

Sigma: la visión computacional al servicio de la seguridad y fiabilidad en los servicios de inspección

P.J. Piñeiro, M. Méndez, A. García, E. Cabrera y J.J. Regidor

La tecnología de visión ha madurado muy deprisa en los últimos diez años facilitando nuevos desarrollos en diversas áreas de aplicación nuclear al permitir automatizar y simplificar de forma eficiente procesos y tareas, en sustitución o en colaboración con las personas y equipos: redundancia (seguridad), robótica móvil autónoma, reconocimiento automático de defectos en inspecciones visuales, detección de deformaciones en geometría de componentes, dimensionamiento preciso, monitorización de procesos, etc.

En este artículo Tecnatom presenta como ejemplo detallado la aplicación de la visión computacional para garantizar la correcta identificación de los miles de tubos a inspeccionar en los generadores de vapor (producto Sigma) y se muestran otras aplicaciones que están en desarrollo actualmente en Tecnatom donde en todos los casos el objetivo es mejorar los sistemas de inspección con el requisito de maximizar la fiabilidad de los mismos.

Vision Computing is growing very fast in the last decade with very efficient tools and algorithms. This allows new development of applications in the nuclear field providing more efficient equipments and tasks: redundant systems, vision-guided mobile robots, automated visual defects recognition, measurement, etc..

In this paper Tecnatom describes a detailed example of visual computing application developed to provide secure redundant identification of the thousands of tubes existing in a power plant steam generator. Some other on-going or planned visual computing projects by Tecnatom are also introduced. New possibilities of application in the inspection systems for nuclear components appear where the main objective is to maximize their reliability.

PABLO JESÚS PIÑEIRO FERNÁNDEZ

es ingeniero superior de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid. Actualmente lidera la línea de proyectos de visión artificial en Tecnatom en la Dirección de Desarrollo Tecnológico.

MIGUEL MÉNDEZ CAÑETE

es ingeniero técnico en Electrónica por la Universidad del País Vasco. Forma parte desde hace 21 años de la Dirección de Servicios de Inspección de Tecnatom.

ÁNGEL GARCÍA BUENO

es ingeniero industrial en la especialidad Técnicas Energéticas y es Nivel III en el método de corrientes inducidas. En 1986, se incorporó a Tecnatom. Actualmente pertenece y participa en el Comité Europeo de Normalización y en varios programas de investigación internacionales.

ESTEBAN CABRERA JORDÁN

es ingeniero superior de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid. Actualmente es el responsable del Área de Nuevas Tecnologías de Tecnatom en la Dirección de Desarrollo Tecnológico.

JUAN JOSÉ REGIDOR IPIÑA

es ingeniero aeronáutico por la UPM. Actualmente lidera el Grupo de Servicios de Inspección para la Integridad de Vasijas y Componentes de Tecnatom.

INTRODUCCIÓN

La llamada *visión computacional* es, como veremos, una de las líneas que, por su madurez y desarrollo actual, presenta más oportunidades para innovar en aplicaciones que mejoren la competitividad, seguridad y fiabilidad de los sistemas utilizados en las inspecciones en servicio de las centrales nucleares.

La empresa Tecnatom mantiene una línea de actualización y diversificación de toda su tecnología asociada a la inspección de componentes nucleares. Mediante una inversión estable y sostenida en desarrollo tecnológico consigue disponer de los equipos más adecuados a las exigentes demandas del sector. En el marco de esta línea

estratégica, a través de su Dirección de Desarrollo Tecnológico, Tecnatom ha venido adquiriendo durante los últimos años diversas capacidades en *visión computacional*, capacidades que permitirán apoyar los objetivos de reducción de dosis de los trabajadores y de simplificación de las operaciones en apoyo a la eficiencia de las plantas.

La visión computacional es algo más que cámaras de monitorización; es procesamiento, automatización, interpretación, inteligencia artificial.... Por ello, a veces se le denomina popularmente como *visión artificial*, dándole así un carácter *humano* a cualquier tarea automática de toma de decisiones, tarea innata a las personas, o de sustitución de las mismas en actividades rutinarias o peligrosas.

El objetivo final es conseguir mejorar la fiabilidad de los equipos de inspección a través de la visión computacional, la cual aporta grandes posibilidades en distintos campos de aplicación en una central nuclear, como se argumenta a lo largo de éste artículo.

