de 4 “taps” se pueden alcanzar velocidades de hasta 1.000 imágenes por segundo.

2.2.3.3.6 Cámaras de alta definición y fidelidad mayor de 8 bits

Este tipo de cámaras se utilizan en aplicaciones industriales que requieran una gran calidad de imagen. Acostumbran a tener una salida digital que proporciona 12 o 14 bits por píxel. Proporcionan una serie de prestaciones como:

- mayor rango dinámico
- mejor eficiencia cuántica
- bajo nivel de ruido
- precisión de subpíxel
- estabilidad en tiempo y temperatura

Las cámaras de alta definición proporcionan resoluciones desde 1024x1024 hasta 4000x3000 píxeles. Algunas cámaras de alta fidelidad también están diseñadas para capturar imágenes en condiciones de muy baja iluminación. Para ello utilizan el sistema denominado “back iluminated”. Normalmente la luz entra en el CCD frontalmente e incide en los sensores, pero gracias al sistema “back iluminated” la luz se concentra en la parte posterior del CCD para mejorar la iluminación (ver Figura 2.64). Esto se consigue debido a que estos sensores están cubiertos con polisilicio que es transparente a las longitudes de onda altas, pero que es opaca a las longitudes de onda más cortas de 400 nm. Es posible mediante ciertas técnicas reducir el espesor del CCD hasta aproximadamente 10 micras y focalizar la imagen no en la parte frontal del CCD sino en la parte trasera. Este tipo de CCD tiene más del doble de eficiencia cuántica que los sensores convencionales y pueden captar longitudes de onda desde rayos X hasta el infrarrojo cercano.

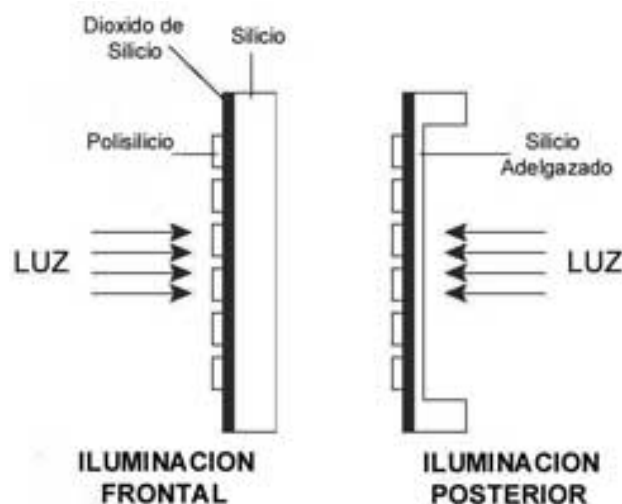


Figura 2.64 Iluminación frontal (CCD estándar) e iluminación posterior (CCD alta definición)

2.2.3.4 Cámaras lineales

El concepto de barrido lineal se asocia a la construcción de una imagen línea a línea, utilizando un sensor lineal, de forma que la cámara se desplaza con respecto al objeto a capturar, o bien el objeto se desplaza con respecto a la cámara, como en la Figura 2.65. La utilización de cámaras lineales, sin ser compleja, requiere de una mayor experiencia en los entornos de visión que la utilización de cámaras matriciales.

La tecnología de cámaras lineales fue desarrollada hace mucho tiempo para aplicaciones de inspección de materiales fabricados en continuo, como papel, tela, planchas metálicas, etc. Sin embargo, en la actualidad se está imponiendo en muchos otros procesos productivos y de inspección, que requieren alta resolución y/o alta velocidad a un precio competitivo.

Las cámaras lineales utilizan sensores lineales que acostumbran a tener entre los 512 y 8192 píxeles, con una longitud lo más corta posible, y con una gran calidad con el fin de obtener la mejor sensibilidad y prestaciones.

El hecho de construir una imagen de alta calidad a partir de líneas individuales requiere un alto grado de precisión. La alineación y los sincronismos del sistema son críticos si se quiere obtener una imagen correcta del objeto a analizar.

El termino inglés "web inspection" equivalente a inspección en continuo y se refiere a una inspección continua de productos como la tela, papel, vidrio, plancha de metal o cualquier producto de este estilo incluidos los de extrusión. Este tipo de materiales no tienen un inicio y un fin definido, y pueden tener una longitud indeterminada. Las cámaras lineales por tanto pueden capturar una imagen de una anchura conocida (el tamaño del sensor) y de una longitud ilimitada.

Con la tecnología de cámaras lineales es posible capturar objetos de grandes dimensiones en una sola pasada, mientras que con cámaras matriciales este mismo objeto debería ser dividido en una secuencia de imágenes parciales.

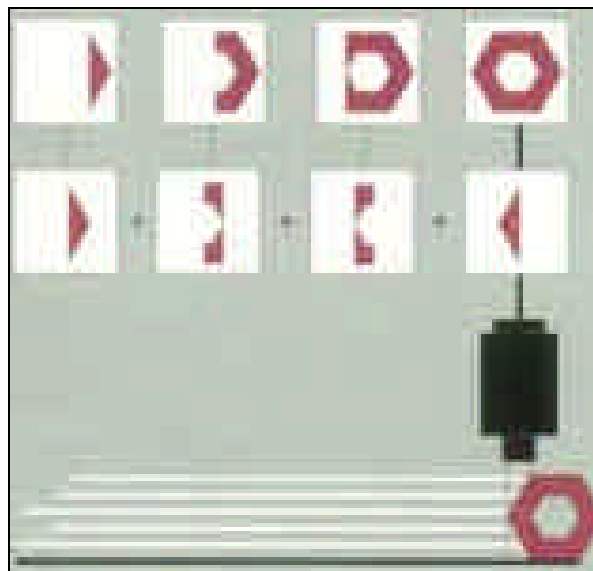


Figura 2.65 Construcción de imagen de pieza en movimiento con cámara lineal

2.2.3.4.1 Características técnicas

Las cámaras lineales se clasifican habitualmente en términos de número de píxeles del sensor y en velocidad. Hay dos tipos especiales de cámaras lineales como son las TDI y las cámaras de color que se describirán más adelante.

2.2.3.4.1.1 Número de píxeles del sensor

Cuanto mayor es el número de píxeles mayor será el tamaño del sensor y mayor será el tamaño de la óptica que se necesita. La mayoría de sensores hasta 1024 píxeles pueden utilizar ópticas de rosca C. Cuando el sensor es de 2048 píxeles o más, el formato de la lente debe ser del tipo F o superior, para que el diámetro de la óptica sea suficientemente amplio, como para que la luz incida sobre todo el sensor y no produzca efectos de “vigneting” (ver capítulo 2.2.4.2.2 Uniformidad relativa de iluminación).

2.2.3.4.1.2 Velocidad

Se refiere al número de píxeles capaces de ser leídos por unidad de tiempo. En las cámaras lineales acostumbra a ser mucho más alto que en las cámaras matriciales. En las nuevas cámaras se puede llegar a velocidades superiores a los 200 MHz. Es por este motivo, que las cámaras lineales normalmente son digitales. Las cámaras lineales analógicas o son modelos antiguos o son de muy baja velocidad y prestaciones.

En la mayoría de aplicaciones con cámara lineal la velocidad de los objetos que pasan frente a la cámara varía, y por tanto, es necesario sincronizar la velocidad de lectura de la cámara con la velocidad de movimiento del objeto. Esto se hace enviando una señal de “trigger” externo generado a intervalos de espacio regulares de forma que las líneas se sincronicen con el movimiento. Esto se acostumbra a hacer mediante un codificador. La máxima velocidad de lectura de líneas está determinada por la velocidad de la cámara (líneas por segundo y tamaño del sensor).

2.2.3.4.2 Cámaras lineales color

Las cámaras lineales color tienen tres sensores lineales, uno para cada uno de los colores rojo, verde y azul, y pueden ser de dos tipos: trisensor y prisma.

2.2.3.4.2.1 Trisensor

Los sensores CCD están posicionados de forma adyacente uno al lado del otro, separados por un número de píxeles conocidos. Las cámaras que utilizan estos sensores se denominan trilineales. La diferencia espacial entre los sensores se compensa por software. Esta arquitectura tiene una buena sensibilidad (similar a las cámaras monocromo) pero sólo puede utilizarse en aplicaciones con superficies planas. Con este tipo de cámaras también es muy importante que la cámara este perpendicular a la superficie y a la dirección del movimiento de los objetos.

2.2.3.4.2.2 Prisma

Los sensores se posicionan en tres caras de un prisma. Este tipo de cámaras pueden utilizarse en cualquier tipo de aplicación, ya que los píxeles R, G y B coinciden en la misma posición en el objeto. El inconveniente del prisma es que reduce la transmisión de la luz y por tanto el sensor debe ser más sensible o utilizar una iluminación más potente. En este tipo de cámaras puede haber un efecto de aberración cromática que puede corregirse con ópticas especiales.

2.2.3.4.3 Cámaras lineales TDI

En una cámara lineal convencional en la cual la máxima exposición está limitada a la velocidad de línea. Esto significa que se necesita mucha más iluminación que en una cámara matricial donde la máxima exposición es la velocidad de captura de cuadro. Esto, a menudo, limita la velocidad a la que la cámara lineal puede funcionar y hace prácticamente imposibles las aplicaciones de alta velocidad y baja iluminación.

La tecnología TDI (“Time Delay Integration”) utiliza el movimiento sincronizado para capturar múltiples tomas de la misma línea y sumarlas, obteniendo una línea con sensibilidad amplificada. TDI es el nombre dado al método de combinar muchas líneas individuales a la vez con el fin de incrementar la sensibilidad. La ventaja de este método además reside en que mejora la relación señal / ruido.

Las cámaras más modernas incorporan hasta 96 líneas de sensores en cada CCD de forma que pueden alcanzar hasta 96 veces más sensibilidad que una cámara lineal convencional.

Con las cámaras TDI, por tanto, se puede alcanzar más velocidad con relativamente baja iluminación. Permiten trabajar con menor iluminación con lo que es posible utilizar sistemas de iluminación más económicos, como líneas de LED. Sin embargo, hay que tener en cuenta, que este tipo de cámaras deben estar perfectamente alineadas con la dirección del movimiento de la aplicación y que la velocidad de la aplicación debe ser bastante constante.

2.2.3.4.4 Prestaciones avanzadas de las cámaras lineales

2.2.3.4.4.1 FPN y PRNU

Hay dos tipos de errores típicos de los sensores CCD que son FPN (“Fixed Pattern Noise”) y PRNU (“Photo Response Non uniformity”). En las cámaras lineales es particularmente importante que tengan un bajo nivel de estos dos tipos de defectos. Cuando una iluminación uniforme incide en el sensor de la cámara, cada píxel debe tener el mismo valor de nivel de gris. Pequeñas variaciones en el tamaño de la celda y en el sustrato del material pueden provocar valores ligeramente distintos. La diferencia entre la respuesta verdadera del CCD y una respuesta uniforme se conoce con el nombre PRNU, lo que provoca una imagen con un ruido constante denominado FPN. Como el PRNU está causado por las propiedades físicas del sensor, es casi imposible eliminarlo completamente en el momento de su fabricación, pero es importante que tenga un valor bajo.

2.2.3.4.4.2 “Flat field correction” o corrección de iluminación píxel a píxel

La mejor manera de compensar la falta de uniformidad del sensor causado por el PRNU es utilizando “Flat Field Correction” por hardware (bien en el “frame grabber” o en la propia cámara). Esto permite hacer correcciones de ganancia en el sensor píxel a píxel. Sin este tipo de corrección la imagen de una superficie iluminada uniformemente aparece con ligeras diferencias que pueden verse reflejadas en la presencia de líneas verticales en la imagen. Así mismo este tipo de corrección por hardware permite eliminar las diferencias de iluminación, así como el efecto de oscurecimiento en los bordes provocado por algunas ópticas (efecto “vigneting”), normalmente más acusado en las ópticas gran angular.

2.2.3.5 Cámaras inteligentes

La constante miniaturización de los componentes ha permitido el desarrollo y la proliferación de las cámaras inteligentes. Estas cámaras incorporan los elementos tradicionales de las cámaras convencionales, como son el sensor y la electrónica asociada a la captura, pero además se acompañan de un procesador, memoria y sistema de comunicaciones con el exterior (puerto serie, I/O, Ethernet) y, por tanto, componen en si mismas un sistema completo de visión artificial.

Estas cámaras se pueden presentar en diferentes versiones, desde cámaras entrelazadas de resolución estándar, hasta cámaras progresivas de alta resolución, o cámaras color. Su reducido tamaño y su ajustado precio las hacen un elemento cada vez más utilizado en las aplicaciones de visión.

Estas cámaras inteligentes también se conocen como sistemas inteligentes de visión industrial. Estos sistemas se desarrollan y se detallan más adelante en el capítulo **2.2.6** Sistemas de visión inteligentes.

2.2.3.6 Cámaras térmicas

Hasta este momento todas las cámaras descritas funcionan dentro del espectro visible y pueden capturar radiación infrarroja cercana hasta aproximadamente 1.000 nm.

Existen muchas aplicaciones de visión que requieren soluciones más allá del espectro visible, debido a las características de emisión de los objetos o de la aplicación a evaluar. Dentro de estos tipos de aplicaciones se encuentran todas aquellas que deben resolverse dentro del infrarrojo lejano, o sea, más allá de los 2 μm .

Las cámaras térmicas son capaces de determinar la temperatura de los cuerpos a partir de la radiación infrarroja. Existen dos longitudes de onda por excelencia donde trabajan las cámaras térmicas, las cuales son de 2 a 5 μm y de 7 a 12 μm .

2.2.3.7 Elección de la cámara

Después de la elección de la iluminación, el siguiente paso es elegir la cámara más adecuada para el sistema de visión artificial de la automatización del proceso de ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en parabrisas de automóviles. Para ello, se deben tener en cuenta las siguientes características para determinar la mejor cámara para cualquier aplicación:

- ¿Es en color o en monocromo?
- ¿Es estática o dinámica?
- ¿Resolución necesaria?

Depende de la respuesta a estas preguntas se debe utilizar un tipo u otro de cámara. Por tanto, para el sistema de visión artificial de la automatización se observa que:

- ✓ Tal y como se ha mencionado en el capítulo de iluminación, es en monocromo, ya que no se requiere discriminar diferentes tonalidades de los detalles superficiales de la ventana sin serigrafía, además de ser totalmente innecesario. Basta con obtener la silueta de la ventana sin serigrafía. Por tanto, el sensor de la cámara no es necesario que sea de color, por lo que es suficiente que sea monocromo. Además, el sensor monocromo es más económico que el de color.
- ✓ La toma de imágenes de la ventana sin serigrafía se realiza de forma estática, ya que el parabrisas permanece inmóvil durante todo el proceso de ensamblaje. Además, se dispone de tiempo suficiente para la adquisición y el procesado de la imagen. No obstante, cuando se decida realizar la adquisición, debe ser rápida.
- ✓ La resolución del sistema de visión corresponde al valor en milímetros equivalente a un píxel del área de visión. La resolución necesaria viene marcada por la tolerancia de ensamblaje permitida. La Tabla 2.6 permite conocer la resolución del sistema de visión en caso de utilizar cámaras matriciales y lineales con diferentes resoluciones.

ÁREA DE VISIÓN (mm)			RESOLUCIÓN SISTEMA VISIÓN ARTIFICIAL		TOLERANCIA (mm)
63,3 x 47,5					±0,5 mm
RESOLUCIÓN (píxeles)			(mm/píxel)		ERROR (mm)*
Horizontal	x	Vertical	Horizontal	Vertical	2xResoluc. Sist. VA
Sensores cámaras matriciales					
640	x	480	0,099	0,099	0,198
782	x	582	0,081	0,082	0,163
1024	x	768	0,062	0,062	0,124
1280	x	1024	0,049	0,046	0,099
Sensores cámaras lineales					
512	x	n	0,124	-	0,247
1024	x	n	0,062	-	0,124
2048	x	n	0,031	-	0,062
4096	x	n	0,015	-	0,031

(*) Debido a la técnica y al tipo de iluminación empleada en el sistema de visión, el error del mismo se puede valorar como dos veces la resolución del sistema de visión artificial en lugar de tres o cuatro veces ésta en el caso de utilizar otra técnica de iluminación

Tabla 2.6 Resolución y error del sistema de visión artificial en función de la resolución del sensor

Una vez determinadas las características anteriores se está en disposición de determinar las siguientes:

- ¿Matricial o lineal?
- ¿Es de alta velocidad o no?
- ¿Salida de video analógica o digital?

Depende de la respuesta a estas preguntas se debe utilizar un tipo u otro de cámara. Por tanto, para el sistema de visión artificial de la automatización se observa que:

- ✓ Según la Tabla 2.6, las resoluciones de las cámaras matriciales ya son lo suficientemente buenas como para no tener que requerir de una cámara lineal, la cual ofrece mucha más resolución a un precio también mucho más elevado. Como la resolución de los sensores es directamente proporcional al precio de las cámaras, del mismo modo para las matriciales, las de 782x582 o incluso de 640x480 píxeles resultan ser suficientes para obtener un error del sistema de visión que no comprometa la tolerancia de ensamblaje. Ésta es de 1 mm y el error del sistema de visión en el peor de los casos, con la mínima resolución, estaría muy por debajo, concretamente sería 0,198 mm lo que representa tan sólo el 20% del error de ensamblaje admisible. Las cámaras matriciales que contienen sensores hasta una resolución de 782x582 están diseñadas para aplicaciones estáticas y son mucho más económicas que las cámaras matriciales con sensores de resolución 1024x840 y superiores, ya que además de ofrecer mucha más precisión, están diseñadas para aplicaciones dinámicas con lo que resultan más caras.

Otro motivo más para descartar las cámaras lineales y elegir una cámara matricial es el hecho de que las cámaras lineales construyen una imagen línea a línea a partir del desplazamiento de la cámara respecto del objeto a capturar, o bien por el desplazamiento del objeto respecto de la cámara. El desplazamiento del parabrisas o bien el de la cámara lineal complicaría y encarecería innecesariamente la aplicación de visión de la automatización. Además, las cámaras lineales requieren mayor experiencia en aplicaciones de visión que las cámaras matriciales.

- ✓ Es de baja velocidad, ya que la ventana sin serigrafía permanece estática, debido a que el parabrisas permanece inmóvil durante todo el proceso automatizado de ensamblaje. Por tanto, no se requieren cámaras progresivas más caras que las entrelazadas. Por otro lado, se descarta la tecnología CMOS "global shutter" por estar diseñada para la toma de imágenes de objetos en movimiento y por su elevado precio. Y entre CCD y CMOS "rolling shutter" no se tiene predilección alguna por estos tipos de tecnología de sensor, ya que además de su similar coste no se puede determinar ninguna ventaja de uno respecto del otro debido al sistema de visión artificial necesario.
- ✓ Se escoge salida analógica por ser más barata que la digital y por la misma causa se escoge con señal de video estándar (monocromo es CCIR o RS-170) antes que no estándar

Por tanto y a modo de resumen, la cámara necesaria para el sistema de visión de la automatización debe cumplir con las siguientes características:

- cámara monocromo entrelazada
- con sensor matricial CCD o CMOS (“rolling shutter”)
- con una resolución mínima de 640x480 y máxima de 782x582 píxeles
- analógica con formato de salida de video estándar
- con reset asíncrono, ya que sino la captura se realizaría con un retraso aleatorio debido a la relación entre el momento en que se emite la señal de “trigger” y el tiempo de sincronismo vertical de la cámara
- con el menor precio posible, siempre y cuando se cumplan los requisitos anteriores

A continuación, se ha realizado un estudio de todas aquellas cámaras existentes en el mercado que corresponden al tipo de cámara mencionada y que cumplen con las características anteriores.

Como resultado de este estudio se ha confeccionado la Tabla 2.7, la cual contiene todas las características y los datos técnicos de las cámaras seleccionadas.

Como se puede observar todos los modelos resultan tener casi las mismas características técnicas y no se observan diferencias significativas. Por tanto, el precio es el factor determinante que decide la elección. La cámara matricial monocromo elegida para el sistema de visión de la automatización es el modelo CV-A50 de la marca JAI.



Figura 2.66 Cámara JAI CV-50

CÁMARAS MATRICIALES					
Fabricante	SONY	HITACHI	JAI	PULNIX	PELCO
Modelo	XC-ST50	KP-M2	CV-A50	TM-260	MC3651H-2X
Interfaz cámara	Analógica	Analógica	Analógica	Analógica	Analógica
Tipo sensor	Matricial	Matricial	Matricial	Matricial	Matricial
Tipo de sensor	CCD	CCD	CCD	CCD	CCD
Tamaño sensor (mm) / Formato (")	- / 1/2	6,47x4,83 / 1/2	6,4x4,8 / 1/2	6,47x4,83 / 1/2	6,3x4,7 / 1/3
Resolución máx. (píxeles)	768x494	752x582	752x582	752x582	795x596
Veloc. a resolución máx. (img/s)	30 ()	25 (625 líneas)	25 (625 líneas)	25 (625 líneas)	25 (625 líneas)
Resolución TV (líneas)	570x-	560x575	570x-	560x420	570x-
Sensibilidad (lux)	400 f8	400 f4	-	-	-
Mínima iluminación (lux)	0,3 f1,4	0,5 f1,4	0,3 f1,3	0,5 f1,4	0,1 f1,2
Relación S/N (dB)	60	56	59	50	50
Formato ó Salida video	RS-170	CCIR	CCIR	CCIR	CCIR
Monocromo / Color	Monocromo	Monocromo	Monocromo	Monocromo	Monocromo
Salida de video (V_{pp}) / (W)	1 / 75 no balanceado	1 / 75 no balanceado	1 / 75	1 / 75	1 / 75
Ganancia (dB)	0 ~ 18 (Man/Auto)	-	0 ~ 15 (Man/Auto)	-	- (Man/Auto)
Sincronización	Int. Ext. HD/VD o Trigger aleatorio	Int. Ext. HD/VD o Trigger aleatorio	Int. X-tal. Ext HD/VD o trigger aleatorio	Int. Ext.	Int. Ext.
Barrido	2:1 entrelazado / no entrelazado	2:1 entrelazado / no entrelazado	2:1 entrelazado / no entrelazado	2:1 entrelazado / no entrelazado	2:1 entrelazado
Frecuencia de barrido H(khz)xV(Hz)	15,734x59,94	15,625x50	-	-	-
Velocidad shutter (s)	1/100 ~ 1/10.000	Off ~ 1/10.000	Off ~ 1/10.000	1/60 ~ 1/29.000	1/60 ~ 1/100.000
RS-232	No	No	Si	No	No
Reset asíncrono	Si	Si	Si	Si	Si
Píxel clock	Si	Si	Si	Si	Si
Alimentación (V)	12 ±10%	12 ±10%	12 ±10%	11-15	18-36
Potencia (W)	2	2,2	1,5	2,3	3,3
Montura	C	C	C	C	C/CS (ajustable)
Dimensiones (AlxAxP) (mm)	29 x 44 x 57,5	29 x 44 x 72	29 x 44 x 66	44 x 44 x 62,3	74,4 x 62,2 x 107,9
Peso (g)	110	120	150	120	350
Temperatura de funcionamiento (°C)	-5 ~ 45	-10 ~ 60	-5 ~ 45	-10 ~ 50	-10 ~ 50
Humedad relativa (%)	20 ~ 80	20 ~ 80	20 ~ 80	20 ~ 80	20 ~ 80
Precio (con IVA)	474,00 €	440,00 €	421,00 €	491,00 €	483,00 €

Tabla 2.7 Características de las cámaras seleccionadas

2.2.4 ÓPTICAS

Las ópticas se utilizan para transmitir la luz al sensor de la cámara de una forma controlada y así obtener una imagen enfocada de uno o varios objetos. Para saber exactamente que óptica debe utilizarse para cualquier aplicación que se desea resolver se debe tener en cuenta una serie de parámetros. Resulta imprescindible conocer:

- el tamaño del sensor de la cámara
- la distancia a la que estará el objeto de la cámara
- el campo de visión que se desea abarcar en la aplicación

Una vez conocidos todos estos parámetros, se puede calcular la óptica a utilizar mediante la Ecuación 2.1:

$$\text{Distancia focal} = \frac{\text{Tamaño del sensor} \cdot \text{Distancia al objeto}}{\text{Tamaño del objeto}}$$

Ecuación 2.1 Distancia focal

En los sistemas de visión artificial es necesario utilizar ópticas de calidad para tener la mejor imagen posible y la mayor precisión en las medidas. Hay muchos fabricantes de ópticas, que pueden producir lentes de distintas cualidades. Sin embargo, no hay ningún fabricante que tenga un rango total de ópticas para cubrir todas las necesidades que se plantean en las aplicaciones de visión. No obstante, hay un gran número de tipos de ópticas diseñadas para aplicaciones específicas.

Para definir el tipo de óptica se deben seguir una serie de consideraciones:

- el tipo de iluminación utilizada
- las especificaciones del sensor de la cámara
- el tamaño y la geometría del objeto
- la distancia y el espacio disponible

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.

En la mayoría de aplicaciones de visión se utilizan ópticas de foco fijo, no es habitual utilizar ópticas zoom y menos aún ópticas motorizadas, aunque en ocasiones sean de gran utilidad. En las aplicaciones de 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 sólo sea necesario distinguir entre objetos oscuros o claros.

2.2.4.1 Parámetros técnicos

Las ópticas convencionales se clasifican generalmente en términos de distancia focal y apertura, sin embargo hay otras propiedades de las lentes que deben considerarse cuando se selecciona una óptica.

2.2.4.1.1 Distancia focal

La distancia focal define la potencia o capacidad de refracción de una lente. La luz procedente de un objeto en el infinito incide perpendicular al plano óptico "O" de la lente e intercepta el eje óptico en el foco "F" de la Figura 2.67. La distancia focal "f" es la distancia entre el plano óptico "O" y el foco "F". Se mide en milímetros. En la Figura 2.67 se muestra también un objeto a una distancia "s" del plano óptico.

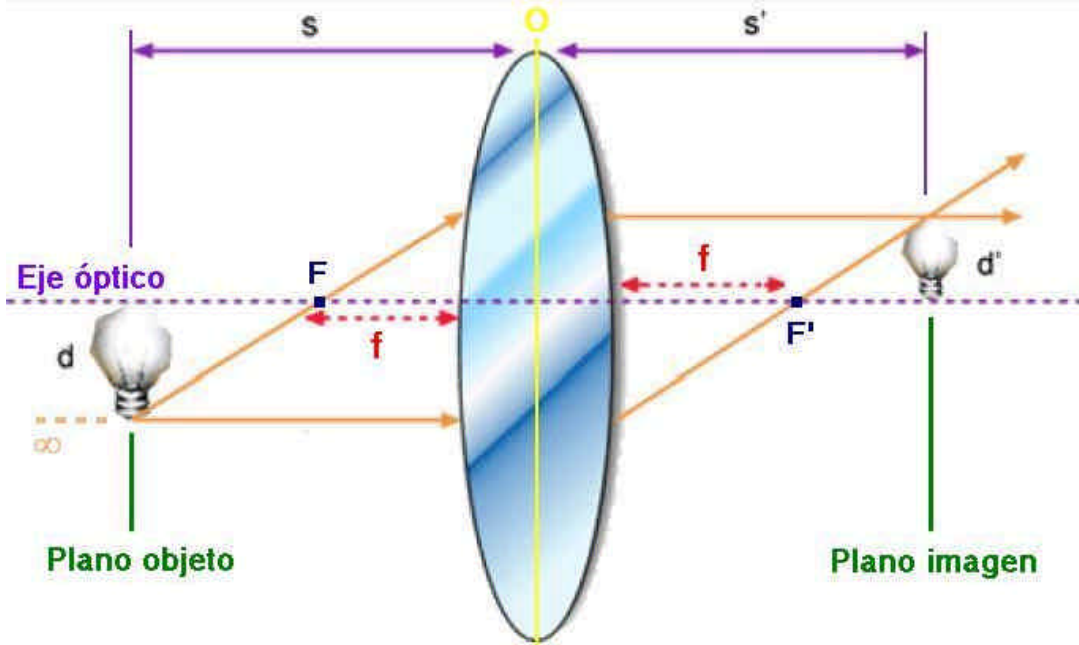


Figura 2.67 Trazado de haces de luz para lente con distancia focal "f"

Muchas ópticas tienen un aro de ajuste alrededor de la lente para variar el foco. Esto no cambia fundamentalmente la distancia focal sino que ajusta el foco (la distancia efectiva entre el sensor y el plano central de la lente) permitiendo enfocar los objetos a distancias variables.

