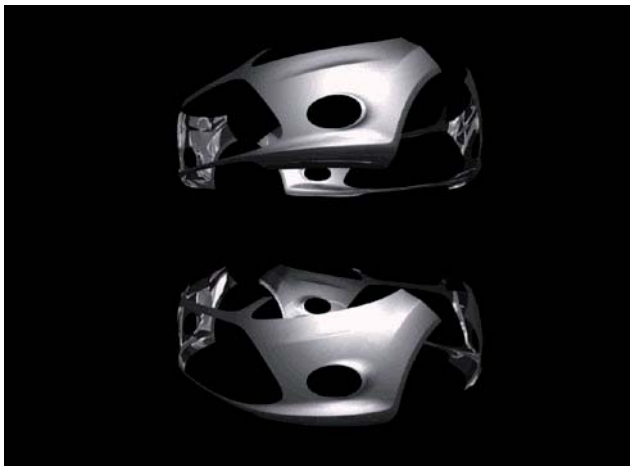
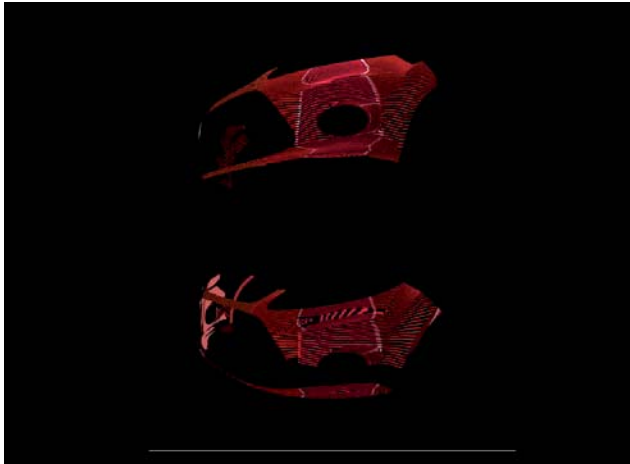




INSTITUTO  
DE DISEÑO Y  
FABRICACIÓN  
automoción



# CONTROL DE CALIDAD MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL



## VISIÓN POR COMPUTADOR

La visión por computador persigue la correcta adquisición e interpretación de la información visual adquirida por las cámaras, en áreas tales como: máquinas-herramienta, medicina, análisis de documentos, navegación autónoma, teleoperación de robots, etc..

Dentro de la visión por computador se contemplan los dispositivos de adquisición de imágenes, los computadores y los algoritmos encargados del procesamiento.

Actualmente, los sistemas de visión se usan en inspección de productos tan dispares como: circuitos electrónicos, soldaduras, productos cerámicos, madera, ropa, piedra; así como productos pintados o tratados.

La Visión Activa, cámaras movidas por máquinas o robots, está adquiriendo una gran relevancia en las tareas de inspección debido a su eficiencia y flexibilidad. Esto, unido a la posibilidad de utilizar ópticas de distancias focales distintas, permiten la inspección tanto de macroobjetos como de micropartículas.

En una planta de pintura típica, además de la aplicación de las pinturas y lacas, se suelen

dar operaciones de sellado y encerado, cara a proteger el metal de corrosiones.

Los defectos, si los hay, suelen originarse por pequeñas partículas que, con la superposición de sucesivas capas, incrementan su tamaño y visibilidad, dando lugar a defectos inadmisibles desde un punto de vista de calidad, lo que origina un rechazo del producto.