Un simple vistazo sobre los medios actuales empleados en una inspección en servicio en una planta nuclear nos aportará la importancia de la incorporación de nuevas tecnologías, equipos de computación, sistemas electrónicos miniaturizados, etc. para realizar operaciones con prestaciones y seguridad impensables hace tan solo un par de décadas. Es una evolución continua y al ritmo que va marcando la madurez de las diferentes tecnologías que nos rodean y las cuales van aportando ventajas a los procesos que las integran a costes muy razonables, evolución de la que la visión computacional no debe quedar al margen.

VISIÓN COMPUTACIONAL: BREVES RESEÑAS HISTÓRICAS

"La visión es saber qué hay y dónde mediante la vista" (Aristóteles).

La visión computacional trata de emular con ordenadores la anterior definición mediante la interpretación de imágenes adquiridas y su procesamiento. Por ello su evolución está íntimamente relacionada con la historia de la computación y de la inteligencia artificial.

Desde la primera computadora experimental digital electrónica de la historia (1947, Eniac), que ocupaba toda una planta en la universidad de Pensilvania y que consumía varios KW de potencia eléctrica para alimentar sus varias toneladas de peso y más de 18.000 válvulas de vacío, hasta nuestros días, han pasado poco más de 60 años.

Curiosamente, los primeros usos comerciales de los computadores Univac I para la oficina del censo de Estados Unidos (1951), o la primera computadora IBM 701 (1953), coinciden con la primera vez que se produjo electricidad en un reactor nuclear, el 20 de diciembre de 1951 en la estación experimental de Arco, en Idaho (EEUU). El 27 de junio de 1954 comenzó a funcionar la primera central nuclear del mundo en Obninsk (Rusia). Así pues, el desarrollo comercial de la computación y el de la energía nuclear han rodado muy paralelos.

En estos 60 años, no solo hemos pasado de las cinco mil sumas por segundo, que era capaz de realizar Eniac, a los 8.2 de *petaflop* (o mil billones;

10 elevado a 15! operaciones por segundo en coma flotante) que puede ejecutar el super-ordenador japonés "K" de Fujitsu, con sus 68.544 CPU (Unidades Centrales de Procesamiento). En éstos 60 años, se ha producido toda una revolución tecnológica favorecida por la miniaturización y el incremento de prestaciones y velocidades de proceso, revolución que ha impactado en todos los órdenes de la ciencia y de la tecnología.

Hay quien afirma que la visión computacional, como producto, está ahora en su verdadera fase de crecimiento, tras una larga etapa de desarrollo y un periodo de introducción en el mercado, especialmente largo, tanto por las limitaciones de la tecnología computacional asociada en algunas aplicaciones, como por la inevitable etapa de desencanto respecto de unas expectativas sobredimensionadas. Las excelentes capacidades de proceso actuales están haciendo viables aplicaciones y proyectos *fracasados* hace tan solo 10 años.

En el campo nuclear encontramos diferentes intentos de incorporar sistemas de visión artificial en los sistemas de inspección.

VISIÓN COMPUTACIONAL: UN CASO PRÁCTICO

Tecnatom está apostando por la visión computacional como tecnología clave para la mejora de los servicios de inspección que presta en centrales nucleares. En este artículo se presenta con detalle un ejemplo de aplicación desarrollada y actualmente en utilización en las inspecciones por corrientes inducidas de los tubos de los generadores de vapor, consistente en un sistema de seguimiento de movimientos del robot para identificación redundante de cada uno de los tubos a inspeccionar.

Sigma-GV. Descripción del sistema.

Como caso singular, se presenta en este punto la aplicación de la visión computacional para garantizar la correcta identificación de los miles de tubos a inspeccionar en los generadores de vapor, mediante el seguimiento *frame-by-frame* de los movimientos que hace el robot que se desplaza por la placa de tubos del generador de vapor. **Los derechos de propiedad de las novedades de Sigma están protegidos bajo patente de Tecnatom.**

Propósito. Introducción

La inspección de un generador de vapor supone explorar una matriz de aproximadamente 5.000 tubos en "U"

de unos 20 mm de diámetro mediante una sonda de corrientes inducidas que recorre la longitud total de cada uno de ellos. Un robot tipo araña que se mueve por debajo de la matriz se encarga de posicionar un tubo-guía en la embocadura del tubo, proporcionando al sistema de adquisición de datos las coordenadas del tubo en formato (Fila, Columna), de modo que se almacena dicha información integrada con el registro de corrientes inducidas. En general el robot sigue una trayectoria recorriendo tubos según un plan de inspección que se programa antes del inicio de la misma.