En el caso de las cámaras CCD, el sensor de la cámara está colocado en el plano de la imagen (punto focal) de la lente ajustada.

2.2.4.1.2 Monturas

La montura más estándar para las cámaras CCD para aplicaciones industriales es la montura C, sin embargo hay otras monturas como la CS que se utiliza más en cámaras de vigilancia. Para cámaras con sensores de gran formato, tanto lineales como matriciales, se acostumbra a utilizar ópticas con montura F de Nikon o con montura de rosca de 42 mm. En la Figura 2.68 se pueden apreciar todas estas monturas.

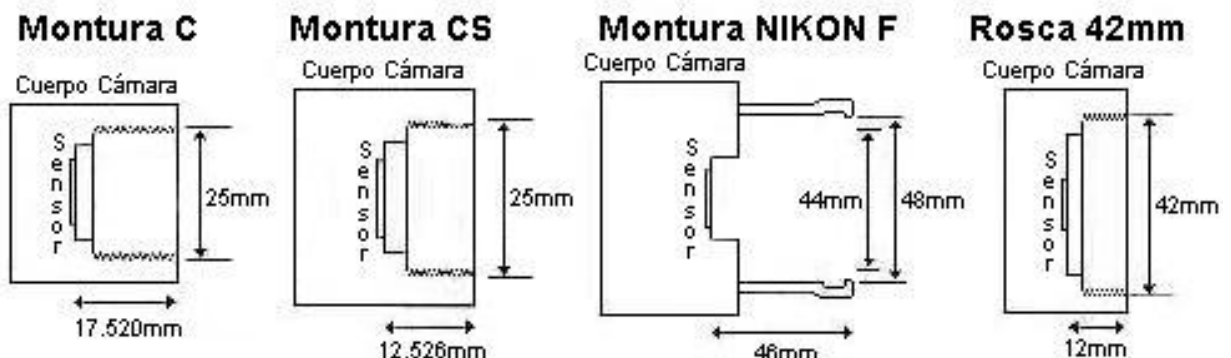


Figura 2.68 Tipos de monturas

2.2.4.1.3 Anillos de extensión

Las ópticas estándar están diseñadas para enfocar objetos desde el infinito a una distancia mínima de enfoque (DME). Es posible enfocar una lente más cerca que el DME utilizando anillos o tubos de extensión que se sitúan entre la lente y la cámara, esta técnica también se utiliza para cerrar el ángulo de visión de una óptica, tal y como se observa en la Figura 2.69.

Los anillos de extensión pueden utilizarse con lentes estándar para alcanzar un cierto campo de visión, pero hay varios factores que se deben tener en cuenta:

- cuando se utilizan tubos de extensión la óptica no enfocará en el infinito
- decrecerá la luminosidad de la óptica. La luz tendrá un recorrido más largo
- la profundidad de campo también decrecerá
- la zona central de la imagen aparecerá más iluminada que los bordes

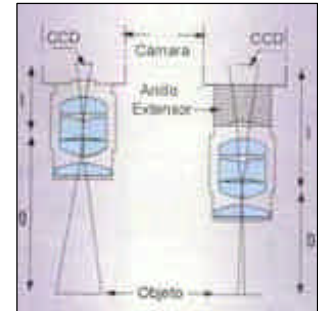


Figura 2.69 Efecto de los anillos de extensión

Los anillos de extensión son útiles pero sólo se deben emplear cuando son realmente necesarios.

2.2.4.1.4 Apertura relativa

La apertura relativa de una óptica (conocida como "F") se utiliza para expresar las características de transmisión. Técnicamente es una medida de la máxima cantidad de luz que pasa a través de ella. El número "F" se calcula dividiendo su distancia focal por el diámetro de la pupila de la lente. Se controla mediante un iris que se encuentra dentro de la lente. Las ópticas con un número "F" pequeño acostumbran a ser muy grandes y normalmente de precio elevado.

El iris ajustable del interior de la lente normalmente utilizan incrementos estándar que son: 1.0, 1.4, 2.0, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22. Cada incremento representa una reducción de la luz a la mitad.

2.2.4.1.5 Profundidad de campo

La profundidad de campo es la medida de la distancia en que los objetos aparecen enfocados. Es función de diferentes aspectos, pero principalmente del tamaño del iris de la lente.

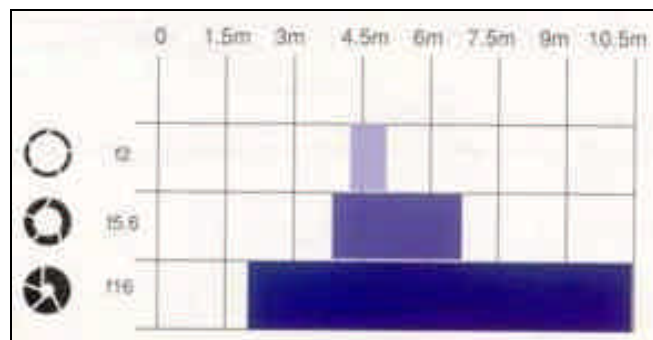


Figura 2.70 Profundidad de campo

A menor tamaño de iris mayor será la profundidad de campo, tal y como se observa en Figura 2.70. Pero cuanto menor sea el iris más cantidad de luz necesitaremos para ver el objeto.

2.2.4.1.6 Magnificación

La magnificación de una óptica es la relación entre el tamaño de la imagen y el tamaño del objeto. La magnificación es una función de la característica de la óptica y de la distancia al objeto.

En las cámaras CCD, la magnificación está relacionada con el tamaño del sensor. Por ejemplo un factor de magnificación de 1x dará un campo de visión del mismo tamaño que el sensor de la cámara. Por esta razón es conveniente saber el tamaño del sensor de la cámara.

Los tamaños de los sensores se expresan en pulgadas. Sin embargo esta expresión no tiene nada que ver con el tamaño real del sensor. Esta expresión es solamente una referencia histórica que se ha mantenido en el tiempo. Viene dada porque el primer sensor CCD que se comercializó, tenía el mismo campo de visión que las cámaras de tubo Vidicon de 1". Las dimensiones de los sensores son de 1/3", 1/2" y 2/3" se pueden observar en el capítulo 2.2.3.2.1 Tecnología de los sensores CCD.

2.2.4.2 Criterios de calidad de las ópticas

La calidad de las ópticas no puede expresarse numéricamente. Se deben tener en cuenta diferentes factores para conocer la calidad de una óptica. Entre estos factores cabe destacar:

- la función de modulación de transferencia (MTF)
- la uniformidad relativa de la Iluminación
- la distorsión
- la transmisión espectral y aberración cromática

2.2.4.2.1 Función de modulación de transferencia (MTF)

La óptica ideal sería aquella que reprodujera exactamente el objeto que está enfocando, incluyendo los detalles y las variaciones de iluminación. En la práctica, esto no es posible y las ópticas actúan como un filtro paso bajo. La cantidad de atenuación de una frecuencia dada se clasifica en términos de Función de Modulación de Transferencia (MTF) que proporciona una indicación de la eficiencia de transferencia de la óptica.

Las estructuras de mayor dimensión, como pueden ser líneas grandes separadas, se transfieren con un buen contraste. Las estructuras más finas, como líneas estrechas con escasa separación, no se transfieren tan bien (ver Figura 2.71).

Para una óptica dada cuanto más se incrementa la frecuencia espacial llega un punto en que la modulación es cero. En términos más sencillos, este límite se denomina el límite de la resolución, y se expresa en pares de líneas por milímetro (lp/mm).

El poder resolutivo de la lente es muy importante en las aplicaciones de visión industrial. El factor más importante a considerar cuando se selecciona una óptica para un determinado CCD es que se pueda asegurar que esta lente es ópticamente capaz de resolver cada uno de los píxeles del sensor de la cámara. El tamaño de los píxeles varía de una cámara a otra dependiendo de la resolución (número de píxeles) y de su tamaño. Cuanto menor es el píxel mayor debe ser la resolución de la lente. La Ecuación 2.2 muestra la forma de calcularlo:

$$\text{Resolución de lente en (lp/mm)} = \frac{500}{\text{Tamaño del píxel del CCD en micras}}$$

Ecuación 2.2 Resolución de la lente

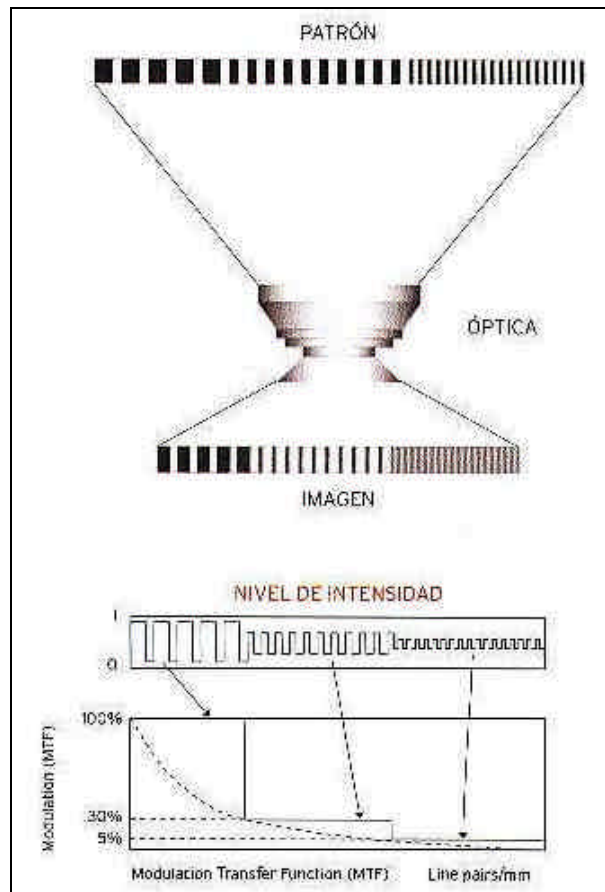


Figura 2.71 Función de modulación de transferencia

2.2.4.2.2 Uniformidad relativa de iluminación

Todas las ópticas producen una variación de intensidad luminosa desde el centro hacia los bordes. Si este efecto es muy marcado y puede afectar a la aplicación se debe tener en cuenta. Hay dos factores que pueden influir en la uniformidad relativa de la iluminación: el primero es un efecto natural de descenso de la iluminación del centro de la lente a los bordes que aumenta cuanto menor es la apertura de la lente, el segundo es un efecto mecánico de las ópticas denominado “vigneting”.

El efecto “vigneting”, Figura 2.72, se produce por el bloqueo de la luz producido por alguna parte mecánica de la lente. Las ópticas de calidad presentan menos “vigneting”. Este efecto puede reducirse cerrando la apertura de la lente, pero el mejor método para reducirlo es utilizando una lente de mayor formato.

Al seleccionar una lente se debe tener en cuenta para qué tipo de sensor ha sido construida, y siempre seleccionar una óptica que haya sido construida para un sensor igual o superior al de la cámara que se va a utilizar.

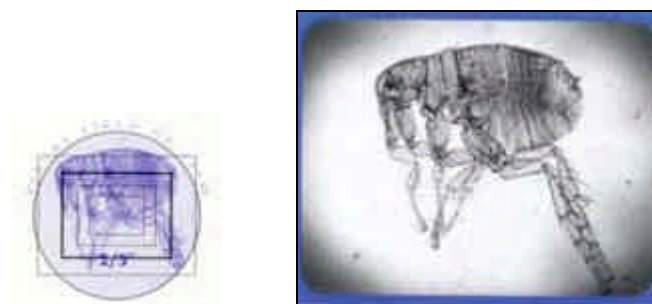


Figura 2.72 Efecto “vigneting”

2.2.4.2.3 Distorsión

El término distorsión se refiere al cambio de la representación geométrica de un objeto en el plano de la imagen. Por ejemplo, un rectángulo puede aparecer como una figura geométrica curvada hacia adentro conocido como almohadilla o curvada hacia fuera llamado barril, esto se pone de manifiesto en la Figura 2.73.

La distorsión de la imagen puede causar serios problemas en las aplicaciones de visión artificial. Cuando se debe hacer una medida sobre la imagen, es vital que esta imagen sea una representación real de los objetos a medir. Una cierta corrección de la distorsión es posible vía software pero no es deseable, dado que requiere cierto tiempo de proceso y una calibración previa. Es importante tener en cuenta las especificaciones de distorsión de las lentes que se acostumbran a expresar en porcentajes.

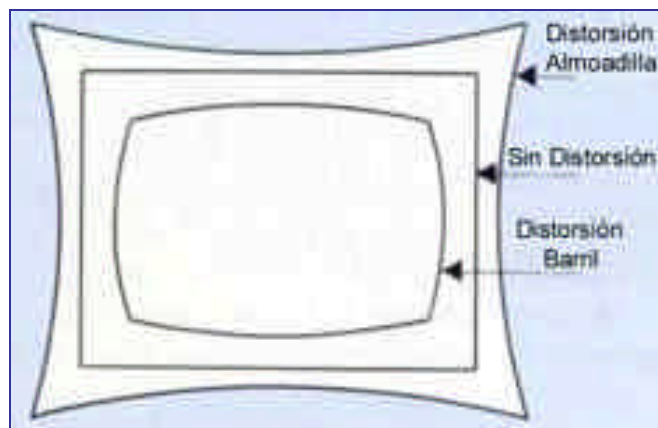


Figura 2.73 Efecto de la distorsión

La distorsión de las lentes está causada por la refracción de la luz en el vidrio de la lente. Como las lentes no están hechas con un espesor uniforme de vidrio y las superficies no son planas, la refracción varía a lo largo de la lente y es máxima en los bordes.

Esto se ve claramente con las ópticas gran angular, las cuales tienen una longitud focal baja y presentan mayor distorsión. En las ópticas de alta calidad, la distorsión se minimiza utilizando múltiples lentes intermedias.

2.2.4.2.4 Transmisión espectral y aberración cromática

Los materiales ópticos transmiten las diferentes longitudes de onda de la luz con distinta eficiencia. Algunas longitudes de onda se reflejan o absorben en proporciones distintas y afectan el balance de color de las ópticas.

La aberración cromática en las lentes está causada porque las diferentes longitudes de onda de la luz (colores) se refractan de forma distinta en el vidrio. Hay lentes que corrigen este efecto, y que son especialmente útiles cuando se utilizan cámaras en color con 3 CCD en las que además influye el efecto del prisma.

La distorsión cromática no es muy prominente con cámaras de resolución estándar pero pueden ser de 4 o 5 píxeles en cámaras de alta resolución o cámaras lineales con 3CCD. Este efecto, se puede minimizar utilizando una lente acromática de baja apertura o lentes especiales que reducen este efecto.

Otro factor a tener en cuenta en las ópticas utilizadas en las cámaras de 3CCD es que no deben sobrepasar la rosca C, ya que este tipo de cámaras acostumbran a no tener espacio entre el filtro del sensor y la óptica.

2.2.4.3 Tipos de ópticas

2.2.4.3.1 Ópticas estándar

Son las más utilizadas. Están disponibles en distintas distancias focales desde 3.5 a 100 mm. Estas ópticas están optimizadas para enfocar desde infinito hasta pocos centímetros del objeto.



Figura 2.74 Ópticas estándar

Normalmente, estas ópticas tienen un MTF de entre 70 y 90 lp/mm con una distorsión moderadamente baja. Son utilizables con cámaras de resolución estándar de hasta 1/2" o 2/3". Son ideales para la mayoría de cámaras estándar. Este tipo de ópticas diseñadas para aplicaciones industriales utilizan cristales de calidad y son de construcción robusta para poder resistir las vibraciones y golpes sin que se desenfoque o cambie la apertura. Permiten un ajuste manual del enfoque y del iris, y están provistas de tornillos de fijación de estos dos ajustes.

2.2.4.3.2 Multiplicadores

Los multiplicadores se sitúan entre la óptica y la cámara, y aumentan la magnificación sin cambiar la distancia de trabajo. Se acostumbra a denominar duplicadores, aunque el efecto multiplicador sea distinto al doble. Se pueden encontrar con una magnificación de 1.5x1.5, 2x2 y 3x3.



Figura 2.75 Multiplicador

2.2.4.3.3 Tubos o anillos de extensión

Los tubos o anillos de extensión se utilizan para enfocar zonas más pequeñas a menor distancia de la que permite la óptica estándar. Los anillos de extensión se suministran en grupos compuestos por anillos de 0,5, 1, 2, 5, 10, 20, 40mm. Pueden combinarse y superponerse para alcanzar mayores longitudes.



Figura 2.76 Anillos de extensión

2.2.4.3.4 Ópticas zoom estándar

Las ópticas zoom estándar se utilizan en aplicaciones donde se requiere capturar la imagen con distintas magnificaciones. Este tipo de ópticas permiten el control manual o motorizado, pudiendo cambiar el zoom, el enfoque y el diafragma de forma remota, tanto analógicamente como a través de un ordenador. En la Figura 2.77 se pueden observar algunos modelos de estas ópticas,



Figura 2.77 Ópticas de zoom estándar

2.2.4.3.5 Ópticas para cámaras de alta resolución montura C

Son una versión superior en calidad a las lentes estándar. Normalmente con especificaciones para cámaras CCD de 2/3" o superior, acostumbran a tener un MTF superior a 120 lp/mm y presentan muy baja distorsión. Estas ópticas se utilizan en cámaras de alta resolución con tamaño de píxel pequeño y en aplicaciones de medida y alineación.



Figura 2.78 Ópticas para cámaras de alta resolución

2.2.4.3.6 Ópticas para microcámaras

Denominadas micro-ópticas son ópticas diseñadas para ser conectadas a microcámaras o cámaras de cabezal remoto. El propósito de utilizar estas ópticas es para asegurar que el tamaño de la óptica no sea mayor que el tamaño de la microcámara, lo que ocurriría si se utilizaran ópticas convencionales. Hay dos tamaños de ópticas disponibles, una para ser utilizadas con cámaras con sensor de 1/3", que tienen un diámetro de 12 mm, y otras para las microcámaras de 1/2" que tienen un diámetro de 17 mm. El enfoque de estas lentes se hace a través de una pequeña rosca que incorporan, que una vez ajustado el foco puede fijarse. Estas ópticas pueden enfocar a distancias extremadamente cortas, inferiores al centímetro. En la Figura 2.79 se pueden observar algunos modelos de estas ópticas.



Figura 2.79 Ópticas para microcámaras

2.2.4.3.7 Ópticas de alta luminosidad montura C

Son ópticas específicamente diseñadas para aplicaciones donde se necesita mejorar todos los parámetros para que la imagen capturada sea lo más luminosa posible. Estas ópticas tienen un iris que empieza en F:0,95.

2.2.4.3.8 Ópticas telecéntricas

Son ópticas diseñadas para realizar medidas de precisión en aplicaciones donde la proyección de perspectiva y el escalado incorrecto de la imagen puedan ser críticos. Están diseñadas específicamente para medir objetos con cierta profundidad de campo. Las ópticas telecéntricas eliminan la distorsión haciendo que la luz incida completamente perpendicular en el sensor.

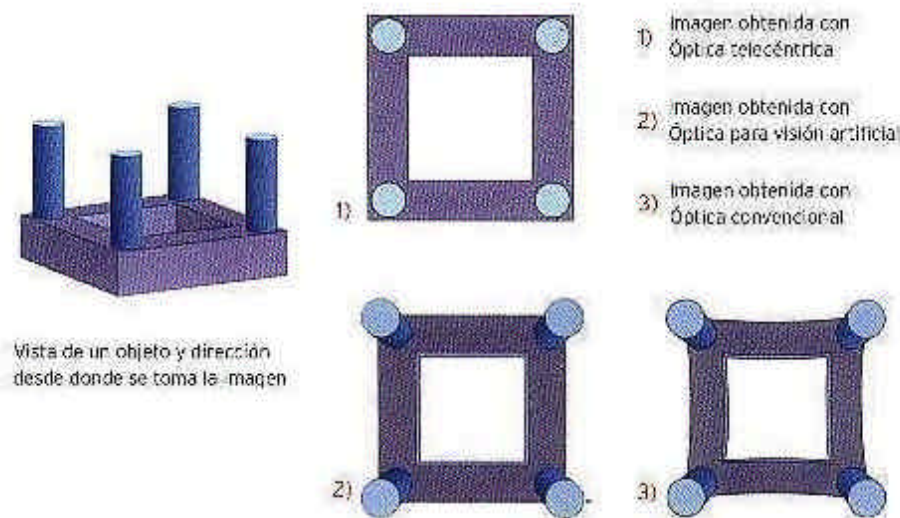


Figura 2.80 Vista en planta de pieza con diferentes tipos de ópticas

Las imágenes telecéntricas se basan en el principio de la proyección paralela. En este caso el centro de perspectiva está en el infinito. Las lentes telecéntricas aseguran una imagen virtualmente paralela en las tres dimensiones del espacio, tal y como se muestra en la Figura 2.80. Esto significa que objetos del mismo tamaño y a diferente distancia de la lente aparecerán siempre con el mismo tamaño en la imagen. Permitiendo una perfecta medida de los objetos. La telecentricidad asegura que la relación de escala es constante a lo largo de la distancia entre la lente y el objeto. La prácticamente nula distorsión de este tipo de lentes, las hacen absolutamente imprescindibles en aplicaciones de medida de precisión.

Así se obtiene una magnificación mayor, independientemente de la distancia al objeto y eliminando cualquier efecto de perspectiva. Se disponen de ópticas telecéntricas adaptables a cámaras estándar con adaptador a rosca C y también se dispone de ópticas telecéntricas para cámaras de alta resolución, tanto matriciales como lineales.



Figura 2.81 Ópticas telecéntricas

2.2.4.3.9 Ópticas zoom de precisión

Son ópticas zoom diseñadas para aplicaciones donde se requiere mucha precisión y donde el campo de visión es de tamaño reducido. Este tipo de zoom ha sido diseñado para ser utilizado en cámaras con sensores de hasta 2/3". Pueden resolver todas las aplicaciones que requieran grandes magnificaciones. Estos sistemas son extremadamente versátiles ya que están compuestos por distintos elementos intercambiables, que permiten enfocar cualquier objeto a diferentes distancias con distintas magnificaciones. Los componentes fundamentales de este tipo de zoom se pueden observar en la Figura 2.82 y son: el zoom propiamente dicho, los tubos de extensión, las lentes de aumento, el sistema de enfoque, el sistema de iluminación coaxial a través de la propia óptica y el sistema de motores para poder modificar el zoom de forma remota.



Figura 2.82 Componentes de las ópticas zoom de precisión

2.2.4.3.10 Filtros

En muchas aplicaciones de visión artificial es necesario que la cámara sólo reciba una determinada longitud de onda procedente del objeto. Para conseguir esto, pueden utilizarse fuentes de luz monocromáticas o bien pueden utilizarse filtros que sólo dejen pasar o que corten ciertas longitudes de onda (Figura 2.84).

Los filtros más utilizados en los sistemas de visión artificial son los filtros de paso o de corte de infrarrojo. Sin embargo en aplicaciones de color, utilizando cámaras monocromas, se usan filtros para resaltar los colores. También son frecuentemente utilizados en combinación con sistemas de luz estructurada láser, con el fin de ajustar la captura de la cámara a la longitud de onda del láser. En la Figura 2.83 se pueden observar alguno de los filtros utilizados en visión artificial.

Figura 2.83 Filtros

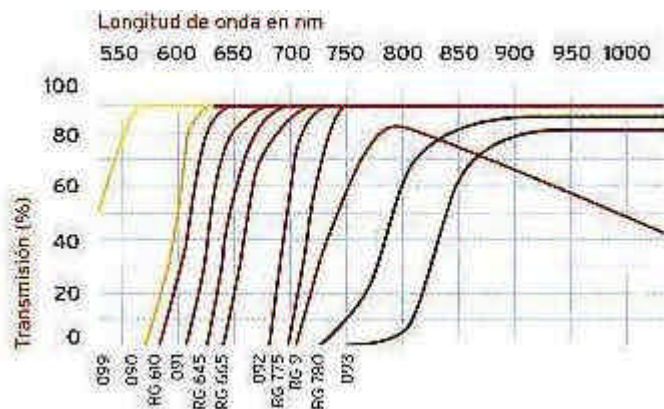


Figura 2.84 Transmisión de la luz según longitudes de onda

2.2.4.4 Elección de la óptica

Después de la elección de la cámara, el siguiente paso es elegir la óptica o lente más adecuada para la cámara del sistema de visión artificial de la automatización. La mejor óptica a utilizar en cualquier sistema depende de los siguientes factores:

- ¿Cuál es el campo de visión que se desea abarcar?
- ¿Cual es la distancia que debe haber entre la cámara y el objeto a examinar?
- ¿Que tamaño tiene el sensor de la cámara?
- ¿Que profundidad de campo es necesaria en la aplicación?
- ¿Que resolución se necesita?
- ¿Puede haber distorsión en la imagen?
- ¿Es problemática la pérdida de luminosidad en los bordes de la imagen?

Dependiendo de la respuesta a estas preguntas se debe utilizar un tipo u otro de óptica. Por tanto, para el sistema de visión artificial de la automatización se observa que:

- ✓ Se desea abarcar un campo de visión igual a al área de visión correspondiente a 63,3x47,5 mm
- ✓ La distancia entre la cámara y la ventana sin serigrafía a examinar debe estar entre 475 y 700 mm. Inicialmente se toma como ideal 475 mm
- ✓ El sensor de la cámara elegida tiene un tamaño de 6,4x4,8 mm, o sea, un formato de 1/2"
- ✓ La profundidad de campo en el sistema de visión de la automatización es la medida de la distancia en que el contorno de la ventana sin serigrafía aparece enfocada. Debido a la variación de la distancia entre la ventana y la cámara como consecuencia de la doble curvatura del parabrisas, se necesita una profundidad de campo como mínimo igual a esta variación, o sea, de al menos 4 mm. Lo que provoca que el iris de la óptica se deba cerrar lo suficiente para conseguir la profundidad de campo mencionada. Cuanto más se cierre el iris mayor cantidad de luz se requerirá para la captura de la imagen, y en consecuencia más aumentará el tiempo de exposición. Tanto la intensidad lumínica necesaria como el tiempo necesario para la captura no son críticos en la automatización. La iluminación elegida ofrece la intensidad lumínica necesaria, la cual atraviesa la ventana sin serigrafía y contrasta con la serigrafía opaca. Con lo cual se obtiene una imagen ya binarizada por hardware cuyo contraste, al disponer de tiempo para la adquisición y el procesado de la imagen, permite que la apertura del iris puede ser muy pequeña, obteniéndose una profundidad de campo muy grande.
- ✓ No se necesita una resolución muy alta, sino que vale con una normal, puesto que sólo se pretende obtener la silueta de la ventana sin serigrafía
- ✓ Se descarta el fenómeno de distorsión porque la silueta de la ventana sin serigrafía está muy bien definida por la iluminación por contraste y porque en el caso de producirse afectaría por igual a todas las ventanas debido a que todas tienen la misma forma
- ✓ Evidentemente que la pérdida de luminosidad en los bordes de la imagen puede llegar a ser un problema en el caso de que la ventana de serigrafía estuviera desplazada hacia ellos. Se podría producir entonces un error en la medida. Por tanto, se debe obtener una uniformidad relativa de iluminación evitando una apertura de la lente excesivamente pequeña y el "vigneting".

La primera característica que permite clasificar las ópticas es su distancia focal. Para calcular la distancia focal de la óptica para el sistema de visión artificial de la automatización se tiene que el formato del sensor CCD es 1/2", equivalente a 6,4x4,8 mm, la distancia deseada de la cámara al objeto es de 475 mm y el tamaño del objeto corresponde al área de visión que es 63,3x 47,5 mm. Por tanto, la distancia focal de la óptica resulta ser de:

$$\text{Distancia focal} = \frac{6,4 \times 475}{63,3} = 48 \text{ mm}$$

Una vez conocida la distancia focal necesaria, se debería determinar el tipo de óptica adecuada. Para ello, es importante también, ajustar el tipo y la calidad de la óptica al resto de los componentes de visión para aprovechar al máximo las características de éstos. Lo que quiere decir que la óptica de la cámara ha de ser adecuada y acorde a las características de la misma. Entonces, al elegirse una cámara estándar de resolución estándar, la óptica a seleccionar debe ser también una óptica estándar sin ser de calidad alta, ya que tan sólo es necesario distinguir una ventana saturada de un fondo oscuro. Este tipo de ópticas, estándar, están diseñadas para aplicaciones industriales. Estas ópticas de foco fijo son las más adecuadas debido a que la distancia de la ventana sin serigrafía a la cámara prácticamente es la misma y que el tamaño de la ventana sin serigrafía permanece más o menos constante.