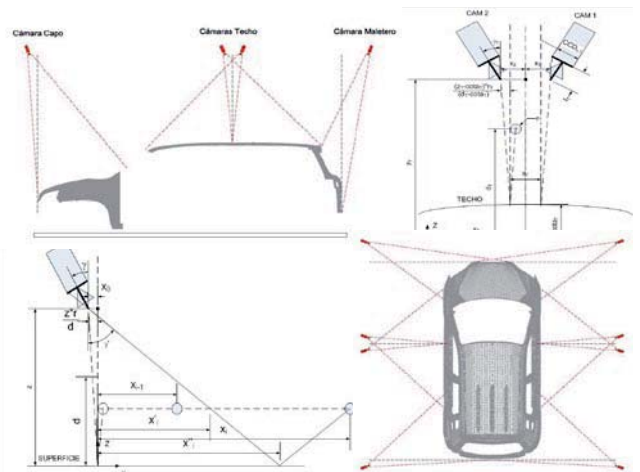
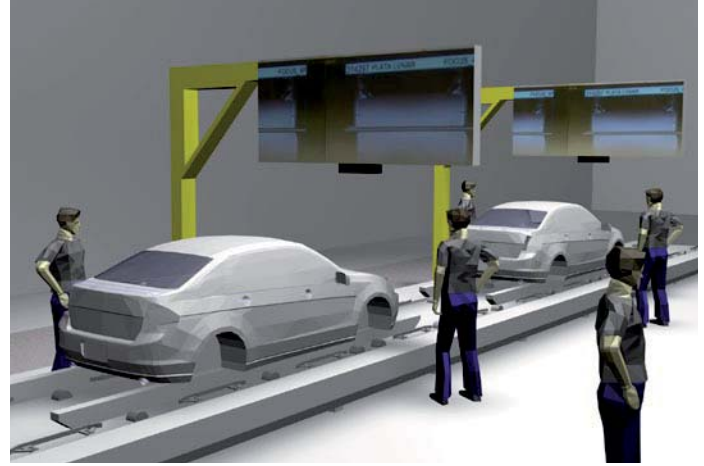
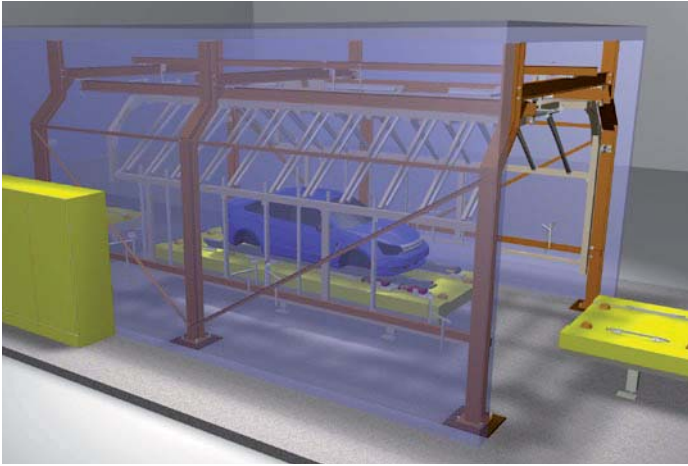
La importancia de la correcta ejecución de estos procesos se sustenta en la gran cantidad de metros cuadrados de plancha que se utilizan en la industria automovilística, pero también en otras como en la de línea blanca.

Actualmente, no hay sistemas automáticos de detección de defectos, por lo que a muchas industrias les resulta imposible garantizar un nivel alto de calidad constante en sus productos.

Los clientes son cada vez más exigentes en los niveles de calidad de los productos que adquieren, por lo que las factorías deben hacer un esfuerzo extra en garantizar dichos niveles si quieren seguir liderando sus correspondientes sectores.

Durante muchos años se han venido desarrollando proyectos de investigación financiados por las distintas administraciones para a proveer a la industria de soluciones capaces de controlar la calidad de los productos. A modo de ejemplo podemos citar algunos proyectos europeos tales como: "Efficient low volume high variant robotized painting", "Improved removal of particulate contaminants from surfaces to increase functionality appearance of products" y "Rheology engineered water borne dispersions for high performance paints".

En las factorías de coches de hoy en día, operarios especializados inspeccionan las carrocerías pintadas buscando defectos sobre las mismas. Se estima que más de un 50% de los defectos menores no son detectados en el corto tiempo de paso de las carrocerías por la zona de inspección. Los defectos no detectados constituyen fuentes de corrosión que reducen la vida de la carrocería. No obstante, si los defectos se detectan fuera de la factoría, ya en los concesionarios o por el cliente, su reparación es muy costosa.



## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema de inspección automatizada (túnel de inspección) de detección de defectos en carrocerías y monitorización de los mismos, está basado en técnicas de visión artificial y está compuesto de:

1. Un subsistema de visión basado en cámaras, conjuntamente con sofisticados algoritmos de clasificación y detección de defectos.
2. Una estructura mecánica de robot cartesiano que sustenta los dispositivos de adquisición (cámaras) y mueve los elementos de iluminación.
3. Un conjunto de pantallas, como interfaz para los operarios, donde los defectos son resaltados para su reparación manual.

El subsistema de adquisición de imágenes está compuesto por 12 cámaras digitales CCD de alta resolución adquiriendo a una frecuencia de 15 imágenes por segundo, ensambladas con ópticas de alta calidad y de distancia focal variable. Cada cámara visualiza una parte de la carrocería, con márgenes

de seguridad suficientes para que no se pierda ningún defecto sobre la misma. Las cámaras son suficientemente rápidas, para adquirir las imágenes en el tiempo disponible por la producción en línea. Están conectadas a tarjetas de adquisición que se ejecutan en un PC industrial.

El subsistema de iluminación usa tubos fluorescentes a alta frecuencia montados sobre 11 arcos que se desplazan a velocidad constante sobre la carrocería. El robot cartesiano sustenta las cámaras, que están fijas, al tiempo que mueven la estructura de arcos luminosos.

El subsistema de monitorización, basado en varias pantallas, proporciona información a los operarios del área de pulido sobre la naturaleza y localización de los defectos. La reparación se prioriza mediante código de colores.

Los defectos importantes se muestran en rojo, mientras que los defectos menores se muestran en verde. Tanto la codificación como el criterio de asignación de colores se han establecido en base al personal de con-

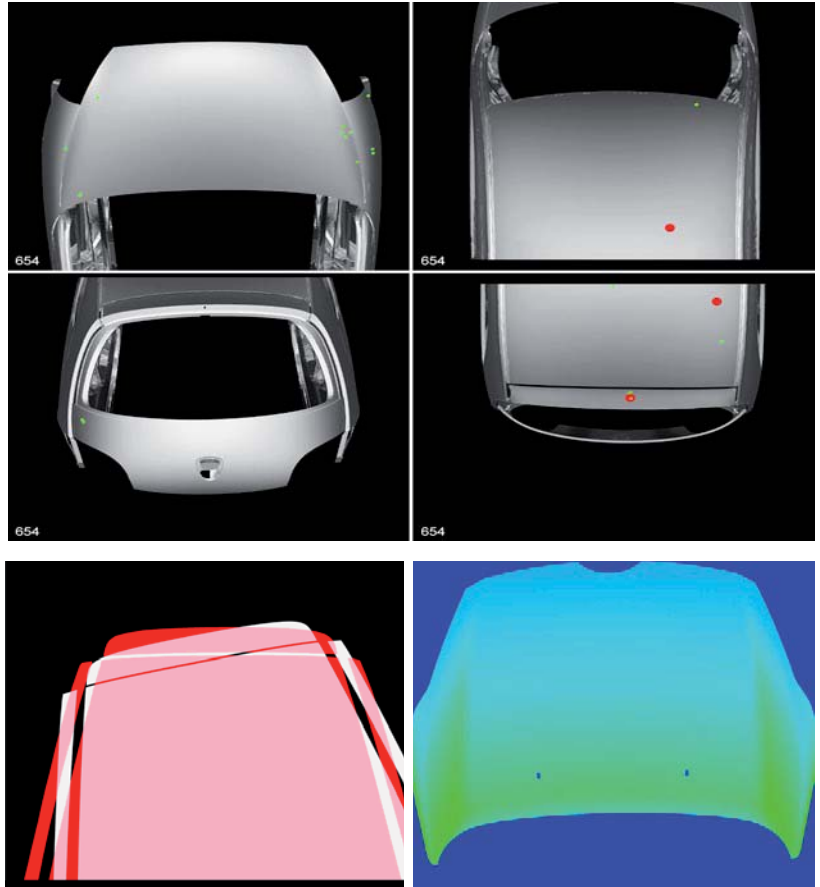
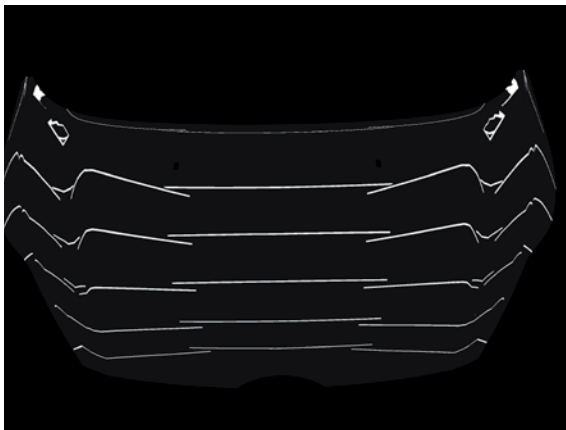
trol de calidad.