Los datos de la inspección se analizan posteriormente y si se detecta degradación en alguno de los tubos que pueda afectar a la integridad del mismo, este debe ser reparado, normalmente dejándolo fuera de servicio mediante taponado. Por tanto una correcta identificación de las coordenadas del tubo libre de errores es fundamental.

Las normativas actuales recomiendan disponer de un segundo sistema independiente al robot que proporcione las coordenadas del tubo bajo inspección de forma redundante. De esta manera la *seguridad* en cuanto a identificación es máxima minimizando la probabilidad de error.

Objetivos. Requisitos.

Existen diversas formas de implementar un sistema de identificación redundante, algunos basados en la cuantificación de movimiento mediante sensores inerciales, otros mediante la medida precisa de la distancia a puntos de referencia del generador de vapor y otros basados en visión artificial mediante seguimiento y conteo de los tubos a medida que se desplaza el robot.

Una vez decidido implementar un sistema de visión para identificación redundante de tubos, se pueden *enmarcar* los objetivos del sistema como los siguientes:

- a) Disponer de un sistema que mediante visión artificial permita una identificación de forma independiente al control / operación del robot.
- b) El sistema debe alertar cuando haya una discrepancia entre el tubo identificado por el robot y el obtenido por visión artificial.
- c) Debe haber una integración con el sistema de adquisición de datos que aborte la operación en caso de discrepancia.
- d) La solución debe ser válida para cualquier robot de inspección y

cualquier modelo de generador de vapor, ya sean verticales (geometría casquete esférico) u horizontales (geometría cilíndrica).

- e) La solución debe ser robusta e inmune a la problemática de la iluminación y a los movimientos rápidos que efectúa el robot en determinadas condiciones de operación.

Arquitectura

La Figura 1 muestra la disposición del sistema Sigma. La cámara adosada al tubo guía envía las imágenes al procesador mediante una conexión *ethernet* (protocolo GigE del cual hablaremos más adelante). El procesador visto como una caja negra se encarga de obtener las coordenadas del tubo bajo inspección y las publica mediante *internet* para que otros sistemas utilicen dicha información.

Típicamente existirá un árbitro que se encarga de obtener las identificaciones tanto del robot como del sistema de visión y dar alarma en caso de discrepancia, de modo que el operador pueda resolver la situación.

La publicación de las coordenadas permite que haya una supervisión adicional del sistema mediante un *web browser* remoto.

Aspectos de diseño

Uno de los elementos claves para tener éxito en el diseño de cualquier sistema de visión artificial es la elección de la **iluminación** adecuada. En nuestro caso tenemos un entorno de operación muy hostil, de complejo acceso, reducidas dimensiones, con objetos en movimiento generando sombras variables ..., por ello se ha

optado por una iluminación solidaria a la cámara que genera una imagen estable independiente de la posición del robot y que es inmune a las sombras/luces asociadas a la iluminación ambiental. Otra dificultad asociada a la iluminación viene determinada por la necesidad de procesar los movimientos rápidos que hace la araña para cambiar la orientación. Como sabemos, a mayor velocidad debemos programar menor tiempo de exposición de la imagen para obtener imágenes nítidas de modo que los algoritmos de visión funcionen correctamente. Al reducir el tiempo de exposición debemos aumentar la intensidad lumínica lo que supone mayor potencia. Diferentes pruebas y ensayos han llevado al cálculo de potencia luminosa óptima.

En cuanto a la **cámara** se requiere procesar movimientos rápidos lo que obliga a utilizar frecuencias de *frame* altas de modo que no se pierda el entramado de tubos de un *frame* a otro, por lo que se trabaja a frecuencia de 100 fps en modo progresivo enviando las imágenes sin comprimir mediante Ethernet utilizando el novedoso protocolo GigE desarrollado específicamente para visión artificial y que se ha implantado y aceptado por la industria en muy poco tiempo.

El protocolo GigE utiliza el estándar *Gigabit Ethernet* sobre UDP y aporta las siguientes ventajas:

- Permite conectar la cámara mediante un cable directo al ordenador de hasta 100 metros de longitud.
- Permite envío de las imágenes *frame a frame* sin comprimir.