El resto de tipos de ópticas han quedando descartados por lo mencionado anteriormente, en general por ser de más calidad sin ser esto requerido por el sistema y por tener un coste mayor, y en particular por los motivos siguientes:

- Como la distancia entre la ventana sin serigrafía y la cámara permanecen más o menos constante, no se requieren ópticas zoom estándar, y aún menos las ópticas de zoom de precisión, así como tampoco ópticas motorizadas
- Las ópticas para cámaras de alta resolución son descartadas debido a que la cámara seleccionada no es de este tipo, además, el tipo de iluminación utilizada ya ofrece una silueta de la ventana muy bien definida
- Las ópticas para microcámaras no son necesarias ya que la cámara seleccionada anteriormente no es de este tipo
- Como el sistema de visión no necesita una luminosidad muy alta se descartan las ópticas de alta luminosidad
- Las ópticas telecéntricas son descartadas ya que la ventana de serigrafía no tiene proyección en perspectiva, sino que es plana. Este tipo de ópticas es más aconsejable para objetos con tres dimensiones y cuando se pretende obtener la proyección de la vista en planta del objeto sin perspectiva, es decir, paralela.
- La luz solar incidente en la ventana no resulta significativa en comparación con la emitida por la iluminación con técnica de contraste debido a su proximidad con la ventana, por tanto, no afecta a la fiabilidad del sistema de visión y es por ello que no es necesario el uso de filtros en combinación con iluminaciones con una longitud de onda determinada y diferentes a de la luz solar

La óptica estándar adecuada para la aplicación debería tener una distancia focal de 48 mm. No obstante, esta óptica no existe y se debe escoger entre las distancias focales estándares más cercanas a la deseada, que son de 35 o 50 mm.

Esto repercute en que la distancia de la óptica al objeto no va a poder ser exactamente de 475 mm, sino que va a tener que adaptarse para obtener la magnificación óptima. Si se mantuviera, el campo de visión se ampliaría en el caso

de la óptica con distancia focal de 35 mm y en el caso de 50 mm se reduciría. La tabla siguiente recoge la distancia real de la cámara al objeto para las distancias focales anteriores:

ÓPTICAS			
Distancia focal deseada	48,8		mm
Distancia focal estándar	35	50	mm
Distancia al objeto deseada	450...700		mm
Distancia al objeto real	340,8	486,9	mm

Tabla 2.8 Distancias focales y al objeto de las ópticas

Como se puede observar en la Tabla 2.8, tan sólo la óptica con distancia focal de 50 mm tiene una distancia al objeto dentro de las especificaciones. Según la tabla anterior la distancia de la cámara al objeto debe ser de 487 mm con una óptica con una distancia focal de 50 mm. Por tanto, las ópticas seleccionadas deben tener una distancia focal de 50 mm y una magnificación de 0,1. Sin embargo, también es posible combinar una óptica de 25 mm con un multiplicador 2x2. No obstante, esta solución es más aconsejable para valores de distancia focal más altos y por este motivo se descarta de antemano esta opción.

Otro requisito a tener muy en cuenta en la selección de la óptica es el formato para el que ha sido diseñada y el formato del sensor de la cámara. El formato de la óptica para la que ha sido construida debe ser siempre igual o superior al formato del sensor de la cámara. Esta regla evita el “vigneting”, comentado en el capítulo **2.2.4.1.5 Uniformidad relativa de iluminación**. Como el formato del sensor de la cámara elegida anteriormente es de 1/2”, el formato de la óptica ha de ser como mínimo igual o mayor que 1/2”.

Por tanto y a modo de resumen, la óptica necesaria para el sistema de visión de la automatización del proceso de ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en automóviles debe cumplir con las siguientes características:

- óptica estándar
- distancia focal de 50 mm
- formato igual o superior a 1/2”
- capaz de permitir una distancia al objeto de 487 mm
- con regulación manual de iris y de enfoque
- con el menor precio posible, siempre y cuando se cumplan los requisitos anteriores

A continuación, se ha realizado un estudio de todas aquellas ópticas existentes en el mercado que corresponden al tipo de óptica mencionada y que cumplen con las características anteriores.

Como resultado de este estudio se ha confeccionado la Tabla 2.9, la cual contiene todos los datos técnicos de las ópticas seleccionadas.

A continuación, se realiza un análisis de todas ellas en busca de la óptica adecuada. Tal y como se puede observar en la Tabla 2.9, ninguna de las ópticas permite enfocar a la distancia especificada de la cámara al objeto, ya que ésta es menor que la mínima distancia de enfoque (DME). No obstante, ello es posible mediante el uso de anillos de extensión. No existe ninguna expresión que permita calcular el ancho de los anillos de extensión necesarios para disminuir el DME hasta alcanzar la distancia de la cámara al objeto requerida, por tanto, esto se debe realizar empíricamente.

ÓPTICAS					
Fabricante	SESCO	PENTAX	KOWA	FUJINON	COMPUTAR
Modelo	MFA5028	C2511	LM50NCL	HF50HA-1	V5013
Tipo	Estándar	Estándar	Estándar	Estándar	Estándar
Distancia focal (mm)	50	50	50	50	50
Formato (")	2/3	1	2/3	2/3	1
Apertura iris(mm)	F2.8-22	F1.4-	F2.8-	F2.3-22	F1.3-16
DME » máx. (m)	0,5 ~ ∞	1 ~ ∞	0,5 ~ ∞	0,5 ~ ∞	1 ~ ∞
Tamaño del objeto a DME y formato (mm)	68,1x51,1	-	-	77x58	25,6x19,2
Ángulo Visión (HxVxP) (°)	9,9x7,4 x12,4	14x10.5x-	10,1x7,5x-	10x7,5x-	14,6x11,0 x18,2
Montura	C	C	C	C	C
Rosca filtro (mm)	M25,5x0,5	M46x0,75	M30,5x0,5	M25x0,5	M46
Dimensiones(mm)	Ø29x38,5	Ø48x48	Ø31x36	Ø26,5x29	Ø48x51,5
Peso (g)	55	180	73	60	201
Temperatura (°C)	-10 ~ +50	-20 ~ +50	-5 ~ +50	-20 ~ +50	-10 ~ +50
Precio (con IVA)	128,00 €	150,00 €	110,00 €	125,00 €	137,00 €

Tabla 2.9 Características de las ópticas seleccionadas

Como la montura de la óptica es rosca C y la cámara tiene la misma rosca no es necesario ningún adaptador de rosca C a CS.

Todas las ópticas con formato de 1" son descartadas por tener un precio más elevado que las de formato menor, por no obtener el tamaño del objeto deseado debido al DME y porque no se puede reducir el DME de 1 m a 0,5 m mediante anillos extensores.

El resto de ópticas tiene un formato de 2/3", suficiente para evitar el "vigneting". Y permiten obtener un tamaño del objeto igual al área de visión. No obstante, tienen una apertura mínima de iris diferente. Interesa un valor de apertura mínima lo más pequeño posible, lo que significa que tiene una capacidad mayor de absorción de luz y mayor profundidad de campo. Por tanto, la óptica más adecuada para el sistema de visión de la automatización es el modelo HF50HA-1 de FUJINON.



Figura 2.85 Óptica FUJINON HF50HA-1

2.2.5 “FRAME GRABBERS” O PLACAS DE CAPTURA DE IMAGEN

En las aplicaciones de visión industrial es necesario tomar las imágenes con la mejor calidad posible y enviarlas a la memoria del ordenador con el fin de procesarlas, analizarlas y/o visualizarlas.

Las cámaras que se utilizan en entornos industriales presentan una serie de requisitos que en la mayoría de ocasiones no son estándar. Las especificaciones y precios de las placas de captura de imagen (“frame grabbers”) varían enormemente y, por tanto, se deben tener en cuenta los requisitos técnicos de cada frame grabber para su elección.

Los “frame grabbers” han sido utilizados desde hace mucho tiempo para poder capturar las imágenes a alta velocidad. El desarrollo de este tipo de placas de captura ha ido paralelo al rápido avance de la potencia de los ordenadores. En el pasado, la limitada capacidad de proceso de los ordenadores limitaba la velocidad y la mayoría de “frame grabbers” incorporaba procesadores a bordo. En la actualidad los “frame grabbers” con procesadores a bordo son menos frecuentes y se utilizan en procesos donde se requiere una gran velocidad o una gran potencia de proceso, que los ordenadores convencionales actuales aún no son capaces de proporcionar.

Con la llegada del bus PCI y más tarde del bus PCI de 64 bits se consiguió aumentar la velocidad de transferencia y, por tanto, realizar la visualización de la imagen en tiempo real sin necesidad de hardware gráfico adicional. Estos buses PCI permiten, por tanto, transportar la imagen hasta el procesador en tiempos muy cortos, lo que permite mediante los modernos procesadores que se ha haga gran parte de los procesados en tiempo real.

En la actualidad aparte del bus PCI se utilizan “frame grabbers” sobre otros tipos de arquitecturas como son PC104+, Compact PCI o AGP. Los “frame grabbers” en formato AGP son especialmente útiles cuando se desea utilizar gráficos en la misma placa. Los formatos PC104+ y Compact PCI se utilizan en entornos industriales donde el reducido tamaño de los ordenadores sea fundamental.

Los “frame grabbers” “inteligentes” con FPGA a bordo se utilizan en aplicaciones donde la velocidad o la potencia de proceso no pueden ser resueltas por los ordenadores convencionales. Ofrecen una gran potencia de proceso y análisis, liberando al ordenador para que pueda realizar otras tareas de control.

Los requisitos de los “frame grabbers” que se utilizan en entornos industriales son muy diferentes de los que se utilizan en entornos multimedia. Además, deben incorporar características especiales tales como: adquisición por “trigger”, “frame reset”, control de “strobe”, inclusión de entradas/salidas digitales, etc.

La constante evolución de las cámaras ha permitido que parte de la tecnología utilizada en los “frame grabbers” ahora se encuentre en las cámaras, especialmente si se utilizan conexiones digitales estándar como IEEE-1394, USB2 o Giga Ethernet.

Los “frame grabbers” se pueden clasificar en tres categorías distintas:

- frame grabbers estándar de bajo coste
- frame grabbers avanzados
- frame grabbers con procesadores

2.2.5.1 “Frame grabbers” estándar de bajo coste

Hay un gran número de interfaces de muy bajo coste para aplicaciones multimedia, pero que no pueden ser utilizados en aplicaciones para visión artificial en entornos industriales, debido principalmente a la escasa calidad de digitalización de la imagen y a su poco o inexistente software de desarrollo.

Los “frame grabbers” estándar para visión artificial permiten obtener imágenes con un nivel de calidad suficiente y un software de desarrollo mínimo para poder programar cualquier tipo de aplicación.

Los “frame grabbers” estándar incorporan componentes analógicos entre los que se incluyen conversores analógico digitales, decodificadores y multiplexores. Normalmente pueden conectarse sólo a cámaras analógicas estándar monocromo (CCIR, RS-170) o color (PAL, NTSC). Este tipo de “frame grabbers” no puede ser conectado a cámaras progresivas, de alta resolución o a cámaras digitales.

Normalmente, no incluyen memoria en la propia placa, debido a que acostumbra a incrementar el coste. Sin embargo, mediante el bus PCI pueden transferir al procesador del ordenador las imágenes línea a línea a gran velocidad. Este tipo de transferencia puede ser conflictiva, si es necesario hacer procesado en tiempo real en el ordenador, ya que no acostumbra a ser posible transferir las imágenes y procesar al mismo tiempo con este tipo de “frame grabbers”. En la mayoría de las aplicaciones de visión industrial es necesario realizar procesado en tiempo real y, por tanto, se aconseja que las placas lleven memoria incorporada. Algunas de estas placas estándar incorporan memoria abordo y son las que, normalmente, se aconsejan para garantizar la transferencia íntegra de las imágenes en los tiempos correctos.

La mayoría de “frame grabbers” de este tipo, incluyen un multiplexor para facilitar la conexión de múltiples cámaras, hasta un máximo de 9 en alguna, conectándose una a una al conversor analógico digital de la placa. Normalmente, estos “frame grabbers” pueden conectarse a señales de video compuesto o súper VHS (Y/C) y algunos modelos incorporan puertos de entrada/salida.

Con estos “frame grabbers” es posible sincronizar la captura de la cámara con la señal externa de “trigger”. Aunque no acostumbra a ser posible trabajar con reset asíncrono. Por tanto, la captura se realizará con un retraso aleatorio debido a la relación entre el momento en que se emite la señal y el tiempo de sincronismo vertical de la cámara.

En cuanto a las librerías de software, algunas de estas placas vienen acompañadas de un kit de desarrollo de software (SDK) con distintas características según el fabricante y la placa. Otros tipos de software desarrollados por otras compañías tienen “drivers” para estas placas.

Como conclusión, los frame grabbers estándares han sido diseñados para conectarse a cámaras analógicas que envían video en continua tanto en formato PAL/CCIR como NTSC/RS-170 y proporcionan una solución de bajo coste en aplicaciones donde sea posible utilizar cámaras estándar.

2.2.5.2 “Frame grabbers” avanzados

Los “frame grabbers” avanzados o de altas prestaciones se utilizan con cámaras con salida de video no estándar. Esta combinación es la utilizada generalmente en la mayoría de aplicaciones de visión artificial.

Los requisitos mínimos que debe cumplir un “frame grabber” de prestaciones avanzadas son: un circuito de conversión analógico digital de excelentes prestaciones, así como la posibilidad de aceptar señales de sincronismo de la cámara, o poderle proveer de estas señales. Además de un PLL programable avanzado que se utiliza para ajustar las señales de video, sean estándares o no. La mayoría de “frame grabbers” avanzados incorporan entrada de “píxel clock”, que se utiliza para ajustar la digitalización de los píxeles.

La mayoría de aplicaciones de visión artificial deben capturar las imágenes en un momento determinado, que normalmente viene determinado por la señal externa de “trigger”, y a su vez el “frame grabber” debe poder enviar la señal “strobe” para el control de otros componentes industriales. Este tipo de “frame grabbers”, además, deben ser capaces de funcionar con cámaras que incorporan la posibilidad de reset asíncrono, donde el sincronismo es interrumpido por la señal externa de “trigger”. Además, deben controlar las condiciones de la señal de entrada (ganancia y contraste) para poder compensar sus posibles variaciones dependiendo del tipo de cámara. Normalmente, también incorporan circuitos de “Look Up Tables” (LUT) de entrada y salida que permiten hacer procesos por hardware.

Existen dos tipos de frame grabbers avanzados, los analógicos y los digitales.

2.2.5.2.1 “Frame grabbers” avanzados analógicos

Son “frame grabbers” diseñados específicamente para cumplir con todos los requisitos necesarios en aplicaciones de visión artificial en las que se deban conectar cámaras analógicas. Estos “frame grabbers” pueden disponer de:

- un canal monocromo (con multiplexor para varias cámaras)
- tres canales simultáneos monocromo o color RGB
- múltiples canales asíncronos monocromo

Los “frame grabbers” analógicos utilizan componentes de muy alta calidad y prestaciones con el fin de capturar las imágenes con la mejor calidad tanto si procede de fuentes de video estándar o no estándar. Las principales características de este tipo de placas son:

- capacidad de capturar imágenes procedentes de cámaras con alta frecuencia de muestreo y con un bajo píxel “jitter”
- incorporan memoria en la propia placa para poder realizar, con garantía, la transferencia DMA de imágenes al ordenador a la mayor velocidad y con la mínima sobrecarga.
- posibilidad de trabajar con formatos de imagen progresivos, de alta velocidad y de alta definición
- incluyen generadores de sincronismo (vertical, horizontal y de píxel), circuitos que permiten capturar señales externas y enviar señales de control, con posibilidad de trabajar en reset asíncrono. También incorporan I/O digitales
- están acompañadas de un software de desarrollo avanzado que permite realizar el control de todas las posibilidades de hardware que ofrece el “frame grabber”

2.2.5.2.2 “Frame grabbers” avanzados digitales

Están diseñados específicamente para cumplir con todos los requisitos necesario en aplicaciones de visión artificial en las que se deban conectar cámaras digitales, tanto lineales como matriciales. Los “frame grabbers” digitales incorporan entradas para una o más cámaras digitales (color o monocromo) en formato RS-422, LVDS o Camera Link. Normalmente presentan la mayoría de las siguientes características:

- entrada de 8 a 64 bits en formato RS-422 o LVDS (EIA-644)
- controles de tiempo y sincronización muy precisos
- soporte para cámaras con múltiples salidas de datos (“taps”)
- control de cámara por el canal digital o a través de RS-232
- arquitectura “Scatter Gather” para transferencia y manejo de las imágenes
- soporte de entrada en formato Camera Link
- sincronización de múltiples cámaras

2.2.5.3 “Frame grabbers” con procesadores

Son los “frame grabbers” más sofisticados. Incorporan procesadores a bordo y por este motivo se denominan también “frame grabbers” inteligentes. Este tipo de “frame grabbers” son interconectables, con lo que se puede aprovechar la potencia de los procesadores de distintos “frame grabbers” para resolver una aplicación compleja. Los procesadores empleados en este tipo de frame grabbers se pueden dividir en:

- procesadores de captura
- circuitos de preprocesado
- procesadores expandibles

Los procesadores de captura se utilizan para eliminar totalmente la interacción con el ordenador cuando es necesaria la adquisición en aplicaciones donde el tiempo es crítico. De esta forma, el ordenador sólo debe tener el control de la transferencia de las imágenes, pero no de la adquisición. Los circuitos de preprocesado permiten realizar funciones de preprocesado por hardware antes de transferirlo al ordenador o al procesador de la propia placa. Eliminan la necesidad de realizar este preprocesado por software y permite tener más tiempo para el análisis de la imagen. Algunas funciones de preprocesado son:

- corrección de iluminación píxel a píxel (flat field correction)
- procesos aritméticos y boléanos con imágenes (suma, resta, AND, OR...)
- filtros y convoluciones
- reducción de datos (“run length encoding”)

Históricamente se han utilizado tecnologías DSP, permitiendo velocidades de captura, transferencia y procesado superiores a los PC y a su bus PCI. La desventaja de esta tecnología es que no se pueden utilizar aplicaciones desarrolladas para un ordenador convencional y que cada vez que se cambia la tecnología del DSP se debe volver a escribir todo el código de la aplicación. Actualmente, los procesadores expandibles están basados en tecnología Pentium, lo que permite utilizar cualquier código escrito en entornos convencionales. Los procesadores expandibles son ideales cuando la velocidad de captura es superior a los 120 MB/s (Ancho de banda del bus PCI) o cuando el proceso no puede ser absorbido por un ordenador con uno o dos procesadores. El amplio ancho de banda del bus de los “frame grabbers” con procesadores y la posibilidad de trabajar en paralelo con hasta 32 procesadores al mismo tiempo permiten acometer cualquier tipo de aplicación por compleja o por rápida que sea.

2.2.5.4 Elección del “frame grabber”

Después de la elección de la cámara y la óptica, el siguiente paso es elegir la placa de captura de imagen más adecuada para la cámara del sistema de visión artificial de la automatización. Las especificaciones y precios de las placas de captura de imagen varían enormemente, y por tanto se deben tener en cuenta los requisitos técnicos de cada “frame grabber” para su elección. La mejor placa de captura de imagen a utilizar en cualquier sistema de visión depende de los siguientes factores:

- ¿Compatibilidad con la cámara escogida?
- ¿Cuántas cámaras se van a utilizar?
- En cuanto a las prestaciones del sistema ¿Qué calidad se quiere alcanzar? ¿Cuántas imágenes por segundo se deben procesar? ¿Que requisitos de velocidad son necesarios?
- ¿El hardware tiene un precio competitivo?
- ¿El ordenador debe ser convencional o bien se debe utilizar un ordenador industrial con bus PCI, PC104+ o compact PCI?

Dependiendo de la respuesta a estas preguntas se debe utilizar un tipo u otro de frame grabber. Por tanto, para el sistema de visión artificial de la automatización de ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en parabrisas se observa que:

- ✓ La placa de captura de imagen debe ser totalmente compatible con la cámara JAI CV-A50 escogida anteriormente en cuanto a formato y salida de video. Esta cámara es analógica y tiene una salida de video estándar monocromo. Por tanto, los “frame grabbers” avanzados digitales son descartados. En cambio, por el momento tanto los “frame grabbers” estándar de bajo coste, los avanzados analógicos y los “frame grabbers” con procesadores son compatibles con la cámara escogida
- ✓ Como tan sólo se requiere una cámara no es preciso un “frame grabber” capaz de trabajar con la entrada de varias cámaras, ya sea, multiplexadas o simultáneamente. No obstante, cualquiera de las placas de captura de imagen compatibles anteriores permiten la entrada de varias cámaras, aunque en el caso de las de bajo coste sean multiplexadas y cámaras del mismo tipo
- ✓ Se pretende tener una imagen de calidad que trate de asegurar la precisión y la robustez del sistema de visión para no comprometer los resultados. Por tanto, los “frame grabbers” de bajo coste son descartados. Si bien son los más adecuados en cuanto a precio para la cámara elegida, al ser analógica de formato estándar, suelen utilizarse más bien en aplicaciones de multimedia por su escasa calidad de digitalización de la imagen. Además, no suelen trabajar con reset asíncrono. Es por estos motivos que no son idóneos para el sistema de visión de la automatización

El número de imágenes por segundo a procesar no representa un factor crítico, ya que tan sólo es necesario capturar y procesar una imagen por ciclo de ensamblaje.

Como no existen grandes exigencias de procesado, éste no va a superar las posibilidades del ordenador que se escoja por poco potente que sea, por lo que se descarta la utilización de “frame grabbers” con procesador abordo.

- ✓ Seleccionar el hardware más conveniente para la aplicación será la mejor manera de ajustar su precio. Como se ha comentado anteriormente, las placas de bajo coste para conectar una cámara estándar y sin memoria es la opción más barata, pero es insuficiente para el sistema de visión debido a su baja

calidad de digitalización de la imagen. Por el contrario, los “frame grabbers” con procesadores ofrecen mucha más prestaciones de las requeridas como son un procesador incorporado. Por último, tan sólo queda la opción de los “frame grabbers” avanzados analógicos. Estos utilizan componentes de muy alta calidad y prestaciones con el fin de capturar las imágenes con la mejor calidad de digitalización tanto si procede de fuentes de video estándar o no estándar, a un precio muy ajustado, es decir, su relación calidad/precio es muy buena

- ✓ Como no se requiere utilizar gráficos en la misma placa y por su precio más elevado que el resto de formatos, el formato AGP es descartado. Los formatos PC104+ y Compact PCI también son descartados por tener un mayor precio debido a su tamaño reducido. Como en la automatización no es fundamental que el ordenador tenga un tamaño reducido no tiene sentido la utilización de placas con estos formatos. Por tanto el ordenador puede ser convencional ya que el bus utilizado es el PCI.

Por tanto y a modo de resumen, el “frame grabber” necesario para el sistema de visión de la automatización debe cumplir con las siguientes características:

- del tipo avanzado analógico para formato de señal de entrada de video estándar CCIR monocromo
- con formato de bus PCI
- con señales de “trigger”, “strobe” y reset asíncrono
- con el menor precio posible, siempre y cuando se cumplan los requisitos anteriores

A continuación, se ha realizado un estudio de todos aquellos “frame grabbers” existentes en el mercado que corresponden al tipo de “frame grabber” mencionado y que cumplen con las características anteriores. Como resultado de este estudio se ha confeccionado la Tabla 2.10, la cual contiene todos los datos técnicos de las “frame grabbers” seleccionados.

Como se puede observar en la Tabla 2.10, los dos modelos tienen básicamente las mismas características y son perfectamente compatibles con la cámara JAI CV-A50. El modelo de CORECO permite obtener una resolución mayor, dispone de menor capacidad de memoria de imagen pero ofrece una velocidad de transferencia al bus PCI mucho mayor que el “frame grabber” de IMAGENATION. Como ninguno de estos parámetros es crítico no se puede establecer una elección. No obstante, el precio del “frame grabber” PC Vision es ligeramente más económico y por este motivo resulta ser la placa de captura de imagen elegida. CORECO IMAGING es una de las compañías más importantes en la industria de la visión industrial y garantiza el suministro de sus modelos de frame grabbers en más de 8 años.



Figura 2.86 “Frame grabber” PC Vision de CORECO IMAGING



“FRAME GRABBERS”		
Fabricante	CORECO IMAGING	IMAGENATION
Modelo	PC Vision	PXR 800
Entrada video	Estándar (RS-170 o CCIR), VGA, no estándar	Estándar (RS-170 o CCIR)
Nº cámaras	4 cámaras monocromo estándar, progresivas, de alta velocidad y definición (4:1 mux)	2 cámaras monocromo estándar o progresivas
Barrido	Entrelazado y progresivo	-
Rango de muestreo máximo (img/s)	20	CCIR
Nº bits por píxel	8	8
ADC (bits)	8	8
Ajuste	rango de 6bits y offset	rango de 6bits y offset
Simultanea	1 fuente de video monocromo	1 fuente de video monocromo
Resolución máxima (píxeles)	2kx1k	CCIR
Memoria de imagen (Mb)	2	8
LUT	una de 256 por 8 bits	-
Trigger, strobe y reset asíncrono	Si	Si
Píxel clock	Si	Si
Entradas/Salidas	8 TTL / 8 TTL	4 TTL / 4 TTL
Formato placa	PCI	PCI, PC104+ o Compact PCI
Velocidad de transferencia al bus (MB/s)	100	12
Tensión alimentación (Vdc)	5 / +12 / -12	-
Potencia (W)	5,5 / 2,6 / 0,7	-
Temperatura funcionamiento (°C)	10 ~ 50	5 ~ 45
Humedad relat. (%)	5 ~ 90	5 ~ 90
Precio (con IVA)	850,20 €	915,55 €

Tabla 2.10 Características de los “frame grabbers” seleccionados

Por lo que respecta al ordenador existen dos posibles elecciones, un ordenador convencional o un ordenador industrial, ambos disponen de “slots” de bus PCI.



PC		
Marca	DELL	SIEMENS
Modelo	Optiplex GX60	PC 670
Procesador (GHz)	Celeron 2,0	Celeron 1,2
Memoria Flash BIOS (MB)	4	-
Memoria RAM (MB)	2x128	256
Disco duro (GB)	40	20
Número de slots PCI	2	2
Puertos	USB 2.0, RS-232, LPT1, PS/2 teclado, PS/2 ratón, Ethernet R-J45, salida VGA, audio	USB 2.0 ,RS-232, LPT1, PS/2 teclado, PS/2 ratón, Ethernet RJ-45, PCMCIA, Profibus-DP, MPI
Sistema operativo	Windows 2000 Multilingüe	Windows 2000 Multilingüe
Unidad CDROM	48X	32X
Monitor (“)	15 (VGA)	10,4 (VGA)
Resolución (píxeles)	800x600	640x480
Tensión alimentación (Vac)	230	110 / 230
Potencia (W)	-	-
Temperatura trabajo (°C)	-	5 ~ 45
Humedad relativa (%)	-	5 ~ 85
Configuración de montaje	sobremesa	panelable
Dimensiones AlxAnxP(mm)	-	296 x 310 x 100
Grado protección	-	IP65
Peso (kg)	-	-
Garantía	3 años	2 años
Precio (con IVA)	810,84 €	2.722,93 €

Tabla 2.11 Características de los PCs seleccionados

Como se puede observar en la Tabla 2.11, los dos modelos ofrecen prácticamente las mismas prestaciones. Ambos disponen de bus PCI. El principal inconveniente del ordenador industrial es su elevadísimo precio comparado con el ordenador convencional. Este último no está pensado para ambientes industriales, pero su uso es posible si se protege con un armario eléctrico para ordenadores. Este armario eléctrico es necesario para la instalación, alimentación y conexionado eléctrico de todos los componentes que integran la automatización. El hecho de que el armario eléctrico permita la instalación de un PC no repercute en un mucho precio mayor. Por lo mencionado anteriormente se ha elegido el ordenador personal convencional.