Este sistema de inspección lleva funcionando durante más de dos años en la Factoría Ford en Almussafes (Valencia). Habiendo llegado a inspeccionar 1700 vehículos por día en los períodos de mayor producción.

Mediante este sistema, es posible adquirir todas las imágenes de la carrocería en menos de 10 segundos, consiguiéndose detectar más del 90% de los defectos no detectados en la inspección manual.

El software asociado al sistema de inspección, implementa sofisticados algoritmos de visión artificial. Conjuntamente con algoritmos autoadaptativos que se ajustan a las condiciones industriales de cada momento.

Como resultado de todo esto, se ha generado una patente internacional basada en los aspectos de visión artificial y computación distribuida (PCT type, ref. PCT/ES2007/000236), además de otra patente internacional describiendo la solución industrial implantada en la factoría Ford de Almussafes (ref. PCT/IB2010/052193).



## APLICACIÓN SOFTWARE DE DETECCIÓN DE DEFECTOS

Los defectos en pintura aparecen como consecuencia de no cumplirse las condiciones óptimas en pintado. En concreto, se debe atender a aspectos tales como ausencia de polvo, temperatura controlada, velocidad de los aspersores adaptada a la forma del objeto a pintar, etc...

Los procesos de pintado automático suelen ser procesos continuos, donde el producto pasa a través de las diferentes cámaras.

El proceso de detección de defectos se basa en la aplicación de técnicas de visión por computador en las siguientes fases:

1. Adquisición de imágenes.
2. Fusión de imágenes
3. Reposicionamiento de la imagen de acuerdo al modelo
4. Aplicación de "Blurring" a las imágenes resultantes
5. Umbralización local de imágenes
6. Detección y clasificación de defectos

Las imágenes tomadas en cada cámara durante el barrido de los tubos de iluminación sobre la carrocería del vehículo son fusionadas en una imagen única. Esta imagen es procesada y umbralizada dando lugar a una

imagen binaria en donde se muestran los defectos en negro sobre fondo blanco. Los defectos detectados son clasificados siguiendo el criterio aportado por el departamento de control de calidad de la empresa. Finalmente, los defectos son mostrados en las pantallas de monitorización para informar a los operarios de pulido.

Hay un proceso de autoajuste en la umbralización de la imagen que afecta localmente al nivel de píxel y que depende de aspectos tales como distancias, inclinaciones o color de la superficie. Como consecuencia el defecto puede aparecer como un píxel o un conjunto de píxeles.

El catálogo de defectos se puede resumir en:

- Fibras de hasta 6 mm de longitud y 0.5 de grosor.
- Manchas circulares con diámetro entre 3 y 6 mm.
- Partículas desprendidas de útiles y herramientas con diámetro entre 3 y 6mm.
- Pelo humano de longitud variable, que puede llegar a 20 mm de longitud con 0.3 mm de grosor.
- Partículas de polvo de unos 0.3 mm de diámetro.