- El ordenador solo requiere un punto de red *ethernet gigabit*. (No hacen falta complicadas tarjetas *frame grabber*).
- Permite alimentar la cámara por el mismo cable, mediante PoE (*Power Over Ethernet*)
- GigE se ha convertido en el estándar de visión artificial y se puede utilizar en diversos entornos de desarrollo.

Algoritmos de visión

La Figura 2 muestra los pasos necesarios en el procesamiento de cada imagen:

1. Umbralización.
2. Búsqueda de círculos.
3. Cálculo de centros.
4. Mapeado de tubos en el generador.

La **umbralización** consiste en definir un nivel luminoso de corte y **binarizar** los *pixels* de modo que el resultado sean los de menor luminosidad que corresponden con los tubos del generador. El umbral se mantiene fijo durante todo el procesamiento por lo que una iluminación estable y uniforme es necesaria para que el procesado sea correcto.

Una vez **binarizada** la imagen se analiza la forma de los objetos, buscando **círculos** de un determinado estrecho margen de tamaños, descartando el resto.

El **cálculo de centros** tiene como objeto obtener la posición física exacta de cada tubo presente en la imagen y a partir de él obtener la orientación de la cámara y distancia a la placa de tubos, esta operación denominada habitualmente **calibración de cámara** se hace en cada imagen adquirida, a diferencia

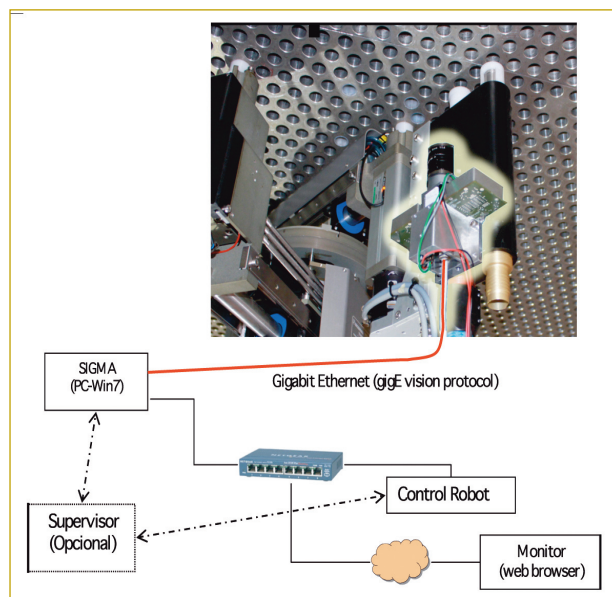


Figura 1. Arquitectura del sistema.

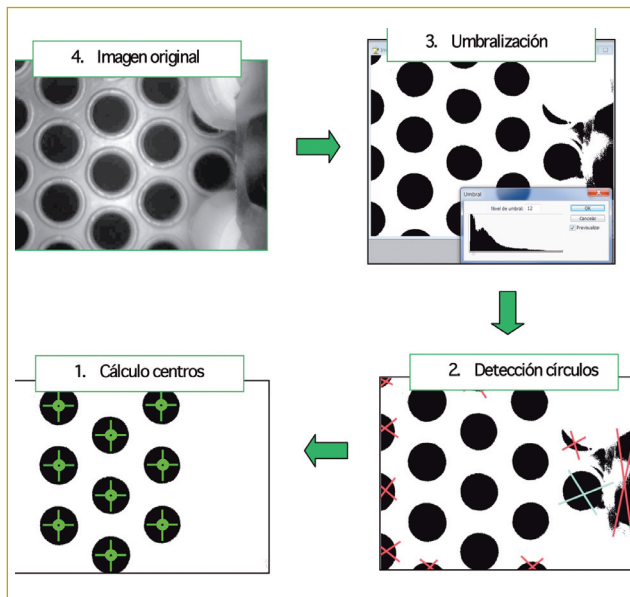


Figura 2. Procesamiento de imagen.