2.2.6 SISTEMAS DE VISIÓN INTELIGENTES

La continua miniaturización de los componentes electrónicos ha permitido encapsular los sistemas de visión en espacios muy reducidos. Estos reciben el nombre de sistemas de visión inteligentes debido a que son autónomos, compactos e integrales. Incorporan el hardware y el software de visión en un mismo sistema y por tanto, no necesitan un PC o procesador separado. Algunos de estos equipos integran, de maneja opcional, iluminación y una configuración de lentes fácilmente instalables en espacios muy reducidos. En la actualidad existen dos tipos.

2.2.6.1 Cámaras inteligentes

Son sistemas de visión integrados que tienen el aspecto de una cámara, pero que además de incorporar el sensor integran a su vez un procesador, memoria, y puertos de comunicación con el exterior (Ethernet, I/O, RS-232). Como el resto de los sistemas integrados incluyen un paquete de software muy evolucionado que permite desarrollar aplicaciones sin necesidad de conocimientos de programación.

Existen varias versiones de cámaras inteligentes dependiendo de las características del sensor y del procesador que integren. Estas cámaras pueden ser monocromas, color, de alta velocidad y de alta definición. Los sistemas de alta definición son los que incorporan los procesadores más rápidos.

La programación de estos sistemas se hace a través de un PC y una vez programado se carga el programa en la cámara. Posteriormente se desconecta el PC y la cámara puede funcionar de forma totalmente autónoma. Se puede incluir tantos programas como sean necesarios, con el fin de que si hay un cambio de aplicación en la línea de producción, se le pueda enviar una señal a la cámara, vía I/O, serie o Ethernet, y de esta forma se cambie el programa ajustándola a la nueva pieza a inspeccionar.

La opción de comunicación Ethernet en este tipo de sistemas permite visualizar y controlar todas las cámaras inteligentes que hay en una planta desde cualquier ordenador de la fábrica que esté conectado en red. Incluso es posible controlar estos sistemas de forma remota vía Internet.

2.2.6.2 Sistemas de visión multicámara

Los sistemas multicámara incorporan procesadores INTEL de última generación, memoria, elementos de digitalización de imagen y puertos de comunicación con el exterior (Ethernet, I/O, RS-232).

Este tipo de sistemas permiten controlar hasta 4 cámaras analógicas o digitales. Pueden conectar cámaras de alta definición, alta velocidad y cámaras lineales. Mediante estos sistemas es posible alcanzar grandes velocidades de procesado.

Al igual que con las cámaras inteligentes, se dispone de un software de desarrollo que permite realizar procesos y análisis sin necesidad de conocimientos de programación. Al estar basados en entornos WINTEL cualquier aplicación desarrollada por el usuario en un ordenador convencional puede programarse con este tipo de sistemas. Con las ventajas inherentes que cada replica de un sistema de este tipo tiene el mismo comportamiento y no existen los típicos problemas de la informática convencional de la variabilidad de los componentes.

En este caso el sistema puede ser programado directamente en el propio procesador del ordenador o mediante un ordenador externo vía Ethernet. La visualización y control de los procesados se puede también realizar tanto de forma local como remota.

2.2.6.3 Elección sistema de visión inteligente

Para la elección de un sistema de visión inteligente se aplican los mismos criterios ya establecidos tanto para las cámaras como para los “frame grabbers”.

A continuación, se ha realizado un estudio de todos aquellos sistemas de visión inteligentes existentes en el mercado que cumplen con las características y especificaciones anteriores que tienen en común con las cámaras y los “frame grabbers” mencionados.

Como resultado de este estudio se ha confeccionado la Tabla 2.12, la cual contiene todos los datos técnicos de los sistemas de visión inteligentes seleccionados:

SISTEMAS DE VISIÓN INTELIGENTES				
Fabricante	DVT			CORECO
Modelo	510	530	544	Netsight II
Tipo de sensor	CMOS	CCD		-
Color / Monocromo	Monocromo			
Sensor (mm) / Formato (“)	5,0x3,7 / 1/3	4,8x3,6 / 1/3	6,4x4,8 / 1/2	-
Resolución	640x480		640x480 / 1280x1024	
Velocidad (img/s)	75		8	
Montura	CS			C
Procesador	Motorota Power PC		Hitachi HS4	-
Memoria (MB)	16 RAM / 4 Flash		64 RAM / 16 Flash	2000 RAM / 256 Flash
Alimentación (Vdc)	24			
Potencia (W)	5	7,2		60
Entradas / Salidas digitales	24Vdc, 8 E/S configurables			30Vdc, 8 E/S configurables
Comunicación	E/S digitales, DataLink, Ethernet			E/S digitales, USB, Firewire
Señal video	-			SVGA
Iluminación integrada	Si			No
Software*	FrameWork			Sherlock
Dimensiones (mm)	112x60x34			76x200x215
Peso (kg)	0,17			2,5
Temperatura fun. (°C)	0 ~ 45			
Humedad relativa (%)	5 ~ 85			5 ~ 90
Precio (con IVA)**	3.277,00 €	4.089,157€	11.966,85 €	6.148,00 €

(*) Los softwares correspondientes se detallan en el apartado 2.2.8

(**) En todos ellos el software correspondiente está incluido en el precio

Tabla 2.12 Características de los sistemas de visión inteligentes seleccionados

El Netsight II es un sistema de visión artificial compacto y multicámara para aplicaciones complejas de inspección y control, de muy fácil manejo. Como se deriva de la Tabla 2.12, resulta ser un sistema poco competitivo en cuanto a precio para aplicaciones que requieran una resolución baja de 640x480 píxeles. En cambio su precio es inmejorable para aplicaciones que requieran resoluciones altas de

1280x1024 píxeles. Su alto precio también está justificado por soportar la entrada de 3 cámaras monocromo o 1 cámara color. El sistema de visión de la automatización no requiere una resolución tan alta y sólo precisa de una cámara monocromo. Por este motivo y por su alto precio el Netsight II es descartado. O sea, ofrece muchas prestaciones que no van a ser aprovechadas por el sistema de visión de la automatización, que además repercuten negativamente en un sobrecoste totalmente innecesaria.

En cambio, el DVT es un sistema que permite realizar un 100% de inspección al mínimo coste en sistemas de visión industrial, ya que su amplia gama de cámaras inteligentes con diferentes prestaciones permite adaptarse mejor a las necesidades del sistema minimizando la inversión. Como se puede observar el sistema DVT es muy competitivo con sus equipos de baja resolución mientras que los de alta como el DVT544 duplica el coste el sistema Netsight. Por otro lado, existen dos equipos con la misma a resolución de 640x480, válida para el sistema de visión de la automatización, cuya única diferencia es la tecnología del sensor. Ya es conocido que la tecnología CMOS “rolling shutter” es más barata que la CCD y ello se pone de manifiesto en el modelo DVT510 en comparación con el DVT530. De la tecnología CMOS destaca negativamente el factor de relleno, la sensibilidad y la relación señal/ruido que son peores que en el CCD. No obstante y al tratarse de un sistema de visión que toma imágenes de la ventana sin serigrafía del parabrisas sin movimiento (estática) y al disponer de tiempo para ello, no resultan críticas las desventajas del CMOS “rolling shutter” con respecto al CCD. Debido a ello se escoge el DVT510 como cámara inteligente del sistema de visión inteligente. Aunque el DVT incorpore una iluminación con técnica frontal, ésta no es ni suficiente ni la más adecuada para la aplicación de ensamblaje, por tanto, no se utilizaría.

Este sistema de visión inteligente estaría formado por la cámara inteligente DVT510 y un monitor en el que mostrar los resultados de la adquisición y el procesado de la imagen. Para ello es preciso la utilización del módulo SmartLink de DVT. Sus características técnicas se muestran en la Tabla 2.13.


MÓDULO VIDEO Y COMUNICACIÓN	
Marca	DVT
Modelo	SmartLink
Monitores soportados	640x480, 800x600, 1024x768
Puerto video	VGA (D-sub 15 pins)
Puerto comunicación	RS-232(RJ-12), Ethernet(RJ-45, 10/100Mb)
Tensión alimentación (Vdc)	24
Potencia (W)	5
Temperatura fun. (°C)	0 ~ 45
Configuración de montaje	Carril DIN 35mm
Dimensiones AlxAnxP(mm)	121 x 54 x 104,7
Peso (kg)	0,285
Precio (con IVA)	741,58 €

Tabla 2.13 Características del módulo de video y comunicación

Este módulo permite mediante comunicación Ethernet TC/IP mostrar las imágenes tomadas por cualquier DVT, simultáneamente hasta un máximo de 16 equipos conectados en red. Además, este módulo permite crear una interfaz totalmente a medida para mostrar las imágenes y resultados específicos gracias al software SmartLink. También dispone de un puerto RS-232 para la comunicación con otros equipos.

Como resumen, este sistema de visión industrial compacto puede cubrir una gran cantidad de tipos de inspección e incluye todo tipo de herramientas que permiten medir, contar, encontrar estructuras, comparar patrones... Entre los tipos de inspecciones más frecuentes donde se utiliza este sistema destaca:

- presencia / ausencia de piezas.
- presencia / ausencia de estructuras en una pieza.
- Enumeración y clasificación de partes.
- medidas de precisión.

Además, el DVT510 incorpora “drivers” de comunicación para robots y sistemas de control basados en PC, así como otros sistemas de comunicación para cualquier componente de automatización. Dispone de comunicación Ethernet incorporada, permitiendo acceder de forma remota al diagnóstico e inspección que realiza el DVT desde cualquier punto de la factoría o incluso desde una conexión remota a través de Internet.

Para la visualización de los resultados de la adquisición y el procesado de las imágenes se ha seleccionado un monitor que permita un montaje panelable en el armario eléctrico de la automatización. Se trata de un monitor TFT cuyas características se recogen en la Tabla 2.14.


MONITOR	
Marca	ICP Electronics
Modelo	DM-101-R2
Tamaño pantalla	12,1”
Tipo monitor	TFT (SVGA)
Resolución máxima (píxeles)	800x600
Luminancia (cd/cm²)	250
Colores	262k
Pantalla MTBF (h)	50.000
Frecuencia H/V (kHz/Hz)	25 ~ 65 / 56 ~ 75
Tensión alimentación (Vdc)	12
Potencia (W)	16
Temperatura trabajo (°C)	0 ~ 50
Configuración de montaje	Rack 19” o panelable
Dimensiones AlxAnxP(mm)	260 x 340 x 52,7
Grado protección	IP65
Peso (kg)	2
Precio (con IVA)	458,00 €

Tabla 2.14 Características del monitor seleccionado

2.2.7 SOFTWARE

2.2.7.1 Fundamentos teóricos

Las técnicas de procesado y análisis de imagen para entornos industriales son relativamente recientes. Sus inicios se produjeron hace unos 30 años y han evolucionado muy rápidamente ayudados a su vez por el rápido avance de los ordenadores y su potencia de cálculo.

En el pasado más reciente no era posible hacer los procesos en tiempo real debido a que los ordenadores no eran lo suficientemente rápidos para realizar los cálculos con las imágenes. Incluso hasta hace escasamente cinco años no era posible realizar la visualización de las imágenes debido al ancho de banda del bus ISA. Los procesos en tiempo real en ese momento se debían hacer en procesadores DSP a bordo de las placas, con el fin de poder alcanzar las velocidades requeridas, para la mayoría de aplicaciones.

Con la llegada del bus PCI y con la rápida evolución de los procesadores de los PC se ha conseguido visualizar las imágenes en tiempo real y realizar la mayoría de procesados en tiempos suficientemente cortos como para que puedan resolver aplicaciones de visión en entornos industriales con los resultados esperados en su justo tiempo. Esta evolución del hardware ha comportado el desarrollo de librerías de visión que puedan funcionar en entornos estándar tanto de sistemas operativos como de procesadores.

El sistema operativo más utilizado en la actualidad en las aplicaciones de visión es el Windows, en cualquiera de sus variantes. Sin embargo, existen muchas aplicaciones desarrolladas en UNIX, QNX y últimamente, se está utilizando con gran asiduidad el Linux, tanto en su versión estándar como en la RT ("Real Time").

Hasta hace pocos años la implementación de sistemas de visión requería un extenso conocimiento del software de bajo nivel y del hardware de visión. Actualmente, el panorama a cambiado radicalmente, ya que se encuentran disponibles numerosos entornos de programación escalables y fáciles de utilizar, que combinados con los nuevos procesadores hacen más fácil la implementación de un sistema de visión.

La base del software de un sistema de visión es la interpretación y análisis de los píxeles. El resultado final puede ser, desde la medida de una partícula, a la determinación o lectura de una serie de caracteres (OCR), pasando por cualquier otro proceso que se pueda imaginar sobre las imágenes.

Los pasos a seguir en un sistema de visión en entorno industrial son:

- captura de la imagen
- definición de la región de interés (ROI) donde se realizarán las medidas
- inicialización de las tolerancias para determinar si la pieza a determinar es o no correcta
- ejecutar las medidas
- generar una salida apropiada

En las aplicaciones industriales la velocidad a la que se realizan las medidas es fundamental, ya que se deben evaluar todas las piezas producidas en tiempo real.

2.2.7.2 Software de visión industrial

Básicamente hay cuatro niveles de software de visión artificial. Cada uno de estos niveles requiere diferentes grados de programación y conocimiento de los entornos de visión por parte del programador o usuario.

1. Sistemas de programación a bajo nivel basado en Kits de Desarrollo de Software (SDK), normalmente utilizan librerías en DLL o Active X. Requieren un amplio conocimiento de hardware y software de visión, y un conocimiento de programación en lenguajes estándar tales como Visual C o Visual Basic.

Se pueden diferenciar dos tipos de SDK dependiendo de su relación con el hardware de visión o con las librerías de programación de software específico de visión.

- 1.1. SDK de hardware: son librerías de programación normalmente en formato DLL para controlar las interfaces hardware ("frame grabbers") y la visualización. En ocasiones estas librerías se suministran con los "frame grabbers" de forma gratuita, pero normalmente se deben adquirir la primera vez que se adquiere una placa sin necesidad de adquirir "run times" posteriores.

El nivel de complejidad de un SDK depende directamente de las posibilidades que tiene cada placa de captura. Los SDK más simples proporcionan funciones genéricas mientras que los SDK más potentes permiten controlar, e interrogar los registros de la placa pudiendo de esta forma tener el completo control del sistema a nivel hardware.

Este tipo de software es utilizado en aplicaciones industriales por programadores expertos. Permite el control de las placas de captura y el procesado a bajo nivel. Estos SDK son específicos para cada fabricante y en algunas ocasiones para cada placa.

- 1.2. SDK de análisis de imagen. Las herramientas de análisis de imagen se proporcionan en librerías DLL y/o en formato de controles Active X (OCX). La utilización es similar y las librerías se pueden mezclar en una misma aplicación.

Generalmente los controles OCX se consideran más flexibles y con un ciclo de desarrollo más rápido. Pero los procesos pueden ser ligeramente más lentos que los desarrollados mediante DLL. En todo caso, la velocidad del proceso depende de las técnicas de análisis y de los algoritmos utilizados.

Estos SDK normalmente están diseñados para ser utilizados con lenguajes de programación visual, como: Visual C++, Visual Basic, Delphi... Incorporan herramientas de programación sofisticadas que permiten desarrollar las aplicaciones de visión de forma fácil y flexible.

2. Interfaces de Usuario Gráfica (GUI). Son entornos de programación gráficos de fácil utilización.
3. Sistemas de programación por menú. Son sistemas de fácil utilización que no requieren ningún tipo de experiencia en programación. El uso de este tipo de software en aplicaciones industriales es relativamente reciente.

Estas herramientas de software están dirigidas a usuarios que no quieran programar, pero que sepan utilizar los programas de entorno Windows. Posibilita de esta forma desarrollar aplicaciones sin tener ningún tipo de experiencia en programación.

Las funciones se configuran utilizando las herramientas que aparecen en el menú del programa y una vez seleccionadas estas herramientas, aparecen en pantalla para ser colocadas sobre el objeto a analizar. Este tipo de programación está orientado al desarrollo de aplicaciones de forma muy rápida.

El único inconveniente de este tipo de programación es que no es tan flexible como si se utiliza un sistema SDK. Estos entornos también acostumbran a incorporar la posibilidad de instalarle programación externa, por si es necesario utilizar alguna función que no esté ya disponible dentro del propio sistema.

4. Aplicaciones específicas. son programas específicamente diseñados para resolver aplicaciones concretas.

Este es el software resultante de haber aplicado cualquiera de los otros softwares descritos para una aplicación específica. Estas aplicaciones, normalmente, automatizan todo el proceso de inspección. El método utilizado para realizar la aplicación es totalmente transparente al usuario final y la interfaz con el usuario sólo tiene aquellos elementos necesarios para que la aplicación funcione.

2.2.7.3 SDK de análisis de imagen

A continuación, se muestran todas las herramientas SDK de análisis de imagen que se pueden encontrar, en la actualidad, en los softwares utilizados en sistemas de visión artificial industriales. Normalmente, los paquetes de software disponen de varios tipos de herramientas, aunque hay otras herramientas que sólo están disponibles en determinados paquetes SDK.

2.2.7.3.1 Herramientas de procesamiento de imagen

Entre las herramientas de procesamiento de imagen se cuentan las denominadas *operaciones de punto*. Estas herramientas permiten el tratamiento de los píxeles individualmente, como por ejemplo, leer el valor de un píxel, comparar los valores de dos píxeles, etc. Otras funciones que se encuentran en este tipo de herramientas son la *aritmética de imagen*, la cual utiliza las operaciones de punto en todo el bloque de la imagen y constituye un componente fundamental para el análisis de la imagen. Estas herramientas permiten realizar operaciones de suma, resta, multiplicación, operaciones lógicas, “and”, “or”... Otro tipo de herramienta útil que se encuentra en este bloque es el de las “Look up Tables” (LUT) que permiten transferir y cambiar los valores de los datos de la imagen a gran velocidad. Y de esta forma mejorar o resaltar sólo alguna de las partes de la imagen.

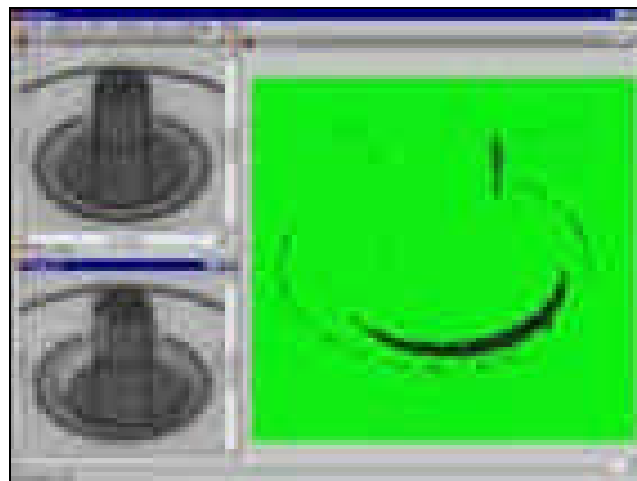


Figura 2.87 Ejemplo de herramienta de procesamiento de imagen

2.2.7.3.2 Herramientas de filtrado de imagen

Algunas de las funciones más utilizadas son los filtros (convoluciones) a alta velocidad. Estos algoritmos se utilizan para reducir ruido o para preparar la imagen para procesados posteriores. Uno de los filtros más típicos son los filtros de suavizado o desenfoque. Otros también utilizados son los de morfología matemática tales como: erosión, dilatación, apertura... Los filtros se realizan sobre toda la imagen pasando una máscara, de tamaño y forma variable, sobre ella. Otro filtro utilizado es la transformada de Fourier o FFT.

2.2.7.3.3 Herramientas de morfología matemática

Las funciones de morfología se utilizan para resaltar o eliminar elementos de la imagen. Este tipo de funciones morfológicas avanzadas se basan en el concepto de las funciones geodésicas que permiten realizar restauración matemática. Con este tipo de funciones es posible eliminar todas las estructuras que tengan un tamaño menor o mayor que un valor dado. Estas funciones pueden utilizarse tanto en



imágenes en escala de gris como en imágenes binarias. Las funciones de morfología matemática se utilizan muchas veces para separar objetos que están en contacto, con el fin de poder determinar su forma y tamaño individualizadamente. Algunas de las funciones que incorporan estas herramientas son: transformación Watershed, distancias euclidianas, "Top-Hat"...

Figura 2.88 Análisis de "blobs"

2.2.7.3.4 Herramientas de corrección geométrica y calibración

Las funciones de corrección geométrica de la imagen permiten suprimir los defectos de distorsión de la lente o los efectos de perspectiva, para que todos los nuevos cálculos se hagan sobre la imagen corregida. La posibilidad de incorporar puntos de referencia permite realizar la calibración de la imagen en coordenadas reales con el fin de que las medidas obtenidas sean en unidades conocidas. Mediante estas herramientas es posible deformar de la imagen, con el fin de aplicar sobre ella otras funciones que de otro modo no se podrían utilizar. Un ejemplo de este tipo de aplicaciones sería la utilización de herramientas OCR sobre una moneda (ver Figura 2.89). La posición de las letras se sitúa alrededor de la moneda, si se efectúa una corrección geométrica es posible disponer las letras alineadas en forma rectilínea, como se muestra en la imagen adjunta.



Figura 2.89 Análisis OCR sobre moneda tras aplicar corrección geométrica

2.2.7.3.5 Herramientas de medida de intensidad

Las herramientas de medida de intensidad de la imagen permiten conocer el valor del nivel de gris de cada píxel. A partir de aquí se pueden obtener resultados estadísticos del histograma de niveles de gris de la imagen. Estas herramientas se utilizan para ver si los objetos están completos, para inspecciones de superficie (uniformidad, grietas, texturas, etc), así como para cualquier otro tipo de inspecciones relacionadas con los cambio de intensidad en las piezas u objetos a evaluar. Estas herramientas se usan, con frecuencia, conjuntamente con las herramientas de determinación de límites y con las herramientas de medida morfológica de objetos.

Algunos de los datos que se obtienen para una región de interés con este tipo de herramientas son:

- número de intensidad de los píxeles (en %)
- media aritmética de intensidad
- valor de píxel más frecuente
- valor máximo de píxel
- valor mínimo de píxel
- varianza
- desviación estándar

2.2.7.3.6 Herramientas de identificación y medida de objetos

Este tipo de herramientas permite medir estructuras dentro de las imágenes con el fin de conocer una serie de parámetros morfométricos tales como: área, perímetro, posición X, Y, diámetro máximo, forma, circularidad...

Mediante este tipo de análisis se obtiene información estadística de los objetos. Normalmente, se procede a una binarización de la imagen para obtener los parámetros de las estructuras que aparecen separadas, independientemente de la forma o complejidad. Pudiendo incluso incorporar agujeros dentro de los objetos.

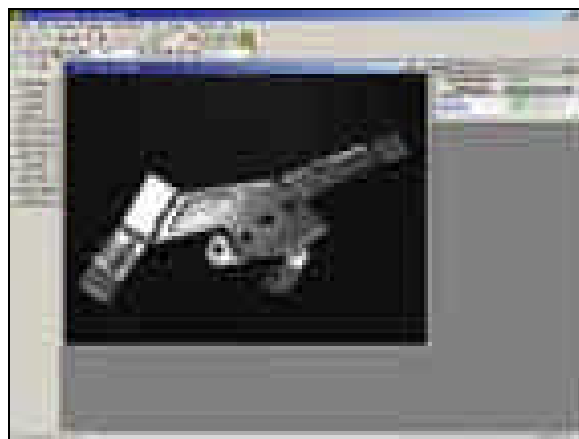


Figura 2.90 Ejemplo de análisis de identificación y medida de parámetros morfométricos

Entre las medidas que se pueden obtener con este tipo de análisis se encuentran:

- número de objetos
- número de agujeros
- centroide de los objetos
- diámetro

- perímetro
- número de píxeles de un objeto
- recuadro que enmarca el objeto
- puntos pertenecientes al perímetro convexo

Este tipo de herramientas permite clasificar o eliminar los objetos por:

- límite de tamaño
- límite de altura
- límite de anchura
- límite de número de agujeros en un objeto
- objetos que tocan el límite del área de interés

2.2.7.3.7 Herramientas de detección y medida de límites o bordes

Para la determinación de la posición de un límite o borde de un objeto se utilizan dos métodos distintos:

- método de segmentación o umbralización
- método basado en gradientes

Mediante estos dos métodos es posible buscar un límite simple, pares de límites o múltiples límites. Además, estos límites pueden definirse a nivel de subpíxel mediante técnicas de interpolación.

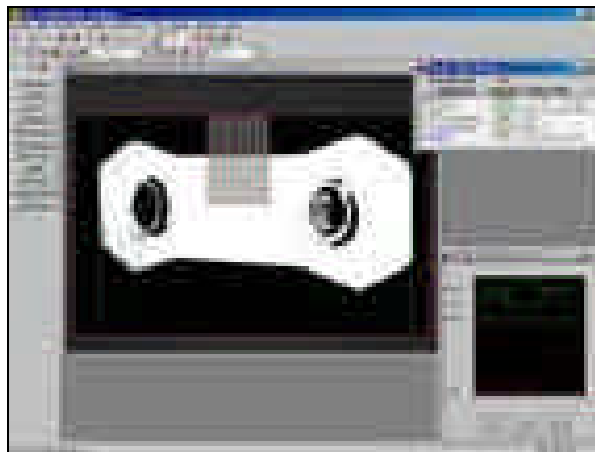


Figura 2.91 Detección de límite de borde de una pieza

La dirección de búsqueda se determina situando una herramienta en forma de ventana en la posición donde se puede encontrar el límite, tal y como se observa en la Figura 2.91. En piezas perfectamente iluminadas o contrastadas se utiliza la determinación de límites basadas en segmentación. En la mayoría de ocasiones debido a los cambios de iluminación o a la propia textura de la pieza, la técnica de segmentación no es útil y se debe aplicar la de gradientes. Este método utiliza la intensidad de los píxeles y la distancia entre distintas intensidades para obtener el máximo gradiente o relación cambio de tono/distancia de un límite. Este método es mucho más robusto que el anterior pero precisa de una mayor potencia de cálculo. La determinación de pares de límites se puede utilizar para medir la distancia entre ellos. Las herramientas de calibre son las que se encargan de medir las distancias entre pares de límites o bordes. Normalmente, estas herramientas incorporan siempre los parámetros de paso/fallo ("pass" / "fail") para determinar si las piezas son o no correctas. Los tiempos de determinación de los límites y de las medidas entre ellos normalmente están por debajo del milisegundo.

2.2.7.3.8 Herramientas de reconocimiento de patrones

Las herramientas de reconocimiento de patrones o "Pattern Matching" se utilizan para localizar objetos en una imagen que previamente han sido aprendidos por el sistema. Algunas de las características que se buscan en las herramientas de reconocimiento de patrones son:

- que puedan localizar el objeto a muy alta velocidad
- que la localización sea de altísima precisión, es decir, que sea capaz de dar las coordenadas donde se encuentra el objeto con precisión por debajo del píxel, o sea, a nivel de subpíxel superior a 1/10 de píxel
- que si el objeto está parcialmente ocluido pueda ser capaz de localizarlo igualmente

Las técnicas de reconocimiento de patrones utilizan primero una fase de aprendizaje o entrenamiento donde se le enseña al sistema el objeto u objetos que deberá tomar como patrón, la segunda fase es la de localización sobre cualquier imagen de los objetos o patrones aprendidos. Los sistemas de entrenamiento se han basado históricamente en técnicas de correlación, que tienen en cuenta todos los píxeles de una región de interés (ROI). Los métodos más avanzados basados en redes neuronales se concentran en las propiedades que describen el objeto, de esta forma tienen una velocidad de proceso más rápida y una mayor eficiencia en el reconocimiento incluso en patrones de muy baja calidad. El resultado del proceso de aprendizaje se denomina "clasificador" y en algoritmos avanzados, un clasificador puede haber sido creado a partir de múltiples modelos. De esta forma, se pueden identificar múltiples patrones simultáneamente.