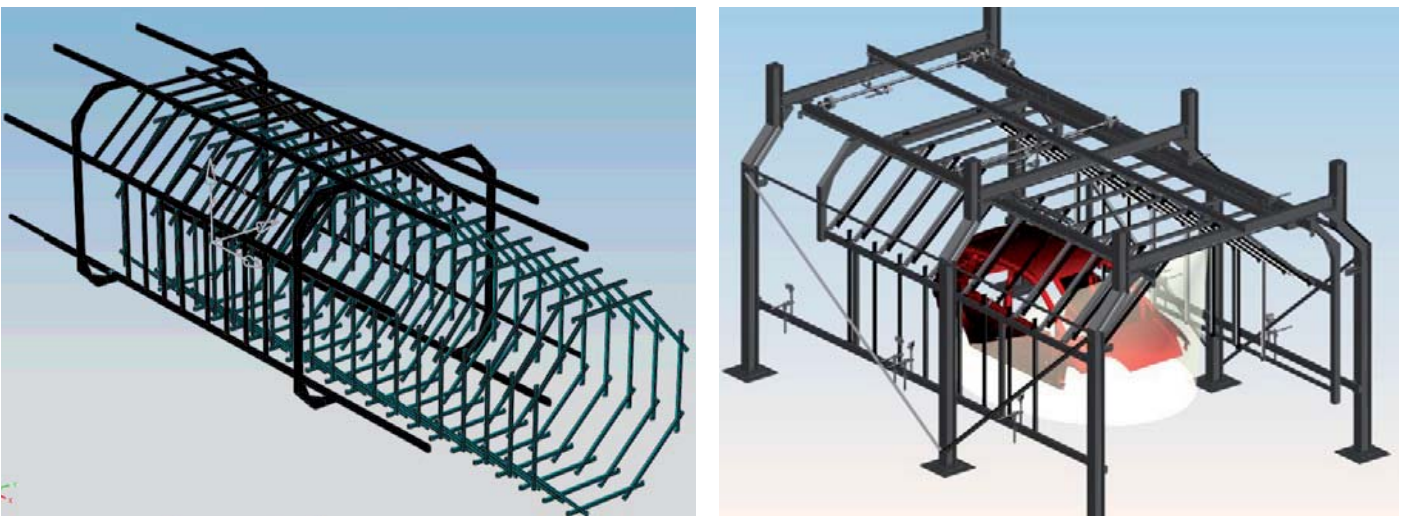
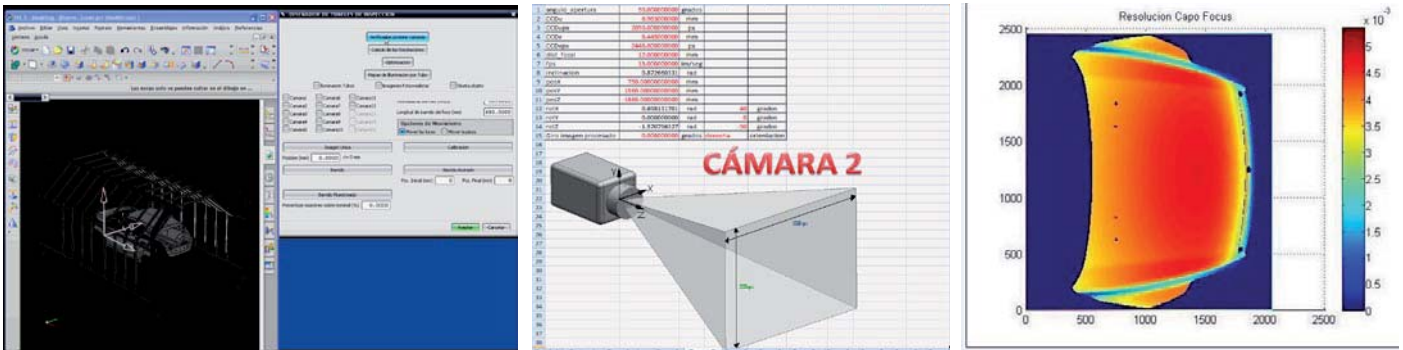
Basado en características de cada defecto tales como posición, área, perímetro, longitud, relación área/perímetro, ejes mayores y menores, etc, se realiza la clasificación precisa de dicho defecto.