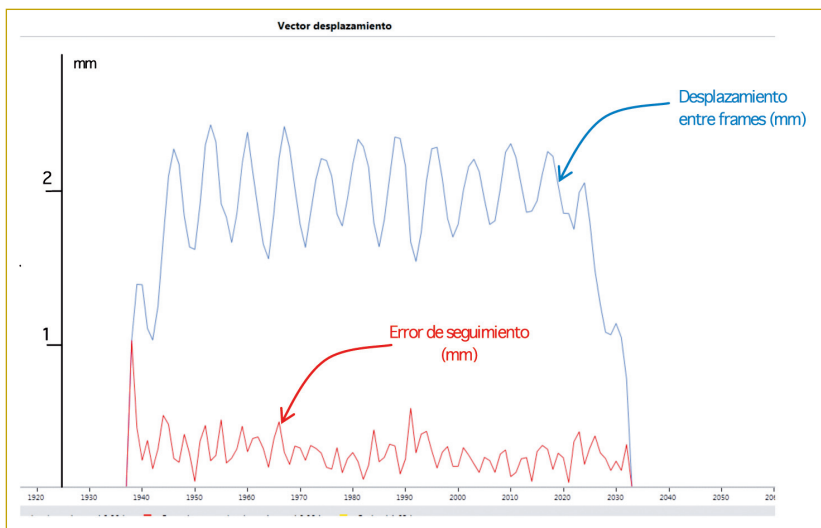


Figura 3. Perfil de movimiento robótico detectado por visión (velocidad operación).

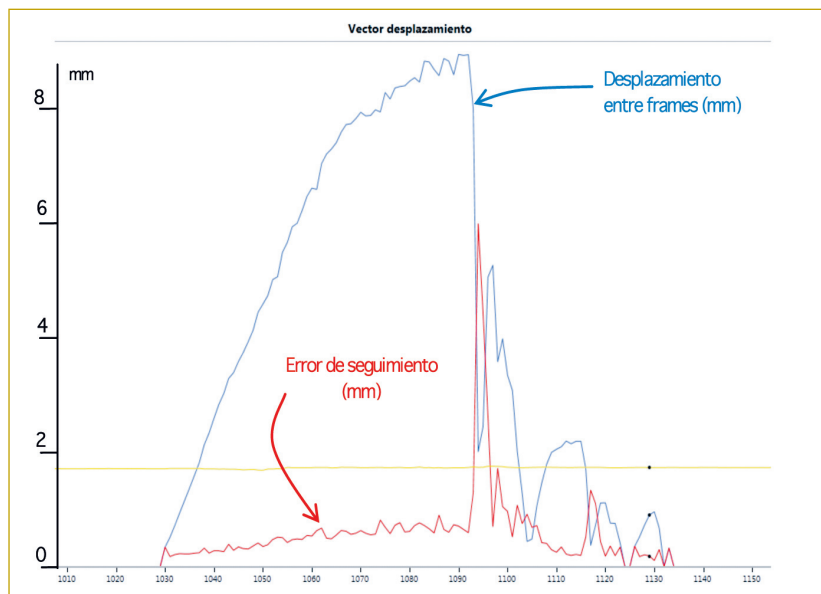


Figura 4. Perfil de movimiento robótico detectado por visión (alta velocidad: giro).

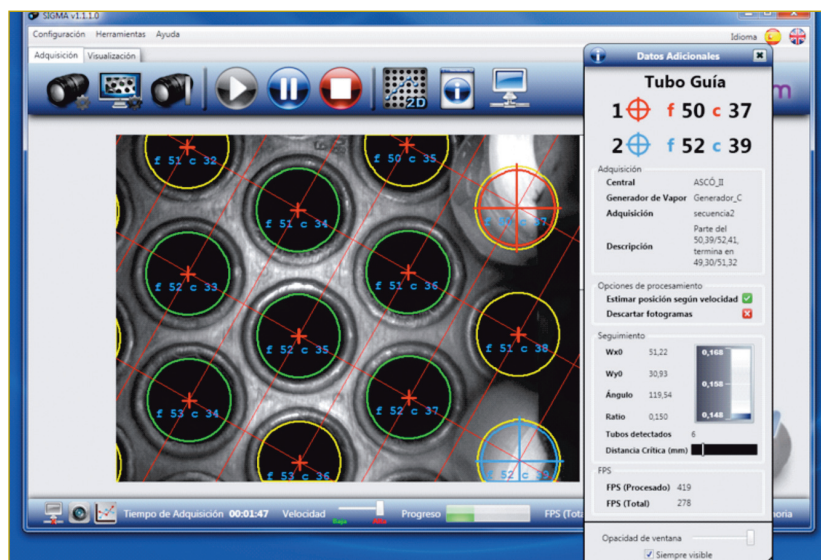


Figura 5. Aplicación desarrollada (vista tracking).

de sistemas estáticos, donde la cámara permanece fija y solo es necesario calibrar una vez.