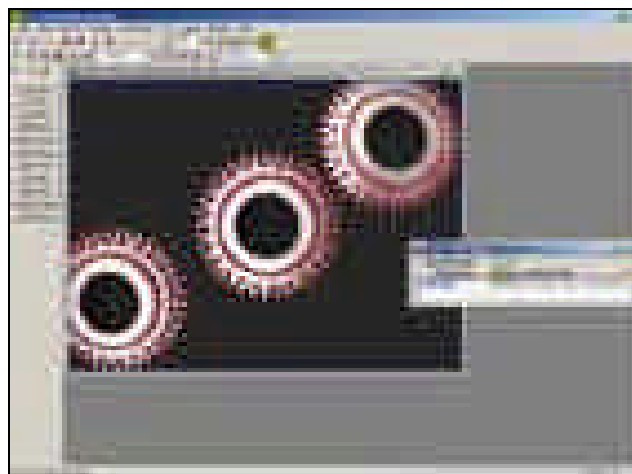


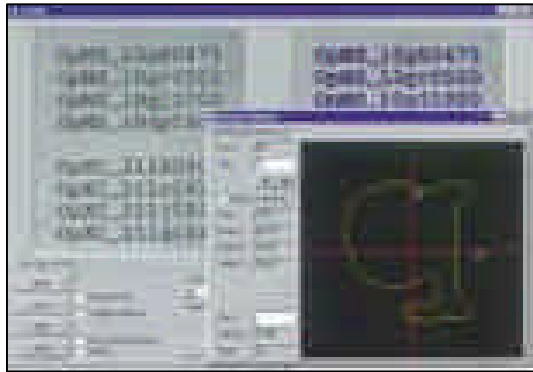
Figura 2.92 Ejemplo de análisis de reconocimiento de patrones

El tamaño y el ángulo de los objetos puede ser un problema añadido aunque algoritmos avanzados permiten hacer el proceso de aprendizaje en varios ángulos y tamaños. Una vez aprendidas todas las posibles posiciones y tamaños se puede guardar el clasificador.

Hay muchas técnicas de búsqueda y su aplicación depende de los requisitos de velocidad y precisión de cada aplicación. En estas herramientas es frecuente que se puedan seleccionar distintos parámetros de búsqueda, por ejemplo la dirección de barrido, que puede ser de arriba hacia abajo o de derecha a izquierda, seleccionar o no la posibilidad de que los objetos estén rotados, etc. Con estos tipos de ajustes, que dependen en gran medida del tipo de aplicación, se puede incrementar la velocidad y la precisión. En la Figura 2.92 se observa este tipo de herramienta.

2.2.7.3.9 Herramientas de análisis de contornos

Las herramientas de análisis de contornos utilizan métodos similares a las herramientas de identificación y medida, pero en lugar de identificar cualquier forma, se utilizan para identificar los contornos de los objetos o estructuras que aparecen en la imagen. Para ello, primero se genera un proceso de aprendizaje de los tipos de contornos que se desean identificar y posteriormente el sistema es capaz de reconocer este tipo de contornos. El contorno es el número de puntos consecutivos



en la línea que forma el borde de un objeto. De esta forma, este tipo de herramientas permiten reconocer cualquier tipo de objeto independientemente de si está girado o de su factor de ampliación. Es especialmente útil en aplicaciones donde el contraste entre el fondo y el objeto está muy diferenciado y en el que los objetos pueden aparecer en cualquier sentido y con diferencias de tamaño. La precisión que permite alcanzar este tipo de herramienta es de nivel de subpíxel.

Figura 2.93 Ejemplo de herramienta de análisis de contornos

2.2.7.3.10 Herramientas de lectura de códigos de barras

Las herramientas de lectura de códigos de barras (ver Figura 2.94) mediante visión artificial, contrariamente a lo que podría pensarse, se están utilizando cada vez con mayor frecuencia. Hay muchas aplicaciones en los que no se pueden utilizar los tradicionales lectores de códigos de barras por problemas con el tipo de superficie. Por ejemplo, cuando el código de barras se encuentra grabado sobre cualquier tipo de superficie, o cuando está situado en superficies metálicas muy reflectantes o incluso, cuando está colocado debajo de un envoltorio transparente, en todos estos casos los sistemas de visión son ideales. Esta herramienta tiene una precisión a nivel de subpíxel superior a 1/10 de píxel.

También se utilizan este tipo de herramientas cuando el sistema de visión debe resolver más de un problema en la misma aplicación, como puede ser, realizar una medida dimensional y leer el código de barras adjunto a la pieza. En este caso el sistema de visión hace la doble función y ahorra la colocación de un sistema de lectura de códigos de barras. Las herramientas de lectura de código de barras por visión pueden leer entre otros los siguientes códigos: EAN 13, EAN 8, UPC a, UPC E, Code 128, Code 39, 2/5 interlived, 2/5 discrete, Codabar, Pharmacode...

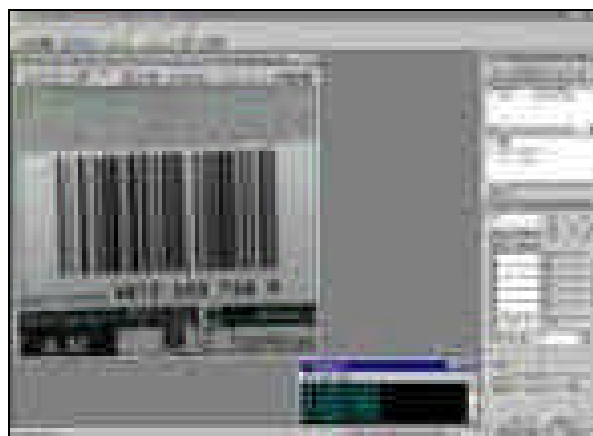


Figura 2.94 Ejemplo de análisis de lectura de código de barra

2.2.7.3.11 Herramientas OCR

Las herramientas OCR (reconocimiento óptico de caracteres) normalmente son una variación de las herramientas de reconocimiento de patrones, que han sido específicamente mejorados para el reconocimiento de caracteres.



Figura 2.95 Ejemplo de análisis de reconocimiento óptico de caracteres (OCR)

Las técnicas utilizadas pueden ser la de búsqueda de patrones o la de detección de contornos. Una de las características a tener en cuenta en este tipo de software es la facilidad con que se realiza el aprendizaje de las nuevas fuentes de letras. En este caso, los algoritmos basados en los contornos son ideales para las imágenes donde los caracteres estén muy bien contrastados con respecto al fondo y de esta forma, se pueden leer caracteres girados o ampliados con respecto a los caracteres aprendidos. Las herramientas de reconocimiento de caracteres basados en reconocimiento de patrones por correlación de niveles de gris proporcionan una detección más robusta en aplicaciones donde el contraste y la iluminación puedan variar. Sin embargo son menos útiles si los caracteres están rotados o el tamaño varía. En estos casos el entrenamiento previo de los caracteres debe ser más intensivo. En la Figura 2.95 se puede observar este tipo de herramienta.

2.2.7.3.12 Herramientas de lectura de códigos de matriz

Debido a que los códigos de barra pueden incorporar muy poca información, cada vez se está extendiendo a muchos más productos la utilización de los códigos de matriz o "datamatrix" (ver Figura 2.96). Las herramientas de lectura de códigos de matriz se han incorporado rápidamente a la mayoría de softwares de visión, ya que, es probablemente el método más útil de interpretación de este tipo de código, especialmente si las superficies donde se han impreso son de difícil lectura. Los códigos de matriz que este tipo de herramientas pueden leer son: ECC0 a ECC140, ECC200, rectangular, PDF 417, PDF 417 truncado.

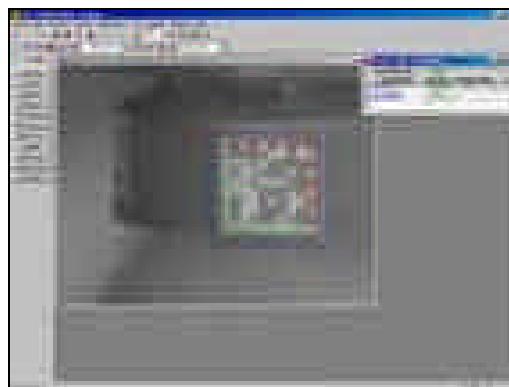


Figura 2.96 Ejemplo de análisis de lectura de código "datamatrix"

2.2.7.3.13 Herramientas de detección e identificación de texturas

El análisis de superficies es una de las labores más difícil dentro de las aplicaciones de visión, debido a que cada superficie es única, incluso si se compara el mismo tipo de material. Nunca dos superficies son exactamente iguales, y por tanto, el análisis es especialmente complejo. El concepto de análisis de imagen "Fuzzy" o basado en lógica difusa, se fundamenta en la comparación de una imagen con otra imagen de referencia de la misma forma que lo haría una persona. Una escala de referencia o un grupo de imágenes de referencia se utilizan para analizar diferentes atributos como pueden ser:

- histograma de niveles de gris
- histograma de gradientes
- intensidades de los píxeles
- etc

Este tipo de análisis permite cuantificar las texturas y reconocer los diferentes tipos de superficies, proporcionando una herramienta excelente para clasificar tipos de maderas, tejidos, superficies metálicas, aglomerados, ruedas, caucho, corcho... Esta herramienta puede llegar a ofrecer una precisión a nivel de subpíxel superior a 1/10 de píxel.

2.2.7.3.14 Herramientas de control de calidad de impresión

Mediante este tipo de herramientas es posible resolver aplicaciones en cualquier sector de inspección de impresión. Se puede hacer la impresión sobre cualquier tipo de sustrato: papel, cartón, plásticos, etiquetas, metal, circuitos impresos...

Este tipo de inspección se divide en dos partes:

- aprendizaje
- inspección automática

La inspección de calidad de impresión está basada en la comparación de la superficie a analizar con respecto a una plantilla previamente aprendida. La secuencia del proceso que se debe utilizar con esta herramienta es: primero se le debe enseñar al sistema una imagen correcta de lo que se desea inspeccionar y posteriormente, se pueden inspeccionar las imágenes erróneas. El sistema puede ser programado para variar las tolerancias, de forma que sea capaz de determinar el error en la inspección según el criterio del usuario.



Figura 2.97 Imagen correcta y errónea para análisis de control de calidad

2.2.7.3.15 **Herramientas de análisis de color**

Para medir el color de una forma precisa, las medidas deben ser repetibles e independientes de la intensidad. Se utilizan áreas de interés para especificar un color. Las áreas seleccionadas son combinadas en modelos (diferentes colores como rojo y verde) y sus instancias (áreas que conjuntamente definen un modelo). Haciendo el aprendizaje de varias instancias se prepara el sistema para diferentes efectos de color, o para controlar fluctuaciones durante la adquisición de la imagen, como pueden ser los cambios de iluminación. La información después de realizar el proceso de aprendizaje se archiva en un clasificador.

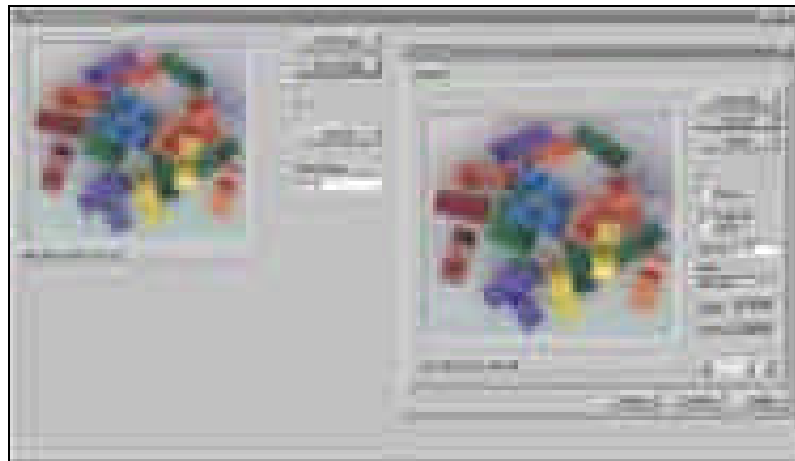


Figura 2.98 Ejemplo de aplicación de análisis de color de piezas

Hay dos formas de identificar colores:

- asignando un área de interés a un color que se ha aprendido
- filtrando la imagen para formar una imagen resultante donde aparezcan los colores que se han aprendido y que coinciden con los de la imagen. La imagen resultante contiene detalles de calidad para cada uno de los píxeles.

Las aplicaciones donde se puede utilizar el análisis de color son múltiples y cada vez más abundantes. Entre otras, se pueden destacar:

- la industria electrónica para la comprobación de asignación de conectores
- la industria de impresión para buscar y distinguir colores individuales de las marcas de registro
- la industria alimenticia en donde se examina los colores de los alimentos y bebidas
- la industria del automóvil para la identificación de logos, leds, tapicerías, cinturones de seguridad, la industria del envase y embalaje como la identificación de etiquetas, tapones...

En la Figura 2.98 se puede observar esta herramienta de análisis de color

2.2.7.3.16 **Herramientas de inspección de LCD, LED y tableros de control de automóviles**

Existen herramientas específicas que permiten realizar aplicaciones muy concretas. Una de estas herramientas ha sido diseñada para aplicaciones relacionadas con la inspección de pantallas LCD o de LEDS. Esta herramienta permite inspeccionar el correcto funcionamiento de estos componentes y dar una respuesta de la calidad de visualización de este tipo de pantallas. Una de las aplicaciones donde se ha utilizado

más es en la inspección de pantallas de teléfonos móviles, calculadoras, PDA, pequeños ordenadores y pantallas LCD para ordenadores o monitores.

Este tipo de herramientas puede funcionar en color e incorpora un sistema de reconocimiento de patrones en color. Ha sido utilizado en multitud de aplicaciones relacionadas con la industria auxiliar del automóvil, especialmente en la inspección de cuadros de mando, cajas de fusibles...

Mediante esta herramienta se puede identificar la presencia y la calidad de los anagramas en los cuadros de mandos de los automóviles, el correcto funcionamiento de los velocímetros y cuenta revoluciones, así como el color y encendido de los distintos LEDs (ver Figura 2.99).



Figura 2.99 Software de inspección de tablero de automóviles

2.2.7.4 Elección del software

Después de la elección de la cámara, el siguiente paso es elegir el tipo de software más adecuado para los componentes del sistema de visión artificial de la automatización. El mejor tipo de software a utilizar en un determinado sistema depende de los siguientes factores:

- el tiempo de desarrollo disponible
- el nivel de conocimiento de los sistemas de visión
- la disponibilidad de recursos de programación
- la velocidad y complejidad de la aplicación
- el número de sistemas del mismo tipo a instalar
- el precio final de la aplicación

El tiempo de desarrollo y el nivel de conocimiento son factores normalmente determinantes, aunque la velocidad y complejidad de la aplicación es un factor también muy importante.

Dependiendo de la respuesta a estas preguntas se debe utilizar un tipo u otro de software. Por tanto, para el sistema de visión artificial de la automatización se observa que:

- ✓ El tiempo disponible para el desarrollo de la programación del sistema de visión es limitado y debe ser el menor posible para minimizar el número de horas de ingeniería. El objetivo es reducir el coste de programación y aumentar la competitividad en coste de la automatización.
- ✓ Tan sólo se tiene conocimiento y experiencia en sistemas de visión por menús e interfaces gráficas de usuario. Por tanto, se necesita un esfuerzo mayor en cuanto al tiempo necesario para desarrollar el programa si se utilizan programas de bajo nivel. Se requiere un conocimiento y adaptación a las librerías utilizadas en este tipo de programación.
- ✓ No se requiere disponer de amplios recursos de programación o herramientas de programación muy potentes, ya que el procesado de la ventana sin serigrafía es muy sencillo, al disponerse de una imagen ya binarizada.
- ✓ La velocidad de procesado del sistema de visión de la automatización es baja ya que no es crítico en la automatización. Y como se ha comentado en el punto anterior no tiene complejidad de procesado.
- ✓ Tan sólo se va a desarrollar un sistema de visión de este tipo, ya que únicamente se debe realizar una automatización de ensamblaje. Debido a esto se prefiere un software con una capacidad de desarrollo muy rápida.
- ✓ El precio del sistema de visión debe ser el mínimo posible y del mismo modo el del software de programación. Por tanto, se debe encontrar un equilibrio entre el precio del software y el tiempo necesario para el desarrollo del programa requerido por el software. Es decir, el software más económico requiere más tiempo para el desarrollo del programa, en cambio el más rápido de desarrollar es por el contrario el más caro.

Según lo comentado anteriormente para cada tipo de software existente se observa que:

- Se evitan los sistemas de programación a bajo nivel basado en Kits de Desarrollo de Software (SDK) ya que requieren un amplio conocimiento de hardware y software de visión. También porque son más útiles en aplicaciones de visión más complejas y que requieren mayor flexibilidad. Aunque el coste de las licencias de

software es elevado ya que incorporan muchas más herramientas que facilitan el trabajo se pueden adquirir por módulos y esto hace que dependiendo de la aplicación el coste sea más reducido. No obstante, adquirir las librerías estrictamente necesarias no exime de emplear mucho tiempo de desarrollo del programa, lo cual no va a ser rentable en una única aplicación, sino que más bien resulta especialmente útil cuando se tienen muchas aplicaciones del mismo tipo en serie.

- Sin embargo, se prefieren los tipos de programación por menú e interfaces de usuario gráficas. Estas herramientas son más sencillas de utilizar y no requieren programación de software. También son ideales por la sencillez y la baja velocidad de procesado. Permiten que cualquier usuario sin ningún tipo de conocimiento de programación puede desarrollar una aplicación de visión de forma fácil y rápida. Por tanto, también se facilitan posibles tareas de modificación y ajuste por personal de mantenimiento. Si bien son menos flexibles, incluyen una gran cantidad de herramientas de alto nivel en el mismo software. Las ventajas de la fácil realización de los programas mediante estas herramientas comportan también un precio más elevado de este tipo de software, pero el desarrollo se realiza de forma muy rápida.

Por tanto y a modo de resumen, el software necesario para el sistema de visión de la automatización debe cumplir con las siguientes características:

- software de programación por menú o Interfaces de Usuario Gráfica (GUI)
- con el menor precio posible, siempre y cuando se cumplan los requerimientos anteriores

A continuación se ha realizado un estudio de todos aquellos softwares existentes en el mercado que se corresponden con el tipo de software mencionado y que cumplen las características anteriores.

FrameWork

El software FrameWork (Figura 2.100) maneja y opera con los sensores de los sistemas inteligentes DVT. Es un programa basado en Windows, el cual resulta fácil de aprender y operar. Sus potentes herramientas tales como OCR, buscador de objetos y scripts dan a las cámaras inteligentes DVT la funcionalidad normalmente esperada para altos sistemas de visión con un coste reducido.

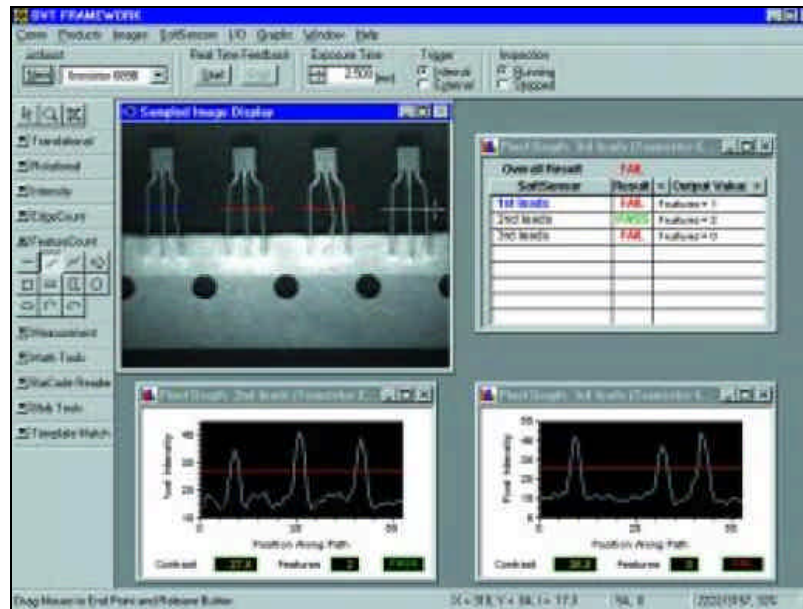


Figura 2.100 Software FrameWork

Entre las funciones que se pueden encontrar en FrameWork destacan:

- traslación
- rotación
- intensidad
- contador de transiciones
- medidas de precisión
- análisis de objetos
- lector de código de barras
- lector de código matriz
- OCR (Reconocimiento Óptica de Caracteres)
- “blob”
- “template machina”
- “object find”: aprende e identifica cualquier tipo de objeto colocado en cualquier dirección y devuelve las coordenadas X e Y y orientación de todos los objetos de este tipo que aparezcan en la imagen
- transformación de coordenadas: permite convertir las coordenadas imagen en coordenadas reales, lo que permite hacer medidas precisas incluso en los casos que hayan distorsiones debidas a las ópticas o a la perspectiva
- emulador
- programación de código o scripts

El DVT ha combinado la última tecnología en sensores CCD y CMOS con el software Framework para crear una herramienta de inspección de fácil manejo pero muy potente. Este software es de difusión gratuita y es el desarrollado por DVT para la programación de la cámara inteligente DVT510.

Sherlock

Sherlock es un software desarrollado por CORECO IMAGING. Se trata de un software de programación por menú. Este software ha sido diseñado para realizar aplicaciones de forma muy rápida y consistente, sin necesidad de conocimientos de programación.

Sherlock es un software específico de visión industrial que facilita el desarrollo de aplicaciones de visión tales como: alineación, medida, inspección, verificación de conexiones y tareas de guiado de maquinarias. Este sistema no necesita ningún conocimiento de sistemas de programación y facilita a los integradores de sistemas y a los clientes finales de sistemas de visión industrial, un entorno que les permite reducir el tiempo de desarrollo y la puesta en funcionamiento de los sistemas.

Las prestaciones de Sherlock son ideales para aplicaciones relacionadas con la industria del automóvil, textil, electrónica, empaquetado, farmacéutica, plástico, etc... Las prestaciones que ofrece son las siguientes:

- configuración de aplicaciones desde un entorno “point-and-click”, no requiere programación
- utiliza un solo monitor para inicializar, mostrar la imagen y como interfaz de trabajo
- se pueden utilizar hasta 5 algoritmos de proceso de imagen por regiones de interés
- las regiones de interés se pueden inicializar con sus propios algoritmos de análisis de imagen
- herramientas, fórmulas, subrutinas y eventos de entrada/salida se crean de forma gráfica
- los cálculos de tolerancia permiten determinar paso/fallo y manipulación de SPC (Estadística de Control de Proceso)
- ramificación basada en condiciones de tolerancia
- creación de informes que se pueden enviar a distintos destinos
- paquete de Estadística de Control de Procesos (SPC)
- conexión simple con otras aplicaciones industriales tanto de hardware como de software

Sherlock puede configurarse para distintas aplicaciones:

- verificación de montaje
- calibración
- detección de imperfecciones
- presencia / ausencia
- OCR (Reconocimiento Óptica de Caracteres)
- OCV (Verificación Óptica de Caracteres)
- guiado de robots
- códigos de barras

Su precio de 1.150,00 €. Este alto precio está justificado por su elevada potencia y sus altas prestaciones. Muchas de las herramientas que incorpora no son útiles para el sistema de visión. Por ello y por su elevadísimo precio es desestimado.

Software de visión 2D en escala de grises V-500i de FANUC

El software de visión V-500i (Figura 2.101) de FANUC Robotics proporciona una guía 2D a los robots FANUC para aplicaciones de manipulación y ensamblaje donde sea necesaria la localización y orientación de piezas. Este software está basado en PC y requiere de un frame grabber analógico y una cámara monocromo.

El entorno de programación es una interfaz de usuario gráfica (GUI). Este GUI posibilita a los usuarios no expertos realizar una configuración rápida y un uso profesional de un sistema de visión para robots. El uso de las pantallas de usuario es muy intuitivo y aporta la flexibilidad necesaria de un sistema industrial de visión.

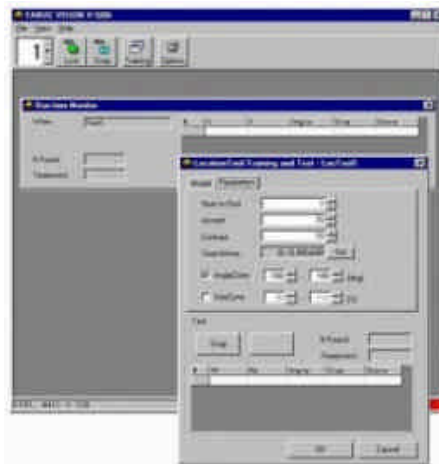


Figura 2.101 Software V-500i

Se trata de una herramienta de reconocimiento de patrones. La calibración de la cámara se realiza mediante la toma de patrón y la búsqueda de piezas se realiza a través de iconos. No es necesario ningún tipo de desarrollo adicional con algún tipo de lenguaje estructurado. El algoritmo ha sido desarrollado en su totalidad por FANUC. La función de procesamiento de imagen de FANUC permite la localización de cualquier tipo de objeto, incluyendo el desplazamiento y la rotación. Es un algoritmo muy robusto a cambios de imagen y también acepta cambios de tamaño (ampliación/reducción), cambios de iluminación (variación de brillo), desenfoques y similares condiciones difíciles de detección, tal y como se observa en la Figura 2.102

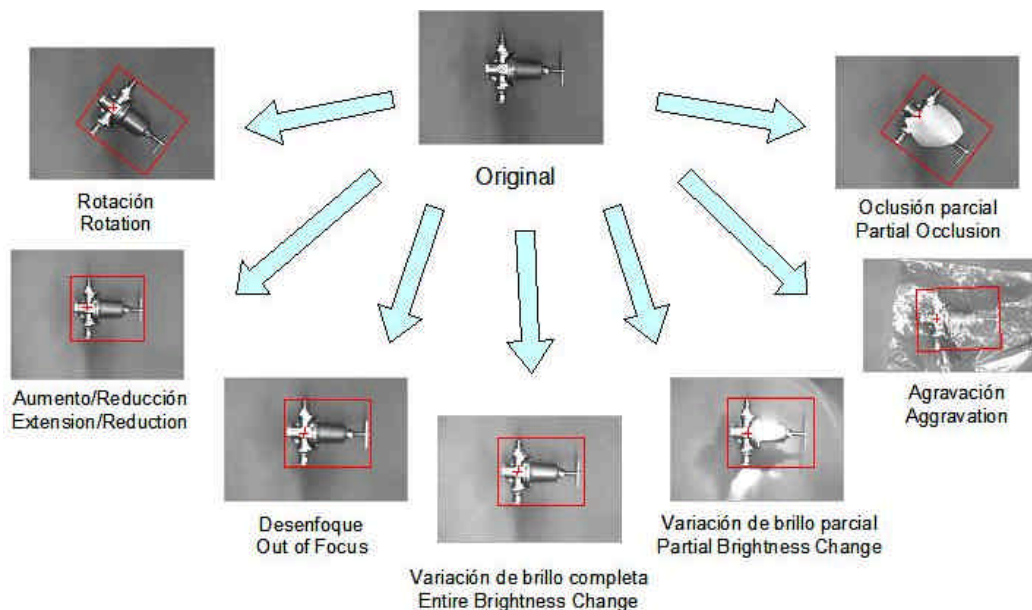


Figura 2.102 Robustez del algoritmo de localización de objetos

El V-500i comunica con el controlador del robot a través de Ethernet TCP/IP (para conexión con controladores R-J3, R-J3iB y R-J3iB Mate) o estándar serie RS-232 (para conexión con controladores R-J2, R-J2 Mate, R-J3, R-J3iB, R-J3iB Mate), tal y como se observa en la Figura 2.103. Los requerimientos de opciones de software para el robot como “PC Interface”, “Sensor Interface” y “Data Transfer” se incluyen en el paquete.