La aplicación es completamente configurable y permite el ajuste de las siguientes variables.

- Tamaño mínimo y máximo de los defectos a detectar
- Regulación automática o manual del tiempo de exposición de las cámaras. Dependiendo de la pieza inspeccionada y sobretodo del color de la carrocería.
- Regulación manual o automática del nivel de iluminación de los arcos luminosos.

Al final del proceso, los defectos son mostrados en pantalla para su reparación, almacenándose al mismo tiempo los defectos y sus clasificaciones.

Los defectos importantes se muestran en rojo, mientras que los defectos menores se muestran en verde. Tanto la codificación como el criterio de asignación de colores se han establecido en base al personal de control de calidad.



## DISEÑO AUTOMATIZADO Y SIMULACIÓN

Mediante simulación, es posible tener en cuenta aspectos tales como las variaciones de iluminación, limitaciones en las áreas inspeccionadas (zonas ocultas), velocidad de la línea de producción, niveles de resolución requeridos y almacenamiento de datos 3D.

Se ha implementado una aplicación de simulación que permite analizar las condiciones de la detección a partir de los modelos CAD de las carrocerías. Esta aplicación se interconecta con un proceso que calcula la colocación óptima de cámaras y fuentes de iluminación, así como de sus movimientos relativos. Adicionalmente, se han utilizado algoritmos genéticos en el proceso de diseño automatizado y de calibración.

Los pasos de la aplicación son los siguientes

1. Cálculo de la estructura electromecánica (túnel de inspección).
2. Cálculo de las posiciones óptimas de cámaras, con sus distancias focales, e iluminaciones móviles con rangos de intensidad.

La simulación permite verificar a priori las especificaciones de diseño de los túneles de inspección.

Algunas situaciones comunes y las soluciones correctoras correspondientes se listan a continuación:

### Reflejos condicionados por la forma de la superficie pintada

Los reflejos pueden no aparecer en los lugares adecuados debido a fuertes curvaturas en algunas partes de la superficie. La solución pasa por una colocación óptima de cámaras y luces de acuerdo a los modelos 3D de las carrocerías.

### Reflejos condicionados por los distintos colores de las carrocerías

Regulando la intensidad de las fuentes de iluminación se pueden uniformar, en gran medida, las reflexiones de las carrocerías. No obstante se han diseñado algoritmos de visión artificial robustos para compensar estas variaciones.

### Interacción con focos luminosos externos

Para evitar esto el sistema de inspección está localizado dentro de una cámara oscura cerrada por el carenado del túnel de inspección.

### Incertidumbre en la posición de la carrocería así como vibraciones en la misma.

Mediante técnicas de "matching" se alinea la imagen a pesar de encontrarse la carrocería desplazada o rotada. Por otro lado pequeños movimientos o vibraciones son considerados como ruidos y pueden ser filtrados mediante algoritmos apropiados.