La calibración *frame a frame* permite mapear con precisión la vista de cámara en el modelo físico del generador, presentando en la vista 2D la posición de robot lo que es de gran utilidad durante la operación del sistema de inspección.

El proceso de calibración se alimenta necesariamente de los datos del *frame* anterior con la suposición de que el desplazamiento entre fotogramas es siempre inferior a 1/3 de la distancia entre tubos. Esta condición se puede garantizar conociendo la máxima velocidad de movimiento y adecuando a la misma la frecuencia de *frame* que en nuestro caso resulta ser de 100 fps.

Dicho mapeo se complica porque involucra realmente cuatro sistemas de coordenadas:

- Coordenadas de cámara (*pixels*).
- Coordenadas físicas de cada tubo en el generador (en milímetros)
- Coordenadas de tubos en el fichero-modelo (*pixels*).
- Coordenadas de usuario, que varían en función de criterios arbitrarios. (fila, columna).

Cada cambio de sistema de coordenadas tiene su propio tratamiento computacional, en algunos casos se reduce a una tabla de conversión y en otros puede ser un cálculo típico de cambio de sistema de referencia considerando traslación y giro.

El algoritmo de seguimiento consiste en calcular la nueva matriz de tubos presente en la imagen a partir de los datos de la anterior. Para ello se toman cada tubo y se busca el más cercano en la nueva imagen considerando la imagen anterior. En movimientos rápidos esta técnica es insuficiente pues las distancias recorridas son mayores, por ello se considera la inercia del sistema estimando la nueva posición teórica a partir de la velocidad calculada obtenida de los dos *frames* anteriores.

La aplicación desarrollada permite *loggear* los datos de procesamiento de modo que posteriormente se puede graficar el comportamiento. La Figura 3 muestra el gráfico de velocidad/tiempo obtenido a partir del procesamiento de *frames*. Se observa cómo aparece en el gráfico el rizado producido por la oscilación de velocidad inherente a un sistema de control de lazo PID, típico de un control de movimiento. En el mismo gráfico se aprecian los valores de error de seguimiento que son muy pequeños.

La Figura 4 muestra el comportamiento del sistema ante un mo-

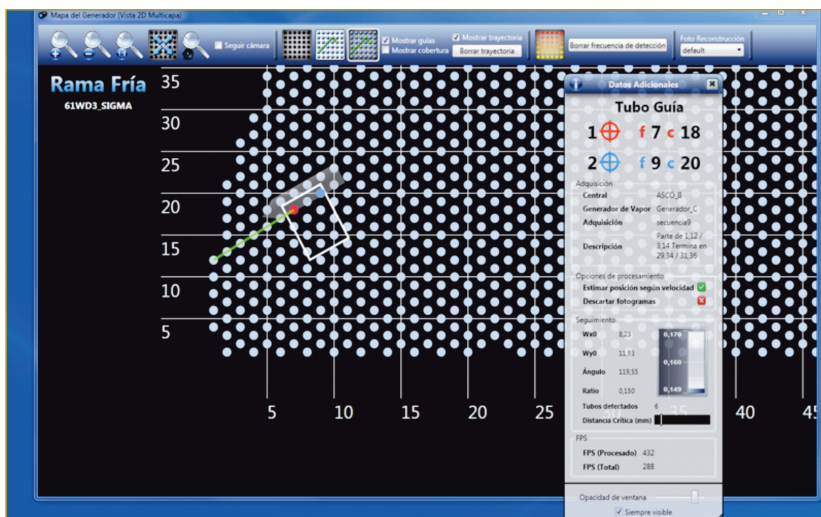


Figura 6. Aplicación desarrollada (vista ventana 2D).



Figura 7. Aspecto típico de un tapón.

vimiento de giro rápido, donde la velocidad llega a alcanzar 1 metro/seg que significa 10 mm de desplazamiento entre frames, y se observa el frenazo producido por el golpe del brazo de giro contra el tope mecánico, momento de mayor error de seguimiento.

Aplicación desarrollada

La secuencia típica de operación es la siguiente:

1. Configuración del sistema: central, generador de vapor, rama fría/caliente, configuración de cámara e iluminación, parámetros de visión.

2. Identificación de los dos tubos guía actuales.
3. Inicio del seguimiento y de forma paralela:
 - Actualización de datos de tracking en la pantalla principal.
 - Envío de información a clientes (fila, columna).
 - Representación de posición y trayectoria del robot en modelo 2D.
 - Obtención de fotografías para reconstrucción fotográfica del generador.