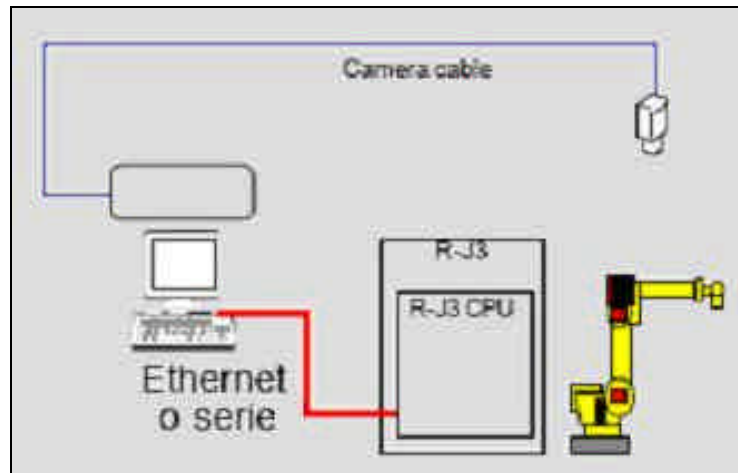


Figura 2.103 Sistema V-500i

El sistema V-500i incorpora comandos en la consola de programación que permiten llamar al proceso de visión directamente por su nombre. Los resultados de la detección de visión se almacenan de forma numérica en un registro de posición permitiendo una funcionalidad de offset de posición.

El sistema V-500i permite trabajar con más de un proceso de visión; y cada proceso dispone de una o más localizaciones de piezas. Además, la detección de múltiples objetos (misma pieza o distinta) se ejecuta con una sola línea de comando.

Entre las características técnicas de este software destaca:

- resolución de 640x480 píxeles e intensidad de 256 niveles de escala de grises
- calibración de cámara : simple 2D o “grid pattern” (rejilla patrón)
- visualización imagen : vivo, “snap”, visualización de resultados
- localización simultánea de múltiples piezas
- resultados de detección: posición (X,Y), rotación (R) e identificación de modelo
- ventana de búsqueda rectangular
- área de no búsqueda (“Do not care area” de cualquier forma)
- posibilidad de realizar un logging de resultados en un fichero EXCEL
- salva búsquedas erróneas (.BMP)
- hasta 4 cámaras por tarjeta PC “frame grabber”
- hasta 4 tarjetas PC “frame grabber” por PC
- histograma opcional
- hardware opcional permite utilizar la funcionalidad “Visual Linetracking”

Se recomienda un PC con los siguientes requisitos:

- PC Pentium o 100% compatible
- 128 MB RAM mínimo
- 10 MB libres de disco duro
- Windows NT4.0SP6/US-UK o Win2000/US-UK

- puerto serie RS-232 o adaptador de red Ethernet (RJ45) & TCP/IP
- puerto paralelo para la conexión de la mochila de licencia
- CD-ROM, teclado y ratón
- "slot" PCI libre para tarjeta "frame grabber"

Por tanto, la visión artificial para robot inteligente V-500*i*, actúa como ojo del robot, localiza los objetos y compensa las trayectorias del robot. El robot puede realizar tareas de manera precisa y estable. La calibración se realiza de manera rápida y simple. El software también permite el uso del panel de calibración original y realiza el cálculo de la definición del sistema de coordenadas, el tamaño de píxeles y la corrección de distorsión de las lentes, si es requerida. Su precio es de 1.250,00 €.

Por tanto, el V-500*i* y el Sherlock precisan de un PC. No obstante, el V-500*i* ofrece una gran ventaja con respecto al Sherlock. Y es que se convierte el sistema de visión y el robot en un sistema perfectamente integrado, debido a su total compatibilidad. Con lo cual el software ya incluye el protocolo de comunicación del con el robot. Por el contrario es una opción más cara que la del Sherlock, aunque tan sólo por 100 €. Por tanto, por esta pequeña diferencia se apuesta por el sistema integrado V-500 *i* de FANUC.

2.2.8 ELECCIÓN DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL INDUSTRIAL

Finalmente, y tras la elección de todos los componentes más adecuados para el sistema de visión artificial de la automatización, se obtienen dos posibles sistemas:

- Sistema “A” compuesto por:
 - iluminación
 - óptica
 - cámara
 - “frame grabber”
 - software
 - PC
- Sistema “B” compuesto por:
 - iluminación
 - óptica
 - cámara inteligente
 - módulo de video y comunicaciones
 - software
 - monitor

En la Tabla 2.12 se observa la relación de modelos y precios que componen cada uno de los sistemas (véase página siguiente).

Por lo mencionado anteriormente, se conoce que los dos sistemas de visión artificial industrial ofrecen la misma resolución de 0,099 mm/píxel al trabajar ambos con una resolución de 640x480 píxeles.

Como se ha detallado en los capítulos anteriores de visión, tanto la técnica de iluminación por contraste, común en ambos sistemas, como los demás componentes de visión particulares de los dos sistemas y a su vez la característica traslúcida de la ventana sin serigrafía permiten obtener una imagen binarizada (muy bien definida y contrastada) de esta última, y por tanto, se pueden realizar medidas de mucha precisión. Es por estos motivos que el error de los dos sistemas de visión artificial puede valorarse como 2 veces la resolución del sistema de visión artificial, en lugar de 3 o hasta 4 veces ésta en el caso de utilizar otra técnica de iluminación y otro objeto. De este modo, ambos sistemas presentan el mismo error de 0,198 mm. Si a esto se añade que ambos sistemas pueden trabajar a nivel de subpíxel superior a 1/10 píxel, este error inherente se reduce.

A su vez, ambos sistemas pueden comunicar con el robot sin ningún problema. Por tanto, se puede decir que los dos sistemas tienen las mismas prestaciones, pero no al mismo precio. Como se puede observar el sistema “A” es notablemente más barato que el “B”. Por tanto, el sistema de visión artificial industrial elegido para la automatización del proceso de ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en parabrisas es el sistema “A”.

Finalmente se puede concluir diciendo que la resolución del sistema de visión elegido para la automatización es de 0,099 mm/píxel y el error máximo es de 0,198 mm, bastante menor que la tolerancia de posicionamiento especificada que es de $\pm 0,5$ mm, concretamente representa el 20% de la tolerancia total.













SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL INDUSTRIAL									
ELEMENTO	MARCA	MODELO	SISTEMA "A"	PRECIO	PRECIO	SISTEMA "B"	MODELO	MARCA	ELEMENTO
Iluminación	CCS	LFL-4012		465,00 €	465,00 €		LFL-4012	CCS	Iluminación
Óptica	FUJINON	HF50HA-1		125,00 €	125,00 €		HF50HA-1	FUJINON	Óptica
Cámara	JAI	CV-A50		421,00 €	3.277,00 €		510	DVT	Cámara Inteligente
Frame Grabber	CORECO IMAGING	PC Vision		850,20 €	741,58 €		SmartLink	DVT	Módulo video y comunicaciones
Software	FANUC	V-500i		1.250,00 €	0,00 €		FrameWork	DVT	Software
PC	DELL	Optiplex GX60		810,84 €	458,00 €		DM-101-R2	ICP Electronics	MONITOR
COSTE TOTAL SISTEMA "A"				3.922,04 €	5.066,58 €	COSTE TOTAL SISTEMA "B"			

Tabla 2.15 Resumen comparativo de precios de los sistemas de visión artificial seleccionados

2.3 AUTÓMATA (PLC)

El autómata programable (PLC) es un componente para cuadros eléctricos industriales que permite elaborar y modificar las funciones que tradicionalmente se han realizado con relés, contactores, temporizadores, etc. En el mercado existen autómatas que se adaptan a casi todas las necesidades, con entradas/salidas digitales y/o analógicas, pequeños y grandes.

El autómata que se va a utilizar para la automatización del ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en parabrisas es el autómata SIMATIC S7-300 (Figura 2.104) de SIEMENS tal y como el cliente ha especificado.



Figura 2.104 Autómata SIEMENS de la serie S7-300

El SIMATIC S7-300 es un controlador que forma parte de una extensa gama de controladores que reciben el nombre de SIMATIC. En esta familia de controladores se encuentran pequeños equipos compactos de gama baja S7-200, PLCs de alto rendimiento de gama media S7-300 y de gama alta S7-400 e incluso PCs. Todos ellos tienen en común una alta potencia de procesamiento en el espacio más reducido, robustez contra los más duros efectos mecánicos y climáticos, alta velocidad y facilidad de ampliación.

El PLC S7-300 es un autómata modular de gama media. Su construcción modular resulta una solución óptima para su aplicación tanto en configuración centralizada como descentralizada o distribuida. El PLC se compone de:

- un módulo central CPU con diferentes gamas de potencia, con entradas y salidas integradas o sin ellas y con puerto PROFIBUS-DP integrado o no
- módulos de señales SM para entradas/salidas digitales y analógicas
- módulos de comunicación CP para la conectividad a bus y conexiones punto a punto
- módulos de funciones FM para contaje, posicionamiento (en lazo abierto/cerrado) y regulación
- una fuente de alimentación de carga PS para conectar el SIMATIC S7-300 a una tensión de 120/230Vac (opcional)

Se disponen de varias CPUs de potencia escalonada y un amplio abanico de módulos periféricos con numerosas funciones confortables que ofrecen la posibilidad de utilizar sólo los módulos que realmente se necesiten para la aplicación. Si aumentan las tareas, el autómata puede ampliarse añadiendo más módulos. El número máximo de módulos son 32.

El PLC S7-300 es de aplicación universal y se adapta perfectamente a entornos industriales gracias a su compatibilidad electromagnética y su elevada resistencia a choques y vibraciones.

Las CPUs de SIMATIC S7-300 soportan los siguientes tipos de comunicación:

- Comunicación de datos para el intercambio de datos entre autómatas o entre estaciones HMI y varios autómatas. La comunicación de datos se realiza de forma cíclica o controlada por eventos, desde bloques incluidos en el programa de usuario
 - intercambio cíclico de paquetes de datos entre CPUs, PG/PC o CPU/HMI interconectados vía MPI con comunicación de datos globales
 - comunicación controlada por eventos con otros interlocutores usando bloques de función para comunicación. La interconexión puede realizarse vía MPI, Profibus-DP o Ethernet industrial
- Comunicación de proceso para el acceso cíclico a módulos periféricos (intercambio de las imágenes de proceso) a través de bus AS-Interface o Profibus-DP. La comunicación de proceso se llama desde los niveles de ejecución cíclicos

Los controladores S7-300 disponen de diferentes interfaces de comunicación:

- Comunicación de datos vía interfaz integrada (punto a punto)
A través de los módulos CP34x o la interfaz integrada de la CPU 31xC-2 PtP se pueden realizar conexiones punto a punto de forma económica y cómoda. Se ofrecen diferentes protocolos que operan bajo las tres normas de comunicación físicas siguientes:
 - 20 mA (sólo CP 34x)
 - RS 232C/V.24 (sólo CP 34x)
 - RS 422/RS 485

Es posible conectar:

- autómatas SIMATIC S7, SIMATIC S5 y equipos terceros
- impresoras
- escáneres, lectoras de código de barras, etc
- Comunicación de datos a través de puerto multipunto MPI
El puerto multipunto MPI (Interfaz Multipunto) es un puerto de comunicación integrado en todas las CPUs del SIMATIC S7-300. Puede utilizarse para interconexiones en redes simples.
 - el MPI permite la conexión simultánea de varios PG/PC con STEP7, sistemas HMI (OP/OS), S7-300 y S7-400
 - datos globales: el servicio "Comunicación por datos globales" posibilita a las CPUs el intercambio cíclico de datos (máximo de 4 paquetes de 22 bytes por ciclo) con otras estaciones interconectadas. Los datos globales sólo pueden intercambiarse por el puerto MPI
 - bus de comunicación interno (bus K): el MPI de la CPU está conectado directamente con el bus K del S7-300. Esto permite acceder directamente vía MPI desde la PG a módulos FM/CP que tenga conexión con el bus K.
 - eficaz técnica de comunicación:
 - 32 estaciones MPI como máximo
 - por CPU varias conexiones de comunicación dinámicas para la comunicación básica a SIMATIC S7-300/400
 - por CPU varias conexiones de comunicación estáticas para la comunicación S7 con PG/PC, sistemas SIMATIC HMI y S7-300/400
 - velocidad de transmisión 187,5 kbit/s ó 12 Mbits/s
 - posibilidades de montaje flexibles: para materializar la comunicación MPI se utilizan componentes acreditados como cable de bus, conector de bus y

repetidor RS 485 de la gama Profibus y de la periferia descentralizada. Éstos permiten adaptar óptimamente la configuración a los requerimientos. Así, por ejemplo, se pueden conectar hasta 10 repetidores en serie para salvar grandes distancias entre dos estaciones MPI cualesquiera

- Comunicación de proceso vía bus AS-Interface (Interfaz Sensor Actuador)
- Comunicación de proceso vía bus Profibus-DP

El SIMATIC S7-300 se conecta al sistema de red en bus PROFIBUS-DP por medio de un módulo de comunicaciones o a través de las CPUs con interfaz Profibus-DP integrado. Las CPUs con interfaz Profibus-DP maestro/esclavo permiten configurar sistemas de automatización de forma descentralizada con alta velocidad y manejo sencillo. Desde el punto de vista del usuario, la periferia descentralizada conectada a través de PROFIBUS-DP se trata como la periferia central (misma forma de configurar, direccionar y programar). Se pueden conectar como maestros:

- SIMATIC S7-300 (vía CPUs con puerto Profibus-DP o CPs Profibus -DP)
- SIMATIC S7-400 (vía CPUs con puerto Profibus -DP o CPs Profibus -DP)
- SIMATIC C7 (vía C7 con puerto Profibus DP o CPs Profibus DP)
- SIMATIC S5-115U/H, S5-135U y S5-155U/H con IM 308
- SIMATIC 505

Por motivos de rendimiento, no conviene conectar más de 2 maestros en una línea. Se pueden conectar como esclavos:

- periféricos descentralizados ET 200
- S7-300 vía CP 342-5
- CPU 313C-2 DP, CPU 314C-2 DP, CPU 315-2 DP, CPU 316-2 DP y CPU 318-2 DP
- C7-633/P DP, C7-633 DP, C7-634/P DP, C7-634 DP, C7-626 DP, C7-635, C7-636
- dispositivos de campo

Los PG/PCs con STEP 7 o los OPs son maestros en el bus pero sólo utilizan las funciones MPI que, en parte también se ejecutan a través del Profibus-DP.

- Comunicación de proceso vía Ethernet

Una vez conocidas todas las características generales y opciones de los controladores SIMATIC S7-300, se debe elegir un autómatas y una arquitectura más adecuada para la automatización del ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en parabrisas. Los requerimientos que debe tener el autómatas son:

- una CPU que permita el control tanto de periferia centralizada como de descentralizada
- con E/S digitales y sin E/S analógicas ya que no se requiere ninguna de ellas
- con interfaz MPI para la conexión con un sistema HMI de interfaz de usuario a una velocidad de 1,5 MB/s
- interfaz Profibus-DP para la conexión y control de dispositivos de campo de E/S digitales descentralizados a una velocidad de comunicación de 1,5 MB/s

Como se ha comentado anteriormente, el S7-300 es un autómatas modular, por tanto se configura mediante la conexión de módulos de diferentes funciones en un bastidor. Entonces se necesita un módulo CPU con puerto MPI integrado, un módulo SM de 16 entradas digitales, un módulo SM de 16 salidas digitales, un módulo CP de comunicación para bus Profibus-DP. No obstante, entre todas las CPUs de la

gama destaca la CPU compacta modelo 313C-2 DP (Figura 2.105) la cual ofrece las prestaciones requeridas a un precio inmejorable. Ésta CPU dispone de manera integrada de 16E/16S salidas, una interfaz MPI y una interfaz Profibus-DP. Su precio es de 1.276,69 €, mucho más económica que cada uno de los módulos por separado.



Figura 2.105 CPU SIEMENS 313C-2 DP

Para el control de la periferia descentralizada se utilizan bases concentradoras de E/S digitales. Concretamente dos bases de 16 entradas digitales de la marca WEIDMÜLLER modelo SAI HP DP 16DI (Figura 2.106), cuyo precio es de 341,39 € por unidad. Estas bases permiten la conexión de las entradas digitales agrupadas en pares de señales mediante conectores M12.



Figura 2.106 Concentrador activo de E/S digitales Weidmüller SAI HP DP 16DI

Y para las salidas correspondientes a electroválvulas neumáticas se utilizan dos bloques de 8 electroválvulas de la marca FESTO, concretamente el modelo CPV14-VI (Figura 2.107) con un coste de 932,30 € por unidad.



Figura 2.107 Bloque de electroválvulas FESTO CPV14-VI

Por tanto y a modo de resumen, el autómatas controla y gestiona toda la automatización de la siguiente manera:

- controla las E/S digitales integradas en la CPU como las del accionamiento del servomotor del eje dosificador y otras señales dentro del armario eléctrico
- a través del bus Profibus-DP se realiza la comunicación de proceso para el control de las E/S digitales de la periferia descentralizada e intercambia datos con el robot, que son órdenes del PLC al robot e información del robot al PLC
- a través del puerto multipunto MPI se permite la comunicación de datos para obtener los valores de las variables de proceso introducidos en el sistema HMI y enviar la información del proceso al sistema HMI o interfaz de usuario

2.4 EJE DOSIFICADOR

Como se ha comentado anteriormente en el capítulo **1.6.2.1** Dosificación del soporte del sensor de lluvia se requiere un sistema de bombeo, un circuito de mangueras calefactadas y un sistema de dosificación de pur para dosificar el soporte del sensor de lluvia y mantener el poliuretano en condiciones de temperatura adecuadas.

El mencionado circuito está formado por:

- una bomba neumática (elemento número 1 de la Figura 2.109), estándar y comercial, la cual bombea a manchas el pur del bidón de 22 litros con una presión variable. La bomba neumática está calefactada
- un regulador de fluido de masilla (elemento número 2 de la Figura 2.109), el cual estabiliza la presión de pur proveniente de la bomba neumática
- una manguera calefactada de unión entre la bomba neumática y el regulador de fluido de masilla
- una bomba de engranajes (elemento número 3 de la Figura 2.109) para regular y mantener constante el caudal de pur. Entre sus datos relevantes destacan:
 - proporciona 0,3 cm³/rev de pur
 - el par de trabajo normal aplicable es de 3 a 6 Nm y el máximo es de 15 Nm
 - la velocidad de giro normal de trabajo es de 20 a 80 rpm y la máximo alcanza los 200 rpm (dependiendo del fluido)
- una válvula expendedora o dosificadora (elemento número 7 de la Figura 2.109), la cual contiene una válvula neumática que cierra y abre el circuito de pur. La válvula dosificadora también está calefactada

El sistema de calefacción se realiza a través de resistencias colocadas en los tres tramos mencionados. El control de la temperatura de los tramos calefactados se realiza mediante tres reguladores de temperatura con visualizadores y sensores de temperatura. De esta manera es posible visualizar la temperatura actual del pur en cada tramo y programar la temperatura a la que se desea mantener.

Todo este sistema de regulación de temperatura está incluido en el armario eléctrico (elemento número 8 de la Figura 2.109) de la bomba neumática. Ésta, las mangueras calefactadas, el regulador de fluido de masilla y la válvula dosificadora son suministrados conjuntamente por la marca GRACO. El precio del conjunto asciende a 15.628,25 €.

El sistema de bombeo de pur está formado por la bomba neumática y por el regulador de fluido de masilla. La bomba neumática bombea el pur hasta el regulador de fluido de masilla con una presión no constante y cercana a los 60 bares (en función de la longitud del circuito de pur). Esta es, aproximadamente, la presión de entrada del pur en el regulador de fluido de masilla (depende de la longitud del tramo de circuito). A la salida del mismo se tiene una presión de pur muy por debajo de la de entrada, constante y regulada a un valor especificado.

El sistema de dosificación de pur está formado por la bomba de engranajes y la válvula dosificadora. Ambos permiten controlar el caudal de pur necesario para la dosificación del soporte.

La bomba de engranajes consta de un orificio de entrada y uno de salida, y entre ambos dispone de una cavidad ocupada por dos engranajes. El engranaje de entrada dispone de un eje para su accionamiento, mientras que el engranaje de

salida gira por el movimiento del de entrada. Mediante el accionamiento del engranaje de entrada se consigue hacer circular hacia la salida de la bomba de engranajes un caudal de pur proporcional a la velocidad de giro del mismo (como se ha comentado anteriormente $0,3 \text{ cm}^3$ por vuelta). Mediante la válvula dosificadora se abre y se cierra el circuito, y se consigue dosificar un cordón de pur fino con un diámetro determinado gracias a la reducción de la boquilla (diámetro de salida). Por tanto, la dosificación del pur se consigue accionando la bomba de engranajes y abriendo la válvula de la boquilla dosificadora.

Entonces el accionamiento debe aplicar al eje de la bomba de engranajes una velocidad de giro concreta para obtener un caudal de pur de dosificación óptimo. Este caudal óptimo es aquel que permite obtener un dosificado del soporte según las especificaciones. Del mismo modo, no se debe crear un exceso de presión (sobrepresión) en el tramo comprendido entre la salida de la bomba de engranajes y la válvula dosificadora, ya que, las juntas de esta última podrían dañarse. Para ello es necesario ajustar y limitar el par y, a su vez, ajustar la velocidad de la bomba de engranajes. De esta manera, limitando el par para evitar daños en los equipos y regulando la velocidad de giro de la bomba de engranajes se consigue el caudal de pur óptimo para la dosificación del soporte del sensor de lluvia. No obstante, no se requiere variar la velocidad de giro de la bomba de engranajes una vez ajustada, ya que, el sistema de dosificación dosifica un caudal de pur constante, mientras que la silueta y la cantidad de pur depositada sobre el soporte del sensor de lluvia son controladas mediante la velocidad de movimiento del robot durante la dosificación.

Como conclusión, se requiere un accionamiento con los siguientes requerimientos:

- regulación de velocidad hasta un máximo de 200 rpm (velocidad máxima de la bomba de engranajes), una vez ajustado no se precisa su variación
- limitación de par a un máximo de 15 Nm (par máximo del eje de la bomba de engranajes), una vez ajustado, no se precisa su variación
- control de marcha y paro mediante E/S digitales, se descarta el control mediante Profibus-DP, ya que no se requiere cambiar la consigna de velocidad una vez ajustada. El control mediante Profibus-DP suele representar una opción a añadir en cualquier dispositivo con su consecuente aumento de precio, mientras que el control por E/S digitales suelen estar incluidas de serie

Para resolverlo se puede pensar en un motor asíncrono accionado mediante un convertidor de frecuencia. Sin embargo, sólo permite variar la velocidad o bien mantener un par constante para una carga fija. Su relación par-velocidad no es constante ya que el par es diferente según la velocidad de giro del motor. Además, su tamaño físico aumenta a medida que se necesita más par.

Otra posibilidad es el uso de un servomotor. Éste permite regulación de par y de velocidad de giro, siendo capaz de mantener el par independientemente de la velocidad. Incluso, es posible limitar el rango de par de trabajo. Ésta es la opción elegida.

El accionamiento mediante servomotor precisa de:

- un accionamiento para la alimentación del motor de imanes permanentes. El accionamiento permite controlar la posición del servomotor, no obstante se utiliza como eje "rollover", o sea, sin límite de giro (infinitas vueltas en el mismo sentido de giro)
- un servomotor (elemento número 4 de la Figura 2.109) o motor brushless (sin escobillas) de imanes permanentes

Opcionalmente y dependiendo de las necesidades en cuanto a velocidad de giro y a par aplicable se pueden utilizar los siguientes dispositivos:

- un reductor (elemento número 5 de la Figura 2.109), el cual se acopla a la salida del eje del motor por medio de un buje (brida de encaje). El eje del motor ataca un piñón que hace que se mueva el tren de engranajes necesario para provocar la reducción y transmite el movimiento a un eje de salida, que en este caso es el de la bomba de engranajes.

Se utiliza para reducir la velocidad del motor y para aumentar su par transmisible a potencia constante proporcionalmente a la relación de reducción. Debido a este último efecto se consigue reducir el tamaño del servomotor consiguiendo el mismo par o incluso mayor. En este caso, disminuye el número de vueltas del eje de la bomba de engranajes y hace que el servomotor pueda trabajar a un régimen más alto de revoluciones. Existen diferentes tipos de precisión o juegos de engranajes. Las relaciones de reducción más usuales para una etapa son de 3, 4, 5, 6, 7 y 10. Normalmente se pueden combinar hasta un máximo de 3 etapas, alcanzando una relación de reducción máxima de 1000. El diámetro de la brida de encaje del reductor también es una característica importante, ya que debe coincidir con el calibre del eje del servomotor.

- un acoplamiento metálico (elemento número 6 de la Figura 2.109), el cual se intercala y une los ejes del reductor y de la bomba de engranajes absorbiendo desalineaciones axiales, laterales y angulares entre ambos ejes, y evitando la rotura de los dientes de los engranajes de la bomba por un sobrepasar o sobreesfuerzo. El par máximo constante transmisible por el acoplamiento debe ser mayor que el de trabajo de la bomba de engranajes y, a su vez, menor que el par máximo de ésta. Si se supera el par máximo constante transmisible de manera continuada el fuelle metálico se deforma y pierde sus propiedades.

El accionamiento elegido es la serie Epsilon de Control Techniques. Se trata de un accionamiento compacto, para servomotores brushless, totalmente digital e ideal para ser aplicado en conjunción con controladores de un solo eje o de múltiples ejes y con PLCs. Permite cinco modos operativos como son modo analógico de velocidad, modo analógico de par, seguidor de impulsos, preselección de velocidad digital, y suma de velocidad analógica y velocidad digital. Dispone de 5 entradas y 3 salidas digitales aisladas óptimamente.



Figura 2.108 Accionamiento Epsilon y servomotor

El accionamiento es un Eb203 el cual se combina con el servomotor 55EZC500 de Control Techniques (ver Figura 2.108). Sus precios son de 716,88 € y 417,6 €, respectivamente. La velocidad nominal del servo es de 5.000 rpm y su par nominal es de 1,4 Nm, mientras que su par de pico alcanza los 2,8 Nm.

El reductor coaxial de bajo juego elegido es el modelo MP060/1/10/15 de la marca TECNOPOWER. Este reductor tiene una relación de reducción de $n=10$ y consta de 1 etapa de reducción, permitiendo una velocidad de entrada de 4.000 rpm y una máxima de 6.000 rpm. Su rendimiento es de un 97% y permite un par nominal de salida de 18 Nm. Su precio es de 184,44 €.

Por tanto, si el par nominal del servomotor es de 1,4 Nm y el de pico es de 2,8 Nm, debido a la relación de reducción del reductor, el par nominal y de pico de salida del reductor, y por tanto, aplicado al eje de la bomba de engranajes, son 14 Nm y

28 Nm. No obstante, el par de trabajo y máximo de la bomba de engranajes es de 3 a 6 Nm y 15 Nm, respectivamente. Por tanto, es necesario reducir el par nominal del servomotor hasta prácticamente el par de trabajo de la bomba de engranajes. Y así también se reducirá el par de pico del servo por debajo del par máximo de la bomba de engranajes, ya que sus dientes son muy débiles. Se debe reducir y limitar el par del servomotor a un 45% del par nominal. De esta manera, para el par nominal y de pico del servomotor se obtiene un par de trabajo y máximo aplicado a la bomba de engranajes de 6,3 Nm y de 12,6 Nm.

Del mismo modo, si la velocidad nominal del servomotor es de 5.000 rpm, debido a la relación de reducción del reductor, la velocidad de giro de salida del reductor, y por tanto, la de giro del eje de la bomba de engranajes, es de 500 rpm. No obstante, la velocidad de trabajo de la bomba de engranajes es de 20 a 80 rpm y la máxima de 200 rpm. Por tanto, es necesario reducir y limitar la velocidad de giro del servomotor a un 30% de la velocidad nominal. De esta manera, para la velocidad nominal del servomotor se obtiene una velocidad angular del eje de la bomba de engranajes de 150 rpm.

No obstante y por seguridad, se dimensiona el par máximo constante transmisible del acoplamiento metálico por debajo del par máximo de la bomba de engranajes con el fin de que un aumento de par produzca una rotura del acoplamiento antes que del eje de la bomba de engranajes. El modelo elegido es el KM12 de JACOB. Su precio es de 40,15 € y su par máximo constante transmisible es de 12 Nm. Este valor es mayor que el par de trabajo de la bomba de engranajes y menor que el par máximo de ésta.