### Zonas ocultas a la inspección

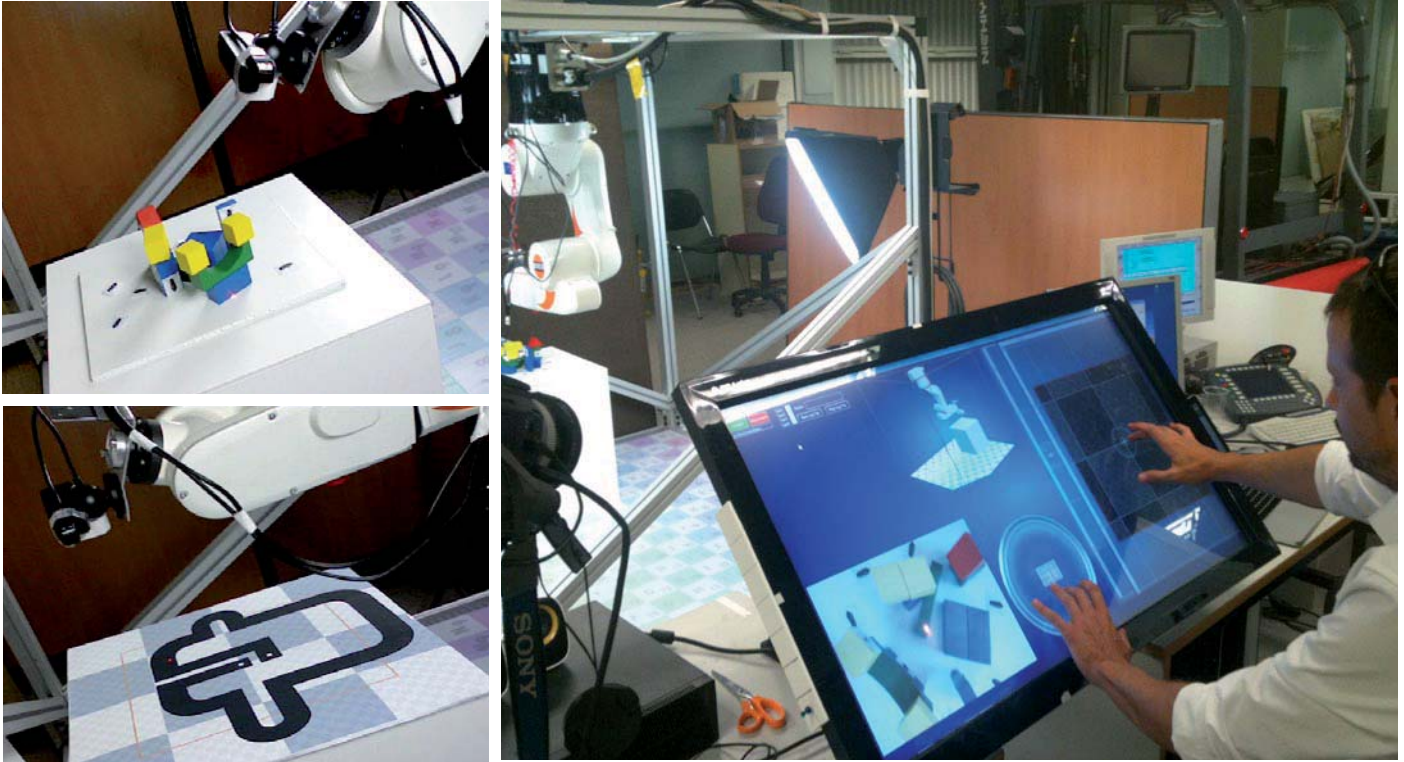
En este caso, si no es posible realizar re-colocaciones de compromiso la solución sería incrementar el número de luces y/o cámaras.

### Desbordamiento de información, debido a altas resoluciones o a altas velocidades de la línea de producción

La solución adoptada se basa en un sistema de computación distribuida, de tal manera que las imágenes de cada pieza sean tratadas en paralelo.

### Fallos en la clasificación de los defectos

La solución es introducir en la clasificación algoritmos más robustos.



## DESARROLLOS FUTUROS

Los desarrollos futuros se orientan en dos direcciones:

1. La introducción de interfaces hombre-máquina (HMI) basadas en pantallas multitáctiles.
2. Desarrollo de sistemas robotizados para la fase de pulido.

Las interfaces se orientan hacia lo que serían formas más naturales de interacción entre hombres y máquinas-herramienta o robots. Con ello se pretende conseguir interfaces con nuevos sistemas de percepción y supervisión de los procesos industriales.