La Figura 5 muestra la pantalla principal donde puede verse la imagen de cámara con la identificación de tubos superpuesta.

La Figura 6 muestra una imagen típica de la ventana 2D que muestra la vista de cámara *graficada* sobre el modelo de generador.

Características añadidas

Mapeado de la posición de robot en plano 2D

En paralelo al cálculo de posición de vista de cámara el sistema actualiza su vista en el mapa 2D. Dicho mapa se genera a partir del fichero modelo del generador que contiene toda la información necesaria para reconstruir gráficamente el mismo. Sobre dicho mapa se dibuja la posición de cámara, la trayectoria seguida por el robot, los tapones detectados, etc... El usuario puede configurar el nivel de zoom adecuando la vista a su preferencia, a medida que se desplaza el robot el gráfico sigue el movimiento del mismo de modo que el operador no tiene necesidad de interactuar con la aplicación una vez configurada e iniciado el tracking.

Detección de tapones

La detección de tapones y artefactos se efectúa por comparación del modelo físico del generador enfrentado a los tubos detectados mediante visión

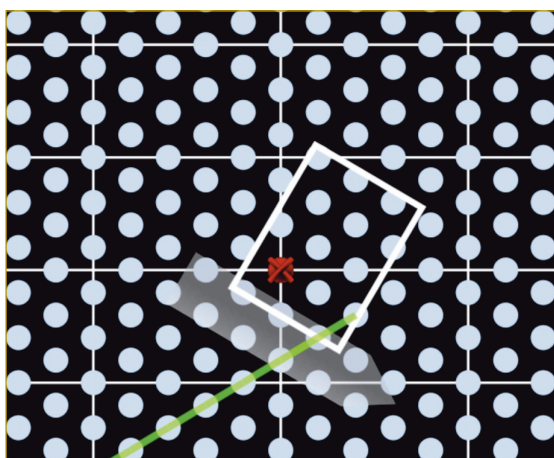


Figura 8. Tapón visto en la ventana 2D.

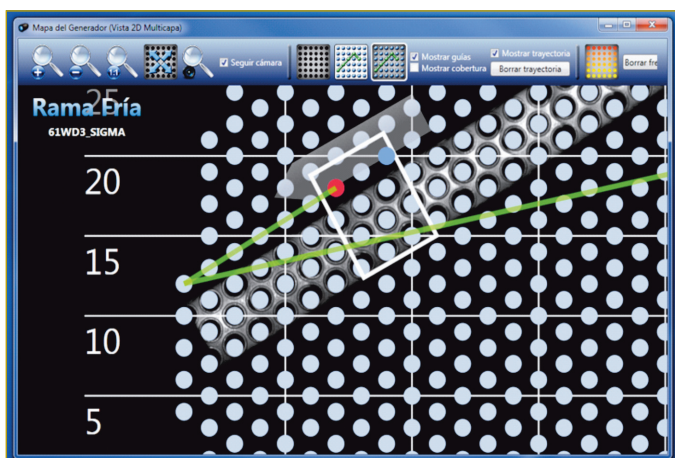


Figura 9. Vista de cámara 2D con fondo de reconstrucción fotográfica.

computacional. Un tubo que no sea detectado cuando está en vista de cámara y exista en el fichero modelo será *declarado tapón*, mostrando un icono del mismo en el gráfico 2D. La Figura 7 muestra el aspecto de un tapón y en la Figura 8 podemos ver la representación del mismo en el plano 2D.

Reconstrucción fotográfica. Concepto de realidad aumentada

Durante el seguimiento del movimiento del robot la aplicación corre un proceso interno cuya misión es capturar imágenes de cámara con la finalidad de hacer posteriormente una reconstrucción fotográfica del generador.

Dicha reconstrucción puede ser empleada como fondo de la vista 2D de modo que el usuario puede observar el aspecto real del generador al tiempo que se efectúa la inspección, mostrando el nivel de zoom que le interesa lo cual permite ir más allá de la limitación de vista de cámara aportando un nivel funcional que se denomina de "realidad aumentada". La Figura 9 muestra esta configuración del mapa 2D.

NUEVAS APLICACIONES DE LA VISIÓN COMPUTACIONAL EN SISTEMAS DE INSPECCIÓN

A continuación se mencionan algunos ejemplos donde la visión computacional va a aportar, o está aportando, mejoras de fiabilidad y supervisión del proceso de ensayo, mejoras que redundarán en operaciones más eficaces y con menor exposición a dosis.