En la Figura 2.109 se observa el sistema de bombeo y dosificación de pur con todos los componentes que lo integran:

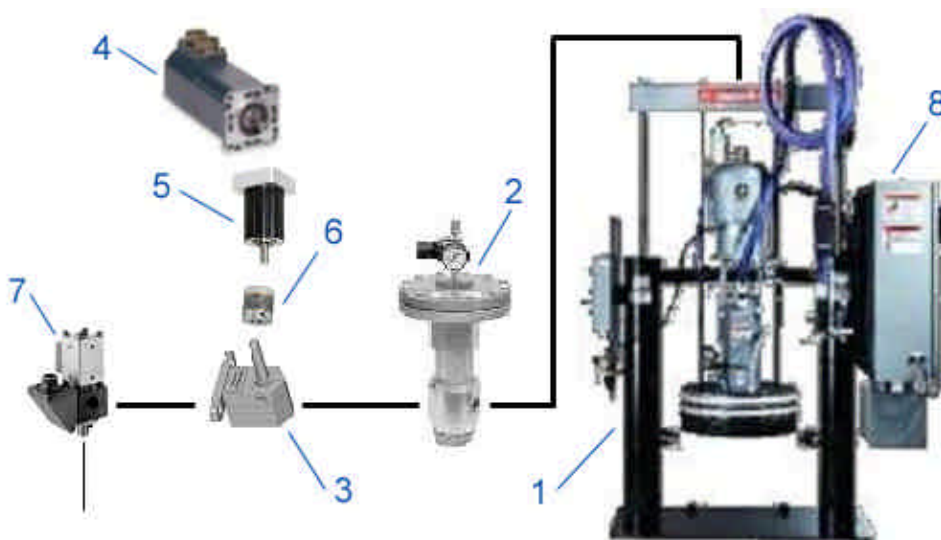


Figura 2.109 Sistemas de bombeo y de dosificación de pur

Con estos sistemas se resuelven los puntos críticos correspondientes a las **condiciones de temperatura del pur** y a la **regulación de la dosificación del pur**, tanto del caudal como de la posición de éste en la dosificación del soporte sensor de lluvia.

2.5 INTERFAZ DE USUARIO

El interfaz entre el hombre y la máquina (“Human Machine Interface” o HMI) enlaza el mundo de la automatización con las exigencias individuales del operador. Los interfaces de usuario permiten el manejo y la visualización del proceso. De este modo es posible dominar el proceso, mantener plenamente operativa la máquina y la instalación, permitir la disponibilidad, aumentar la productividad...

Como el cliente ha fijado la marca comercial SIEMENS para el interfaz de usuario, se ha realizado un estudio entre los modelos de su gama de equipos HMI. Como resultado de éste, se han seleccionado dos modelos que permiten la comunicación de datos con el autómatas a través del puerto multipunto MPI. Las dos posibilidades de interfaces de usuario son las siguientes:

- una pantalla táctil (con puerto MPI integrado)
- un sistema basado en PC formado por un módulo de comunicación CP con formato PCI y un software. El módulo CP lleva implementada la función de comunicación en el “firmware” y de esta manera libera el PC de las tareas de comunicación. Este módulo de comunicación CP tiene formato PCI, con lo cual es posible añadir esta tarjeta al PC que forma parte del sistema de visión elegido anteriormente.

La Tabla 2.16 contiene todos los datos técnicos de los dos interfaces de usuario seleccionados.

Como se ha mencionado anteriormente, las dos opciones permiten realizar una comunicación de datos a través del interfaz multipunto MPI entre ellos y el autómatas de la serie S7-300 elegido para la automatización. El software ProTool/Pro Runtime ofrece y dispone de las mismas prestaciones y características que la pantalla táctil. La única diferencia es que éste requiere un PC. No obstante, en cuanto a precio la opción del módulo de comunicación CP5611 y el software ProTool/Pro Runtime resulta más económica que la pantalla táctil TP270-10. Esto permite aprovechar aún más el PC del sistema de visión, sin llegar ni mucho menos a saturar sus recursos, y así eliminar una segunda pantalla en la automatización en caso de utilizar la pantalla táctil. Por tanto, la opción de interfaz de usuario elegida para la automatización es el módulo de comunicación CP5611 y el software ProTool/Pro Runtime de la marca SIEMENS.



Figura 2.110 Módulo de comunicación CP5611 y software ProTool/Pro Runtime de SIEMENS



INTERFAZ DE USUARIO		
Marca	SIEMENS	SIEMENS
Modelo	TP270-10	CP5611 + ProTool/Pro Runtime
Tamaño pantalla	10,4"	-
Tipo monitor	LCD (QVGA / VGA)	VGA o SVGA
Resolución máx. (píxeles)	640x480	640x480 o 800x600
Colores	256	-
Pantalla MTBF	≈60.000	-
Elementos de mando	Pantalla táctil	-
Entrada numérica / alfanumérica	sí / sí	sí / sí
Procesador	CPU RISC	Pentium II 233 MHz o Pentium III 500 MHz
Sistema operativo	Windows CE	Windows 98, NT o XP
Tipo memoria	Flash	Disco duro
Memoria para datos de usuario (kb)	2048	-
Variables	2048	128/256/512/2048
Interfaces serie	2xRS232, 1xRS422/RS485	1xRS232, 1xRS422/RS485
Procesador de comunicaciones	MPI	MPI
Velocidad de transmisión (kbits/s)	9,6 ~ 12.000	9,6 ~ 12.000
Slot compact flash	Sí	-
Puerto USB	Sí	-
Conexión con PLC	S5, S7-200/300/400, WinAC, Allen Bradley (DF1), Mitsubishi (FX), Telemecanique Modicon (MODBUS), otros PLCs no Siemens	
Tensión alimentación (Vdc)	18 ~ 30	5
Potencia (W)	15	2
Batería de respaldo (Vdc)	3,6	-
Reloj	hardware respaldado y sincronizado	-
Temperatura trabajo (°C)	0 ~ 50	5 ~ 40
Humedad (%)	≤90	<95
Configuración de montaje	Panelable	slot PCI
Dimensiones AlxAnxP(mm)	248 x 310 x 59	120x130x15
Grado protección	IP65	-
Peso (kg)	4,5	0,1
Precio (con IVA)	1.967,34 €	1.129,76 €

Tabla 2.16 Características de las interfaces de usuario seleccionados

3 IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DE LA AUTOMATIZACIÓN

Este capítulo ofrece una visión global de la integración de cada uno de los sistemas y componentes que forman la automatización, y la interrelación existente entre todos ellos.

Tal y como se ha comentado en el capítulo anterior, la automatización del proceso de ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en parabrisas de automóviles está formada básicamente por una aplicación de automatización, una aplicación de robótica, una aplicación de un sistema de visión artificial industrial y una aplicación de control de ejes de movimiento.

Además, también se detalla el montaje, el ajuste y la programación de cada uno de los equipos.

Del mismo modo, se incluye, también la descripción, de forma general, del funcionamiento de cada uno de ellos.

Finalmente, se incluye el diagrama de flujo en el que se puede observar el flujo de los programas de los equipos y su interrelación en la automatización.

Tal y como se ha comentado en los capítulos precedentes, la automatización consta de diversos equipos conectados entre si, tal y como muestra la Figura 3.1.

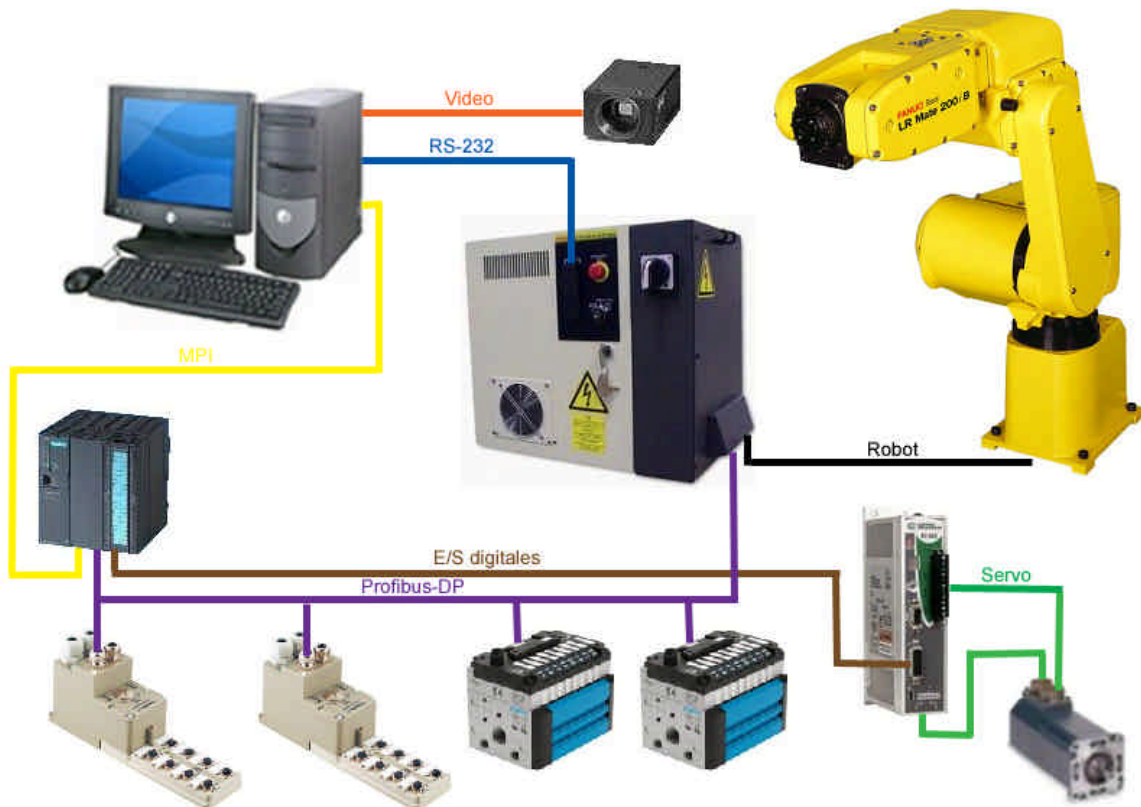


Figura 3.1 Interconexión de los diferentes equipos de la automatización

3.1 ROBOT Y CONTROLADOR

El robot tiene por objetivo coger el soporte del sensor de lluvia del presentador de soportes, dosificarlo y ensamblarlo en el parabrisas en la posición corregida por el sistema de visión artificial.

En la fase de montaje se realizan los siguientes pasos:

- ✓ instalación del robot LR Mate 200/B
- ✓ instalación del controlador R-J3/B Mate
- ✓ cableado señales de seguridad (habilitación accionamientos robot)
- ✓ alimentación del controlador
- ✓ conexión del controlador con el robot
- ✓ conexión del bus Profibus-DP al módulo Profibus-DP del robot

En la fase de ajuste se realizan los siguientes pasos:

- ✓ Ajuste de la dirección del módulo Profibus-DP del robot con la dirección 7 y la velocidad de transmisión del interfaz Profibus-DP a 1,5 MB/s
- ✓ Selección de señales de sistema para el control y supervisión del estado del robot como:
 - estado del robot
 - carga del programa
 - parámetros de ciclo
 - órdenes
 - respuestas
 - errores
- ✓ Configuración de señales de sistemas y de datos en el interfaz Profibus-DP para la comunicación con el PLC

En la fase de programación se realizan los siguientes pasos con la consola de programación TP:

- ✓ Configuración de la herramienta
Cada vez que se graba un punto del robot, éste se representa en coordenadas cartesianas y/o en grados. Las cotas grabadas en coordenadas cartesianas son las del TCP ("Tool Center Point" o Punto Central de la Herramienta) respecto del origen del sistema de coordenadas cartesianas activo en ese momento y elegido previamente (World o base del robot por defecto). El TCP por defecto corresponde al punto central del eje de giro del 6º eje y recibe el nombre de "Tool0".

No obstante, se ha colocado una herramienta en el robot para coger el soporte del sensor de lluvia. Esta herramienta no es más que una pinza que agarra el soporte. Por tanto, se crea un nuevo "Tool" para desplazar el TCP al centro de la pinza, que corresponde con el centro del soporte del sensor de lluvia. De esta manera, los puntos del robot memorizados contienen las coordenadas cartesianas del TCP de la pinza respecto del origen del sistema de coordenadas cartesianas activo en ese momento y el robot orientará el soporte pivotando sobre este TCP de la pinza, el cual se memoriza con el nombre "Tool1_pinza".

- ✓ Configuración de los sistemas de coordenadas o marcos de trabajo
El robot dispone por defecto de un sistema de coordenadas llamado World. Es un sistema de coordenadas cartesianas, tridimensional, estático y universal, cuyo

origen se encuentra en un punto conceptual, no físico, sobre el robot y localizable en la base del mismo, sobre el eje de giro del 1^{er} eje. Es un sistema definido, de fábrica, por el propio software, fijo e inamovible. Es el origen para todo movimiento cartesiano. Al mover el robot, éste se mueve y gira el TCP sobre las direcciones del sistema de coordenadas World (por defecto). El robot mueve sus ejes para mantener la linealidad del TCP de la herramienta.

No obstante, se pueden definir nuevos sistemas de coordenadas "User", los cuales reciben el nombre de "User Frames" (Marcos de trabajo del usuario). Estos son sistemas de coordenadas cartesianas, tridimensionales y cuyos orígenes vienen definidos por el usuario. El TCP se mueve y reorienta en base a este sistema siempre que se seleccione el "Uframe" correspondiente. Se utiliza para memorizar todas las posiciones con este sistema de coordenadas para una parte del programa en el cual se trabaja en un plano concreto.

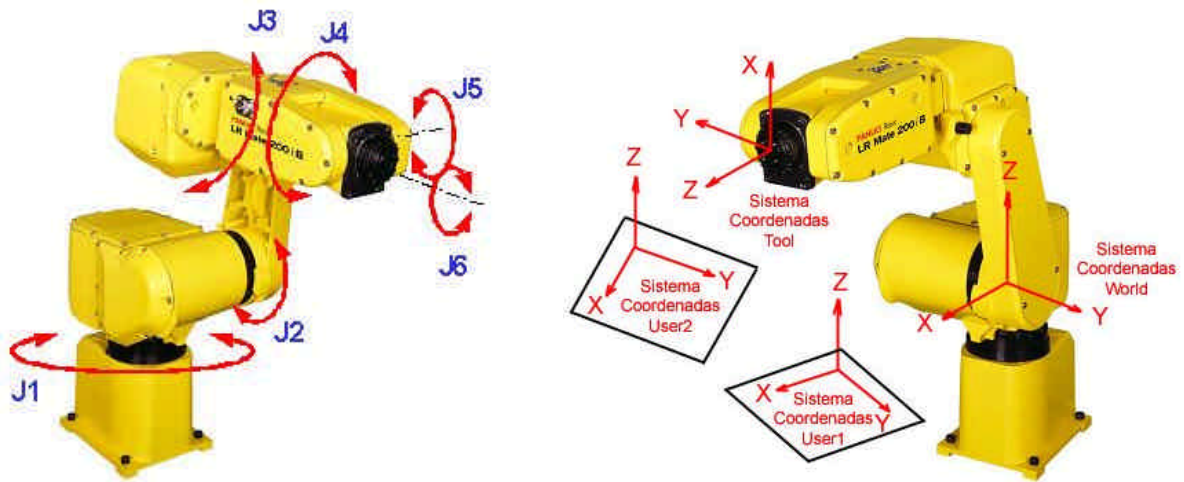


Figura 3.2 Ejes del robot LR Mate 200iB Mate y sistemas de coordenadas

También se dispone de otro sistema de coordenadas "Tool", los cuales reciben el nombre de "User Tool". Estos son sistemas de coordenadas cartesianas, tridimensionales y cuyos orígenes son definidos por el usuario. El TCP se mueve y gira en base a este sistema de coordenadas cartesianas sobre la herramienta. No se debe confundir con el "Tool", es decir, éste define la herramienta que se usa en un determinado momento y el "UTool" mueve el TCP del robot en dirección x, y, z y gira sobre x(w), y(p) y z(r) en el marco "UTool" de la herramienta seleccionada. Por defecto el "UTool" del robot es el "UTool0"

Mientras no se selecciona ningún sistema de referencia de usuario las posiciones del TCP se referirán al sistema de coordenadas "Uframe0" que no es otro que el "World" del robot.

En la Figura 3.2 se muestra los seis ejes del robot y los sistemas de coordenadas "World", "Tool" (corresponde al "UTool0") y varios "User" con el fin de representar gráficamente lo mencionado anteriormente.

- Marco de trabajo del presentador llamado "Uframe Present"
 - Marco de trabajo de dosificación llamado "Uframe Dosif"
 - Marco de trabajo del plano correspondiente a la zona de la ventana sin serigrafía del parabrisas llamado "Uframe Ventana"
- Definir un "frame" o "marco de trabajo" correspondiente al plano de la ventana sin serigrafía del parabrisas para mantener paralelismo del desplazamiento de la herramienta con este plano. Este frame debe a su vez coincidir con los ejes X e Y de la cámara

No se define ningún nuevo marco de trabajo “UTool”, ya que, el “UTool0” ya es válido al ser la herramienta del robot, y por tanto, el soporte del sensor de lluvia paralelo a la brida del robot (6º eje).

- ✓ Grabación de puntos:
 - secuencia de programa
 - rutina “Recoger soporte”
 - rutina “Dosificar soporte”
 - rutina “Visión” con la llamada al proceso sistema de visión “ProcVis_ventana”
 - rutina “Ensamblaje soporte” según punto corrección visión artificial:
 - ensamblaje mediante desplazamiento con sistema de coordenadas “UTool0”
 - control de par mediante software “Torque Limit”
 - temporización de la presión de ensamblaje del soporte del sensor de lluvia contra el parabrisas, apertura pinza y retirada herramienta con desplazamiento con sistema de coordenadas “UTool0”
 - rutina “Home”

El funcionamiento del robot es el siguiente:

El robot coge el soporte del sensor de lluvia del presentador de soportes. Seguidamente, se dirige a la zona de dosificación. Se realiza la dosificación de pur del soporte con los parámetros de robot especificados, como son el retardo en el desplazamiento del robot al inicio de la dosificación, la velocidad del robot durante la dosificación (control de cantidad de pur en el soporte), longitud (inicio y fin del cordón de pur) y colocación (posición del cordón de pur) del poliuretano con respecto al soporte.

Una vez se dosifica el soporte, el robot se dirige a la zona de ensamblaje. Llama al proceso de visión “ProcVis_ventana” y espera la respuesta del sistema de visión. Cuando recibe la localización (X e Y) y la rotación (r) de la ventana sin serigrafía ensambla el soporte en la posición correcta del parabrisas. El robot se acerca al parabrisas, detecta el contacto con este y avanza ligeramente para que el soporte ejerza una presión especificada (parámetros del software “Torque Limit”) contra el parabrisas y el pur se extienda por el soporte.

Después del ensamblaje el robot se retira del parabrisas y se dirige a su posición de “Home” donde se detiene.

3.2 SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL INDUSTRIAL

El sistema de visión artificial industrial tiene por objetivo reconocer y localizar la ventana sin serigrafía del parabrisas a partir de un patrón de ventana sin serigrafía previamente aprendido.

En la fase de montaje se realizan los siguientes pasos:

- ✓ instalación de la cámara JAI CV-A50 a la distancia de trabajo de 487 mm respecto de la ventana sin serigrafía
- ✓ colocación de la óptica FUJINON HF50HA-1 y el anillo de extensión en la cámara. Enroscar la óptica de rosca C en la montura C de la cámara y colocar entre medio el anillo de extensión
- ✓ instalación del “frame grabber” PC Vision de CORECO IMAGING en el “slot” PCI 0 del PC
- ✓ instalación del software y “drivers” del sistema de visión artificial FANUC V-500i en el PC para el control del “frame grabber”
- ✓ conexión de la mochila de licencia del sistema de visión en el puerto paralelo del PC
- ✓ conexión de la alimentación de la cámara
- ✓ conexión de la salida de video de la cámara al “frame grabber” del PC

En la fase de ajuste se realizan los siguientes pasos:

- ✓ ajuste de la óptica
 - ajuste de la apertura del diafragma o iris para obtener una imagen bien contrastada. Una vez ajustado, se fija el diafragma mediante su tornillo de fijación
 - ajuste del enfoque para obtener una imagen de la ventana sin serigrafía bien enfocada, es decir, bien definida. Una vez ajustado, se fija el enfoque mediante su tornillo de fijación
- ✓ orientación de la cámara para colocarla lo más paralela posible al plano de la ventana sin serigrafía. Una vez realizado, se fija fuertemente la cámara para asegurar que no se pueda mover
- ✓ ajuste de posición de la cámara para centrar la ventana sin serigrafía en el área de visión. Una vez realizado, se fija fuertemente la cámara para asegurar que no se pueda mover
- ✓ reajuste de la óptica, tanto de la apertura del diafragma como del enfoque
- ✓ ajuste de la configuración regional del Windows a inglesa, ya que la interfaz GUI de programación trabaja con formato inglés, es decir, el símbolo decimal es el punto

En la fase de programación se realizan los siguientes pasos en la interfaz GUI del sistema V-500i:

- ✓ Calibración del sistema
Se establece una relación entre píxeles y milímetros. La calibración se realiza mediante la marca de dos puntos de referencia en la imagen tomada por la cámara en la interfaz GUI. Estos puntos deben estar lo más alejados posible dentro del área de visión con el fin de obtener una mayor resolución y poder realizar una calibración lo más exacta posible. A continuación, se tocan esos dos mismos puntos con el TCP de la herramienta del robot “Tool1_pinza” y se introducen en la interfaz GUI los valores de X y de Y del TCP anterior con el

sistema de coordenadas "World". Automáticamente se obtiene el valor de escala entre milímetros y píxeles. La calibración se finaliza creando un fichero de calibración con el nombre "Calib_ventana"

- ✓ programación del proceso de visión:
 - definir el patrón de la ventana sin serigrafía mediante la herramienta de localización. Esta herramienta es un procesado de imagen para reconocer y localizar la ventana sin serigrafía en la imagen. Para definir el patrón, primero se dibuja un rectángulo que engloba la ventana sin serigrafía. El sistema reconoce el patrón y marca el punto central de la ventana sin serigrafía. El fichero que contiene el patrón se guarda en la herramienta de localización como "Pat_ventana"
 - ajuste del reconocimiento de la ventana sin serigrafía. En este punto se parametrizan los ajustes de reconocimiento de la ventana sin serigrafía como:
 - número de objetos a reconocer: como tan sólo existe una ventana sin serigrafía por parabrisas, el número de objetos es 1
 - aceptación: especifica la similitud mínima, en tanto por ciento, entre la ventana sin serigrafía capturada y la correspondiente al patrón. Debido a la doble curvatura del parabrisas la silueta de la ventana sin serigrafía puede presentar deformaciones, por lo que el valor de aceptación se fija en un 75%. Gracias a este parámetro, la influencia del punto crítico de la **profundidad de ensamblaje o coordenada Z** en el sistema de visión no afecta. Si la aceptación de una ventana sin serigrafía capturada está por debajo de este valor, el sistema no la reconoce porque la doble curvatura del parabrisas en la zona de la ventana sin serigrafía es errónea
 - área de búsqueda: permite especificar el área en la cual puede aparecer la ventana sin serigrafía. Por defecto, es todo el área de visión, es decir, en el interfaz es de 640x480 píxeles
 - ángulo de búsqueda: permite especificar el rango de rotación en grados que puede presentar la ventana sin serigrafía. Debido al decalaje de la serigrafía del parabrisas la silueta de la ventana sin serigrafía puede presentar rotaciones, por lo que el rango de búsqueda se fija en -5° a 5°. Gracias a este parámetro, la influencia del punto crítico del **offset de posición de la ventana sin serigrafía** en el sistema de visión no afecta. Fuera de este rango de rotación, el sistema no reconoce la ventana porque el decalaje de la serigrafía el parabrisas es defectuoso
 - tamaño de búsqueda: permite especificar el rango de tamaño, en tanto por ciento, que la ventana puede presentar debido a cambios de distancia entre la cámara y la ventana sin serigrafía. Debido a la doble curvatura del parabrisas la silueta de la ventana sin serigrafiar puede variar en tamaño (escalado), por lo que el tamaño de búsqueda se fija entre un 90% y un 110%. Gracias a este parámetro, la influencia del punto crítico de la **profundidad de ensamblaje o coordenada Z** en el sistema de visión no afecta. Si el tamaño de la ventana está fuera de este rango, por exceso o defecto, el sistema no la reconoce porque la doble curvatura del parabrisas provoca profundidad de ensamblaje superior a los 4 mm como máximo
 - configuración del proceso de visión, en él se selecciona:
 - el nombre del fichero de proceso como "ProcVis_ventana"
 - el fichero "Calib_ventana" como la calibración del sistema de visión a utilizar para el proceso de visión

- el fichero “Pat_ventana” como la herramienta de localización a utilizar para el proceso de visión
 - el tipo de comunicación vía serie RS-232 para comunicar con el controlador del robot. También se configuran los parámetros de comunicación:
 - velocidad = 9600 bps
 - número de bits de dato = 8 bits
 - paridad = par (odd)
 - bits de stop = 1 bit
 - el tipo de salida como la localización 2D (coordenadas X e Y) y la rotación de la ventana sin serigrafía
- ✓ comunicación con el robot. Se dispone de una tabla que permite asociar los siguientes parámetros:
- número de proceso de visión: se escoge el número 1.
 - nombre del proceso de visión: se escribe “ProcVis_ventana”
 - registro al que se envía el número de objetos encontrados, se selecciona el registro de robot R[10]
 - registro de posición al que se envían las coordenadas de la ventana sin serigrafía y su rotación: se selecciona el registro de posición del robot PR[10]

El funcionamiento del sistema de visión es el siguiente:

El robot escribe un -1 en el registro R[10] y realiza la llamada del proceso de visión 1 que corresponde al “ProcVis_ventana”. El sistema de visión captura la imagen de la ventana sin serigrafía y genera una imagen “bitmap” con los puntos de luz de la imagen con una resolución de 8 bits. O sea, se realiza un análisis de la imagen por puntos (640x480 píxeles), en el que cada punto puede obtener un valor entre 0 y 255, según la intensidad de la luz que indica el píxel.

Una vez obtenido este bitmap, el sistema de visión, genera internamente trazados mediante algoritmos, con el fin de reconocer la ventana sin serigrafía.

Después de identificarla, se compara con la ventana sin serigrafía del patrón y se determinan los valores de número de objetos a reconocer, aceptación, área, ángulo y tamaño de búsqueda. A continuación comprueba los valores obtenidos con los anteriormente fijados en “ProcVis_ventana”.

Si todos los valores de estos parámetros son correctos, se realiza el cálculo de posición de la ventana de serigrafía y se envía el número de objetos encontrados (siempre es 1), su localización y su orientación a los registros R[10] y PR[10] respectivamente.

El robot después de llamar al proceso de visión “ProcVis_ventana” espera a que el registro R[10] sea diferente de -1, concretamente 1, para realizar el ensamblaje del soporte del sensor de lluvia. Si éste registro vale 0 significa que el sistema no ha reconocido ninguna ventana sin serigrafía según las condiciones establecidas en el proceso de visión “ProcVis_ventana”.

3.3 AUTÓMATA (PLC)

El autómata tiene por objetivo controlar y gestionar toda la automatización, mediante el control, procesamiento y supervisión de las señales de entradas/salidas de todos los otros componentes o equipos integrantes de la automatización.