En grandes pantallas se combinan imágenes reales de las carrocerías, mapas de defectos, clasificaciones e informes sobre los mismos, todo ello con un uso extensivo de facilidades de ampliación,



visualización y manipulación, a través de botones de usuario.

La experimentación realizada hasta la fecha ha demostrado la potencialidad de estas nuevas interfaces. La experimentación se ha hecho a través de test de usabilidad, primero en entornos virtuales y posteriormente en entornos industriales.

La metodología de los test realizados considera tanto datos cualitativos como cuantitativos tomados de los propios usuarios.

En este contexto, la implementación de sistemas automáticos de corrección basados en robots resulta una estrategia interesante.

Adicionalmente, será necesario, el rediseño y/o actualización de herramientas de pulido para que encajen como elementos terminales de los brazos robot, cumpliendo con los condicionamientos de métodos y tiempos de línea de producción. La interfaz para estos sistemas deberá incluir la generación automática de trayectorias, así como interfaces hápticas de realimentación de fuerzas.

Resulta importante estudiar las técnicas actuales aplicadas en los procesos de pulido antes de pasar a diseñar nuevas herramientas a instalar en los robots. Estas nuevas herramientas deberán ser primero testeadas manualmente con objeto de poder definir su funcionalidad y posteriormente serán testeadas de nuevo como elementos terminales a ensamblar en los robot.

También es importante analizar la colocación de los robots en la célula, así como de las pantallas multitáctiles de programación y supervisión de tareas de pulido.



## INSTITUTO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN. Sector Automoción

El Instituto de Diseño y Fabricación (IDF) es un Instituto Tecnológico ubicado en la Ciudad Politécnica de la Innovación, parque científico de la Universidad Politécnica de Valencia.

La forma jurídica del IDF es la de una Asociación Empresarial de carácter privado sin ánimo lucro formada principalmente por empresas e instituciones ubicadas en la Comunidad Valenciana en la que colaboran también investigadores y tecnólogos de la Universidad Politécnica de Valencia.

También indicar que el IDF es sede de la RED COMPO que aglutina a los fabricantes de COMPOSITES más importantes de Europa.

El Instituto lleva a cabo proyectos de investigación y desarrollo en las áreas de diseño, fabricación y automatización centrado su actividad en la industria de automoción y afines.

En el ámbito del diseño y desarrollo de producto, se trabaja a nivel estratégico (producto, entorno y comunicación), la relación diseño-empresa, la generación de ideas y conceptos de diseño, la obtención de modelos y prototipos, y la comunicación visual del producto. En el desarrollo del producto, se hace un amplio uso generación de

modelos digitales, prototipado e integración CAD/CAM/CAE/CIM.

En el ámbito de la fabricación se trabaja en mecanizados de alta velocidad mediante robots. CAD CAM Robótica. Además de en simulación, monitorización y control de llenado y curado de resinas y termoplásticos.(GREEN COMPOSITES).

En automatización y robótica se dan soluciones de monitorización, diagnóstico, control y comunicaciones, además de programación, teleoperación y control de células robotizadas y robots móviles o vehículos.

En nuevas energías se investiga en las áreas de materiales optoelectrónicos, caracterización de materiales, semiconductores y sus aplicaciones en la construcción de paneles solares y dispositivos fotoemisores.

En el ámbito de las tecnologías de la información, se investiga en gestión del conocimiento y auditorías de la información, e-learning, desarrollos multimedia, así como en interfaces amigables basadas en realidad virtual, evaluando aspectos de ergonomía y usabilidad en interfaces hombre-máquina (HMI).





**Instituto de Diseño y Fabricación**  
Universidad Politécnica de Valencia

Ciudad Politécnica de la Innovación, edificio 8G bajo  
Camino de Vera s/n 46022 (Valencia)  
[www.institutoidf.com](http://www.institutoidf.com)

**Josep Tornero Montserrat**  
(Director General)  
e-mail: [jtornero@upvnet.upv.es](mailto:jtornero@upvnet.upv.es)  
Tel.: 963877060