En la fase de montaje se realizan los siguientes pasos:

- ✓ alimentación del autómata
- ✓ conexión de todas las señales de entradas y salidas digitales
- ✓ alimentación de las dos bases concentradoras de señales de entradas digitales SAI HP DP 16DI de WEIDMÜLLER
- ✓ alimentación de los dos bloques de electroválvulas CPV14-VI de FESTO
- ✓ Conexión del bus Profibus-DP mediante la interconexión de cada módulo: puerto Profibus-DP integrado en la CPU, dos bases concentradoras de señales de entradas digitales, dos bloques de electroválvulas y módulo Profibus-DP robot

En la fase de ajuste se realizan los siguientes pasos:

- ✓ ajuste de las direcciones y velocidad de transmisión de los equipos conectados mediante el bus Profibus-DP. La velocidad de transmisión del interfaz Profibus-DP es de 1,5 MB/s para una longitud de bus inferior a 20 metros. La dirección de los equipos se selecciona de la siguiente manera:
 - el puerto Profibus-DP integrado en la CPU con la dirección 2
 - la primera base concentradora de señales de entrada con la dirección 3
 - la segunda base concentradora de señales de entrada con la dirección 4
 - el primer bloque de electroválvulas con la dirección 5
 - el segundo bloque de electroválvulas con la dirección 6
 - el módulo Profibus-DP del robot con la dirección 7
- ✓ ajuste de las direcciones y la velocidad de transmisión de los equipos conectados mediante el interfaz MPI a 1,5 MB/s. La dirección de los equipo es la siguiente:
 - el puerto MPI integrado en la CPU con la dirección 2
 - el puerto MPI del módulo CP6511 con la dirección 1

En la fase de programación del autómata se realizan los siguientes pasos:

- ✓ configuración del bus Profibus-DP
- ✓ configuración de la red MPI
- ✓ programación del autómata
- ✓ carga de las configuraciones y del programa en el autómata

Por tanto y a modo de resumen, el autómata controla y gestiona toda la automatización de la siguiente manera:

- controla las E/S digitales integradas en la CPU como las del accionamiento del servomotor del eje dosificador y otras señales dentro del armario eléctrico
- a través del bus Profibus-DP se realiza la comunicación de proceso para el control de las E/S digitales de la periferia descentralizada e intercambia datos con el robot, que son órdenes del PLC al robot e información del robot al PLC
- a través del puerto multipunto MPI se produce la comunicación de datos para obtener los valores de variables de proceso introducidos en el sistema HMI y enviar información del proceso al sistema HMI o interfaz de usuario

3.4 EJE DOSIFICADOR

El eje dosificador tiene por objetivo el accionamiento de la bomba de engranajes para dosificar el soporte del sensor de lluvia con un caudal de pur constante.

En la fase de montaje se realizan los siguientes pasos:

- ✓ cableado del accionamiento, conexionado de las mangueras de potencia y del codificador del servomotor, y las señales de E/S digitales
- ✓ conexionado en el servomotor de los conectores de las mangueras de potencia y del codificador
- ✓ alimentación del accionamiento

En la fase de ajuste desde el interfaz de programación Emerson Control Techniques Power Tools-FM se realizan los siguientes pasos:

- ✓ selección accionamiento y servomotor utilizados
- ✓ ajuste del límite de velocidad de giro del servomotor a un 30% de la velocidad nominal
- ✓ ajuste del límite de par del servomotor a un 45% del par nominal
- ✓ selección de operación en modo velocidad y submodo preselección
- ✓ ajuste y preselección de velocidad de trabajo, aceleración y deceleración
- ✓ asignación de funciones a E/S digitales

El funcionamiento del eje dosificador es el siguiente:

El PLC controla el dosificado mediante las entradas y salidas digitales (“run” y “stop”). El robot posiciona el soporte del sensor de lluvia debajo de la válvula dosificadora e indica al PLC de ello. En este momento, se produce un sincronismo de funcionamiento entre el robot, el accionamiento de la bomba de engranajes y la válvula dosificadora para realizar el proceso de dosificación de pur en el soporte del sensor de lluvia.

3.5 PC

El PC tiene por objetivo realizar funciones de sistema de visión y de actuar como interfaz de usuario. En cuanto a las funciones de sistema de visión realiza la digitalización de la imagen de la ventana sin serigrafía y el procesado de la misma utilizando el software del sistema de visión.

En la fase de montaje se realizan los siguientes pasos:

- ✓ instalación del frame grabber PC Vision de CORECO IMAGING en el “slot” PCI 0 del PC
- ✓ instalación del módulo de comunicación CP6511 de SIEMENS en el “slot” PCI 1 del PC
- ✓ instalación del PC
- ✓ conexión de periféricos al PC, como teclado, ratón y monitor
- ✓ alimentación del PC y del monitor
- ✓ instalación del software y “drivers” del sistema de visión artificial FANUC V-500i en el PC para el control del “frame grabber”
- ✓ conexión de la mochila de licencia del sistema de visión en el puerto paralelo del PC
- ✓ instalación del software ProTool/Pro Runtime de SIEMENS y “drivers” del módulo de comunicación
- ✓ conexión del cable de comunicación MPI entre el autómatas y el módulo de comunicación

En la fase de ajuste se realizan los siguientes pasos:

- ✓ ajuste de la configuración regional del Windows a inglesa, ya que la interfaz GUI de programación trabaja con formato inglés, es decir, el símbolo decimal es el punto
- ✓ ajuste de la dirección del módulo de comunicación con la dirección 1 y la velocidad de transmisión del interfaz MPI a 1,5 MB/s

En la fase de programación referente a las funciones de sistema de visión que afectan al PC han sido descritas el capítulo **3.2 SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL INDUSTRIAL**.

En la fase de programación del interfaz de usuario se realizan los siguientes pasos:

- ✓ creación de pantallas del interfaz de usuario
- ✓ selección de las variables de entrada y de salida del autómatas
- ✓ contraseñas del interfaz de usuario

El funcionamiento de las funciones de visión artificial realizadas por el PC han sido descritas en el capítulo **3.2 SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL INDUSTRIAL**

El funcionamiento de la interfaz de usuario es el siguiente:

El interfaz de usuario permite el manejo y la visualización del proceso, es decir, se realizan cambios en las variables de la automatización y se visualiza el estado de ésta. A través del puerto multipunto MPI se realiza la comunicación de datos para obtener los valores de variables de proceso introducidos en el sistema HMI y enviar información del proceso al sistema HMI o interfaz de usuario.

3.6 DIAGRAMA DE FLUJO

A continuación se muestra el diagrama de flujo de la automatización correspondiente a la Figura 3.3 (parte 1 y 2). En él se especifican las funciones o partes del proceso de ensamblaje que se realizan automáticamente y las que se llevan a cabo de forma manual. También se indican los fallos o errores que se pueden producir durante el proceso automático de ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en parabrisas de automóviles.

El funcionamiento de la automatización se ha explicado anteriormente para cada uno de los equipos que la forman.

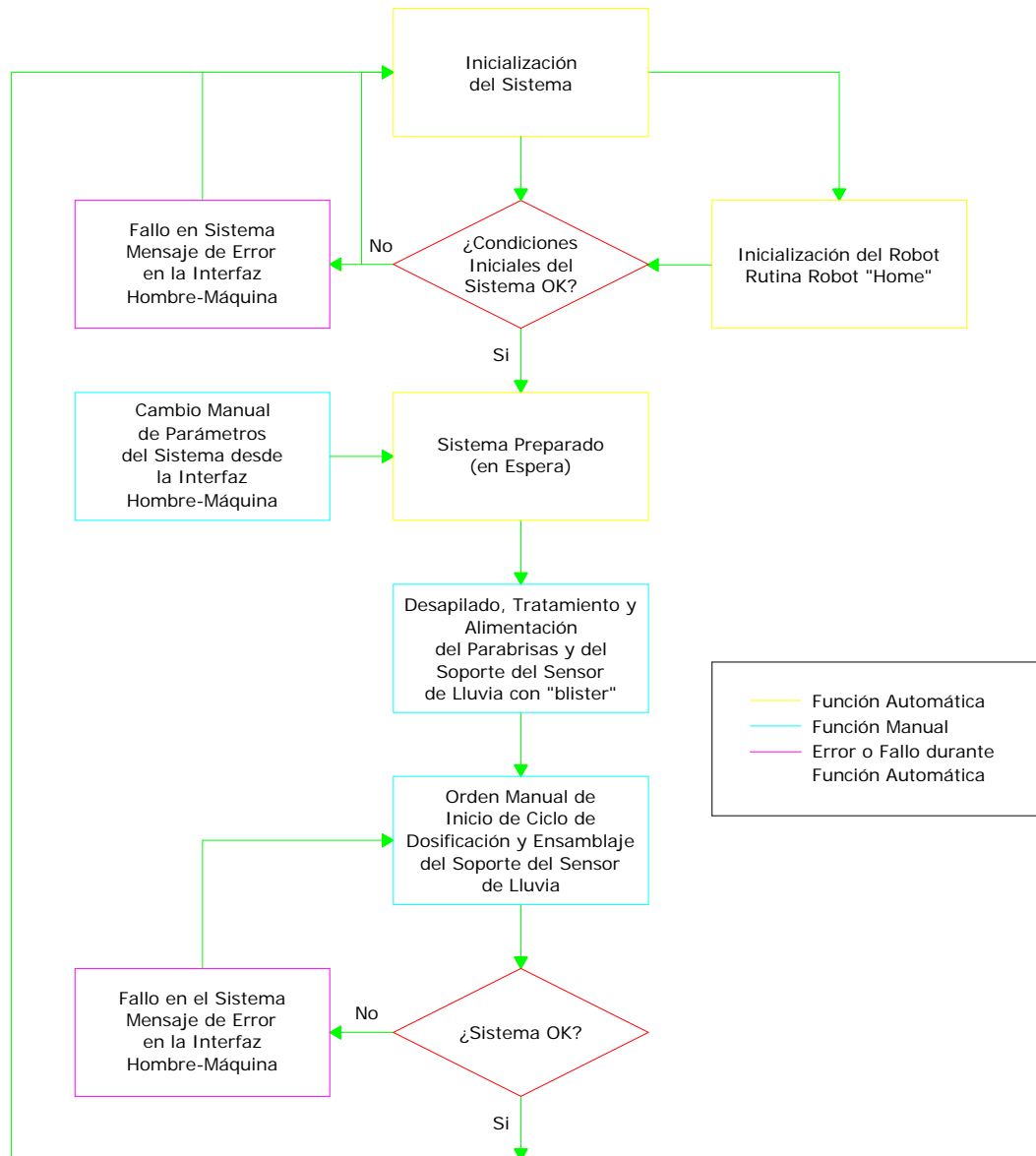


Figura 3.3 Diagrama de flujo de la automatización (parte 1)

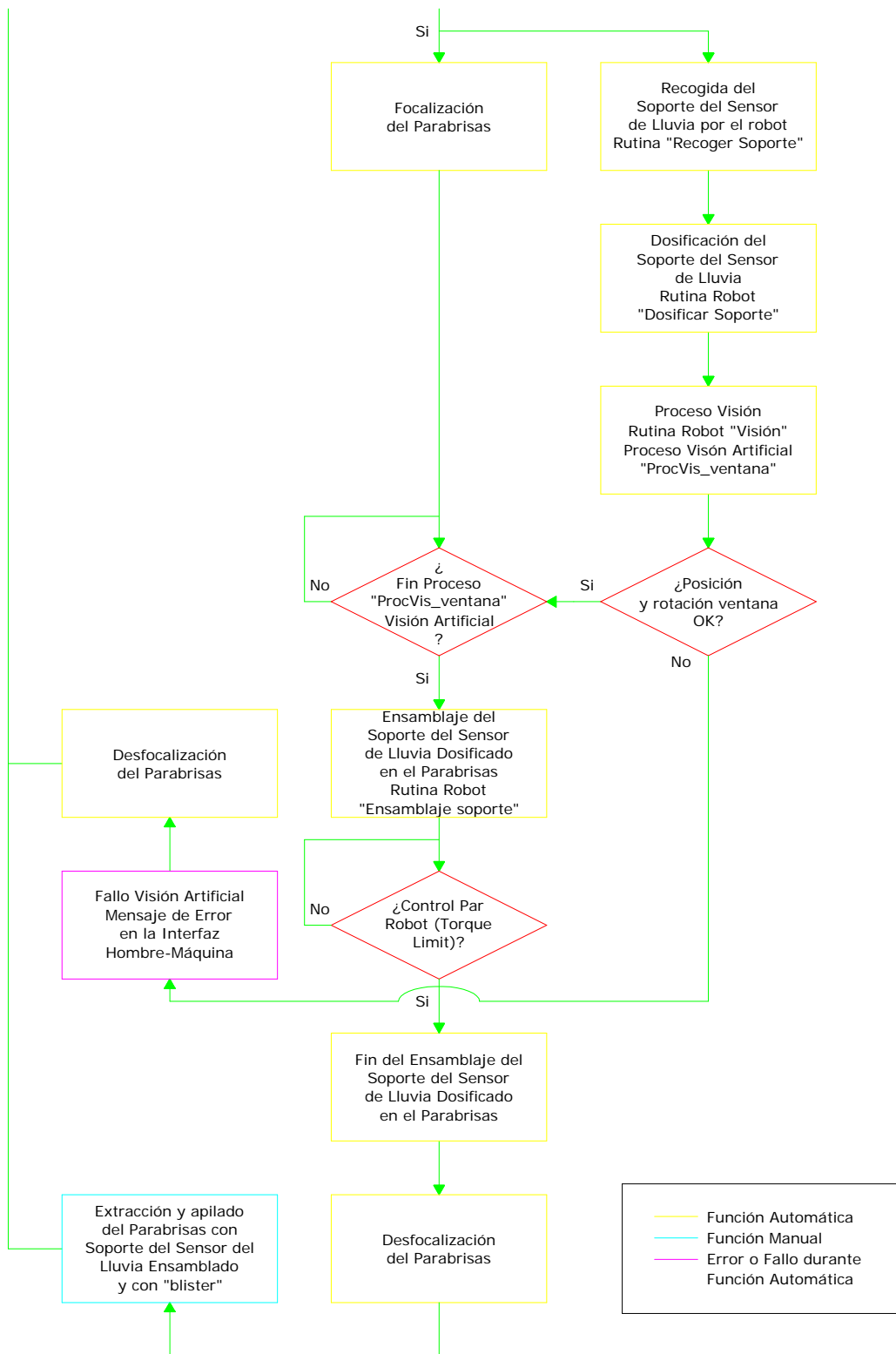


Figura 3.3 Diagrama de flujo de la automatización (parte 2)

Finalmente, se contrasta la capacidad de la automatización para el ensamblaje del soporte del sensor de lluvia. Para ello se recuerdan las especificaciones y tolerancias del ensamblaje, descritas en el capítulo 1.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CLIENTE. Éstas son:

- Tolerancias de posicionamiento y rotación del soporte respecto de la ventana sin serigrafía con valores de $\pm 0,5$ mm y $\pm 3^\circ$, respectivamente. Afectan al robot y al sistema de visión. Cuantitativamente resultan de la suma de errores de ambos sistemas, es decir, el error de repetibilidad del robot que es de $\pm 0,04$ mm más el error del sistema de visión valorado en 0,198 mm totales o $\pm 0,1$ mm. El error de posicionamiento y rotación de la automatización es entonces de $\pm 0,14$, lo que representa un error de tan sólo el 28% de la tolerancia permitida.
- Tolerancia de orientación del soporte: no existe un valor establecido, simplemente se menciona que el soporte ha de quedar lo más paralelo posible a la ventana sin serigrafía. Ésta orientación afecta únicamente al robot y mediante el software "Torque Limit" se resuelve sin mayores problemas, ya que el robot siempre presiona el vidrio.
- Especificaciones de rebose de pur: este aspecto afecta al robot y al sistema de dosificación, pero como se realiza un control de manera visual y dependen de los ajustes del usuario para cumplirlos, la automatización dispone de los parámetros pertinentes, por tanto, el cumplimiento es responsabilidad del usuario.
- Capacidad de agarre del soporte: afecta al robot, concretamente a la velocidad durante la dosificación, a la presión y tiempo de ensamblaje. Del mismo modo que el punto anterior, la automatización dispone de los parámetros necesarios para cumplir esta especificación, no obstante, es un ajuste de usuario.

Por último, los tiempos de ciclo del proceso de ensamblaje de las fases automatizadas y las fases manuales se incluyen en la Tabla 3.1.

Nº	FASE DEL PROCESO	TIEMPO (s)
1	Desapilado del parabrisas	7
2	Tratamiento del parabrisas	17
3	Tratamiento y protección del soporte	4
4	Dosificación del soporte	10
5	Ensamblaje del soporte	14
6	Embalaje del parabrisas	12
-	Otros trabajos* o imprevistos	5
Total Tiempo Empleado		69

(*) Cambios de palet, control de calidad...

Tabla 3.1 Tiempo de ciclo del proceso automatizado de ensamblaje

Según la Tabla 3.1 y en comparación con la Tabla 1.1 (página 16), el proceso de ensamblaje automatizado es un 30,3% más rápido que el manual. Esta comparación resulta un poco absurda si se recuerda que el proceso de ensamblaje manual no cumple con las especificaciones y, por tanto, es irrelevante.

Entonces el tiempo necesario para ensamblar los soportes del sensor de lluvia en 900 parabrisas sería de 17,25 horas (62.100 segundos), lo que sumado con el tiempo de descanso de un operario durante 3 turnos resultarían un total de 20,25 horas (72.900 segundos). Por tanto, basta con hacer 1 turno de 7 horas durante 5 días a la semana en lugar de 3 turnos, ensamblaje manual, ya que, resultan 35 horas. Como se observa el ahorro en cuanto a horas de mano de obra es significativo.

4 PRESUPUESTO

En este capítulo, más que el presupuesto de la automatización, se ofrece el coste total de la misma referente a materiales comerciales y horas de diseño de ingeniería, montaje y puesta a punto.

La utilización de un robot como equipo principal de la automatización requiere, previamente, un análisis económico para determinar de forma aproximada su viabilidad y rentabilidad. Cuando, además, el proyecto consiste en su mayor parte en la inclusión de material tecnológicamente avanzado o en la automatización de un proceso ya conocido, este análisis se convierte en imprescindible. Este es el caso de un proyecto de ingeniería en el que se utiliza como equipo principal un robot industrial.

Los beneficios sociales o lo avanzado de la tecnología a utilizar; aunque se consideren cuestiones importantes, son normalmente aspectos secundarios, pues el primer objetivo de cualquier empresa que acomete un proyecto de estas características es obtener un rendimiento económico, ya sea a corto o largo plazo.









A la hora de realizar un proyecto con robot existen dos posibles situaciones:

- que la aplicación que se requiere realizar sea de marcado carácter novedoso. En este caso, la inclusión de un robot es sólo una posibilidad entre diversas alternativas. Se deberán considerar todas y seleccionar la que resulte más beneficiosa según los criterios de inversión de la compañía. En este tipo de proyectos existe una dificultad añadida, pues al tratarse de una nueva aplicación muchos datos sobre el proceso no son conocidos de manera fiable, pudiéndose llegar a deducir conclusiones equívocas. Puede llegar a ser ciertamente compleja la evaluación económica y técnica en este tipo de proyectos si no se posee un conocimiento adecuado sobre la implantación de células robotizadas.
- la automatización de un método de operación que se realiza en buena medida de forma manual, con la inclusión de un robot. Este caso es más frecuente. En esta situación el análisis resulta más sencillo, pues los parámetros y tiempos de operación manual o robotizada son fácilmente comparables. Se podrá así mismo, realizar una comparación de costes y beneficios, encontrándose todos los factores de producción perfectamente delimitados.

Este segundo caso es el que concierne para poder tomar por una decisión final. Se debería realizar una comparación entre los tiempos de ciclo del proceso manual y de los tiempos pretendidos del proceso automatizado para determinar su viabilidad y rentabilidad. El tiempo de ciclo y horas de mano de obra necesaria para el proceso manual se detallan en el capítulo 1.5.4 Otras observaciones del cliente. Mientras que el tiempo de ciclo y horas de mano de obra pretendidos para el proceso automatizado se habían considerado un poco peores de los finalmente obtenidos y detallados en el capítulo 3.6 DIAGRAMA DE FLUJO. Debe reconocerse que esta comparación resulta inútil y no es necesaria realizarla por el simple hecho de que el proceso de ensamblaje manual es inviable al no poder cumplir las especificaciones de ensamblaje. De ello se desprende que la viabilidad de la utilización del robot es, además de correcta, totalmente necesaria. Y su rentabilidad en cuanto a uso del robot permite pasar las 27,75 horas en el proceso manual a las 20,25 horas en el proceso automatizado para la producción de 900 parabrisas ensamblados con el soporte de sensor de lluvia. Por tanto, teniendo en cuenta la inviabilidad del proceso manual, el coste de mano de obra cada día más elevado y el coste no

excesivamente desmesurado del robot, teniendo en cuenta su flexibilidad de aplicación, se puede considerar su rentabilidad suficientemente probada durante los 7 años de vida del modelo del vehículo.

Como resumen del coste de la inversión en materiales comerciales y en horas de diseño de la automatización para la implementación de la misma se detallan en la Tabla 4.1.

COMPONENTE	FABRICANTE	MODELO		PRECIO
APLICACIÓN DE ROBÓTICA				
Robot	FANUC Robotics	LR Mate 200iB		24.339,00 €
Controlador Robot		R-J3iB Mate		
Precio Total de la Aplicación de Robótica (IVA incluido)				24.339,00 €
SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL INDUSTRIAL				
Iluminación	CCS	LFL-4012		465,00 €
Cámara	JAI	CV-A50		421,00 €
Óptica	FUJINON	HF50HA-1		125,00 €
Frame grabber	CORECO IMAGING	PC Vision		350,00 €
Software	FANUC	V-500i		1.750,00 €
PC	DELL	Optiplex GX60		810,84 €
Precio Total del Sistema de Visión Artificial (IVA incluido)				3.921,84 €

APLICACIÓN DE CONTROL DE EJES DE MOVIMIENTO, SISTEMA DE BOMBEO Y DOSIFICACIÓN DE PUR				
Accionamiento	CONTROL TECHNIQUES	EPSILON Eb-203		716,88 €
Servomotor		55EZB500		417,60 €
Reductor	TECNO- POWER	MP 060/1/10/15		213,44 €
Acoplamiento de fuelle metálico	JACOB	KM12		40,15 €
Bomba de engranajes	POMTAVA	1109		180,00 €
Regulador de fluido de masilla	GRACO	532148		15.628,25 €
válvula dosificadora	GRACO	243695		
Bomba neumática y mangueras caleafactadas	GRACO	King 65:1		
Precio Total de la Aplicación del control de ejes de movimiento, Sistema de Bombeo y dosificación de PUR (IVA incluido)				17.196,32 €

APLICACIÓN DE AUTOMATIZACIÓN				
PLC	SIEMENS	S7-300 CPU 313C- 2 DP		1.276,69 €
Base concentradora E/S digitales	WEIDMÜLLER	SAI HP DP 16DI		682,78 €
Bloque electroválvulas	FESTO	CPV		1.864,60 €
Módulo de comunicación	SIEMENS	CP5611		528,09 €
Software	SIEMENS	ProTool/Pro Runtime		701,67 €
Precio Total de la Aplicación de Automatización (IVA incluido)				5.053,83 €
ARMARIO ELÉCTRICO				
Armario eléctrico	RITTAL	PC 8366.000		1081,82 €
PRECIO TOTAL de los MATERIALES COMERCIALES de la AUTOMATIZACIÓN				51.592,81 €
Coste mano de obra ingeniería (estudio, diseño y programación)		350 h	60 €	21.000 €
Coste mano de obra montaje eléctrico		150 h	36 €	5.400 €
Coste mano de obra puesta a punto y formación		100	60 €	6.000 €
COSTE TOTAL DE LA AUTOMATIZACIÓN				83.992,81€

Tabla 4.1 Coste de la automatización

5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] (Fuente online) “Limpiaparabrisas automático”. Disponible: <http://www.km77.com>
- [2] (Fuente online) “Sensor de lluvia”. Disponible: <http://www.motor.terra.es>
- [3] (Fuente online) “Car Electronic Modules”. Disponible: <http://www.donelly.com>
- [4] (Fuente online) “Sensores ópticos para coches”. Disponible <http://www.prnewswire.co.uk>
- [5] KUKA, “Robot range” (catálogo)
- [6] KUKA, “El mundo de los robots” (catálogo)
- [7] KUKA, “Control y software” (catálogo)
- [8] KUKA, “Especificaciones robot KR3” (catálogo)
- [9] KUKA, “Especificaciones robot KR6” (catálogo)
- [10] KUKA, “Controlador KR C2” (catálogo)
- [11] (Fuente online) “KUKA product information”. Disponible: <http://www.kuka.com>
- [12] ABB Robotics, “Robot Range” (catálogo)
- [13] ABB Robotics, “IRB 140” (catálogo)
- [14] ABB Robotics, “Controlador S4Cplus” (catálogo)
- [15] (Fuente online) “ABB Robotics product information”. Disponible: <http://www.abb.com/robotics>
- [16] FANUC Robotics, “Robot *i* series” (catálogo)
- [17] FANUC Robotics, “Robot LR Mate 200iB-iB/3L” (catálogo)
- [18] FANUC Robotics, “Controlador R-J3iB Mate” (catálogo)
- [19] (Fuente online) “FANUC Robotics product information”. Disponible: <http://www.fanucrobotics.es>
- [20] REIS Robotics, “Product range” (catálogo)
- [21] REIS Robotics, “Data sheet RV 4” (catálogo)
- [22] REIS Robotics, “Unidad de control ROBOTStarIV” (catálogo)
- [23] (Fuente online) “REIS Robotics product information”. Disponible: <http://www.reisrobotics.com>
- [24] MOTOMAN Robotics, “Rango de robots” (catálogo)
- [25] MOTOMAN Robotics, “Robot Industrial MOTOMAN-SV3X” (catálogo)
- [26] MOTOMAN Robotics, “Controlador XRC” (catálogo)
- [27] (Fuente online) “MOTOMAN Robotics product information”. Disponible: <http://www.motoman.com>
- [28] STÄUBLI, “Robot Range” (catálogo)

- [29] (Fuente online) “STÄUBLI product information”. Disponible: <http://www.staubli.com>
- [30] MITSUBISHI Electric, “MELFA series” (catálogo)
- [31] (Fuente online) “MITSUBISHI Electric product information”. Disponible: <http://www.mitsubishi-automation.com>
- [32] (Fuente online) “Vision”. Disponible: <http://www.visioncom.com>
- [33] (Fuente online) “Vision&control”. Disponible: <http://www.visioncontrol.com>
- [34] (Fuente online) CCS, “CCS product information”. Disponible: <http://www.ccs.com>
- [35] (Fuente online) “VGA”. Disponible: <http://www.vgaweb.com>
- [36] (Fuente online) “FUJINON fixed focal lens”. Disponible: <http://www.fujinon.com>
- [37] (Fuente online) “SENCO fixed focal lens”. Disponible: <http://www.senco.com>
- [38] (Fuente online) “PENTAX fixed focal lens”. Disponible: <http://www.pentax.com>
- [39] (Fuente online) “KOWA Fixed focal lens”. Disponible: <http://www.kowa.com>
- [40] (Fuente online) “COMPUTAR Fixed focal lens”. Disponible: <http://www.cbcamerica.com>
- [41] (Fuente online) “SIEMENS product information”. Disponible: <http://www.siemens.com>
- [42] (Fuente online) “WEIDMÜLLER product information”. Disponible: <http://www.weidmuller.com>
- [43] (Fuente online) “FESTO product information”. Disponible: <http://www.festo.com>
- [44] (Fuente online) “DVT product information”. Disponible: <http://www.dvtsensors.com>
- [45] DVT, “Legend series” (catálogo)
- [46] ICP ELECTRONICS, “ICP ELECTRONICS LCD monitor” (catálogo)
- [47] (Fuente online) “GRACO product information”. Disponible: <http://www.graco.com>
- [48] (Fuente online) “CONTROL TECHNIQUES product information”. Disponible: <http://www.controltechniques.com>
- [49] (Fuente online) “DELL product information”. Disponible: <http://www.dell.com>
- [50] (Fuente online) “RITTAL product information”. Disponible: <http://www.rittal.com>
- [51] (Fuente online) “CORECO IMAGING product information”. Disponible: <http://www.corecoimaging.com>
- [52] (Fuente online) “IMAGENATION product information”. Disponible: <http://www.imagenation.com>
- [53] (Fuente online) “JAI product information”. Disponible: <http://www.jai.com>
- [54] (Fuente online) “SONY product information”. Disponible: <http://www.sony.co.jp>

- [55] (Fuente online) "HITACHI product information". Disponible: <http://www.hitachi.com>
- [56] (Fuente online) "PULNIX product information". Disponible: <http://www.pulnix.com>
- [57] (Fuente online) "PELCO product information". Disponible: <http://www.pelco.com>
- [58] (Fuente online) "Información de producto de TECNOPOWER product information". Disponible: <http://www.tecnopower.es>
- [59] (Fuente online) "POMTAVA product information". Disponible: <http://www.pomtava.com>
- [60] (Fuente online) "SCHOTT-FOSTEC product information". Disponible: <http://www.schott-fostec.com>
- [61] (Fuente online) "STOCKERYALE product information". Disponible: <http://www.stockeryale.com>