No se trata de una lista exhaustiva, sino de una serie de ejemplos, entre los varios que podemos encontrar para sistemas de inspección. Dado que algunas de estas iniciativas están en curso de registro de patente su descripción es a nivel divulgativo de la tecnología conocida.



Figura 10. Aspecto típico de Baffle Bolt.

Inspección de los Baffle Bolts (tornillos de sujeción de las placas deflectoras de reactores nucleares a presión)

Para garantizar la integridad en los reactores nucleares se inspeccionan multitud de componentes, siendo uno de gran importancia el interno inferior del reactor, responsable éste de la integridad propiamente dicha del reactor. Dicho componente o estructura está formado por los *baffle plates* o placas del interno, ensambladas mediante pernos, por lo que su integridad es imprescindible.

Para ello se inspeccionan de forma regular unos 1.000 pernos ubicados en posiciones conocidas y siguiendo una distribución geométrica regular. Los tornillos, de acero inoxidable, presentan diversas geometrías (cilíndrica, hexagonal, con vaso, sin vaso...) y tecnología de sujeción (atornillados, atornillados y soldados, atornillados y sellados con una placa frontal...). Para comprobar su integridad se utilizan distintas técnicas ultrasónicas y siempre acompañadas de una inspección visual.

La Figura 10 muestra el aspecto típico de un *baffle bolt* y la Figura 11 su ubicación real en el interno del reactor.

Para el acceso a todos los pernos se utiliza típicamente un robot de al menos cinco ejes que permita alcanzar todos con un cabezal que incorpora los palpadores de ultrasonidos.

El entorno de operación es muy hostil: el robot de inspección trabaja bajo agua contaminada a profundidad de unos 20 metros, debe operar

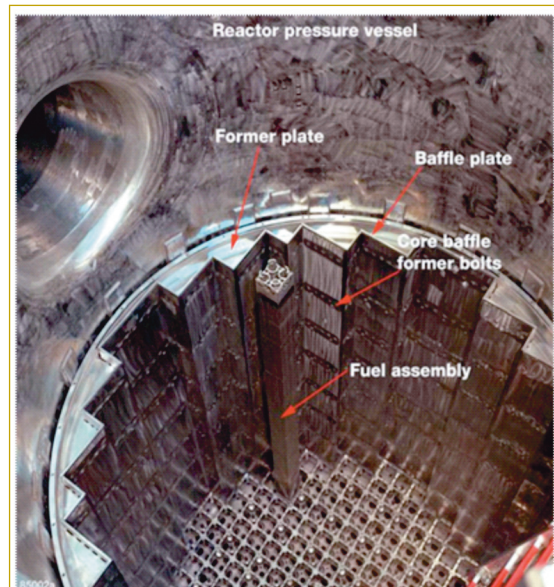


Figura 11. Vista real área de inspección de los Baffle Bolts (sin agua)

con un nivel de radiación alto por su proximidad al núcleo, potencialmente corrosivo por la concentración de boro existente en el agua y a temperatura aproximada de 35 grados centígrados.

En este entorno la visión computacional puede garantizar la correcta identificación del perno bajo inspección. Para ello, el operador debe identificar inicialmente el perno inicial en vista de cámara y posteriormente se procesarían *frame by frame* los movimientos de modo que mediante comparación con el modelo 3D al que se accede en paralelo permitiría indicar al operador el perno que está viendo en todo momento. La Figura 3 muestra el modelo 3D del robot ubicado sobre la zona de trabajo.

En este caso la aplicación de visión permite mediante un seguimiento redundante tener control permanente del perno bajo inspección, liberando al sistema de posibles fallos, aunque puede aportar otras ventajas añadidas: registro numérico de movimientos de máquina, registro visual de las zonas recorridas, etc. Tecnatom está actualmente trabajando en estos conceptos y mejoras al servicio.

Identificación de penetraciones de la tapa de vasija

Uno de los componentes críticos para garantizar la integridad del reactor es la tapa de la vasija donde se encuentran las penetraciones para los mástiles que sujetan las barras de control. Dependiendo del modelo de reactor, contienen entre 40 a 78 penetraciones, estas penetraciones están soldadas a la tapa, esta unión es el punto más débil de la tapa y por tanto son inspeccionadas con el mayor alcance posible, utilizando técnicas de ultrasonidos, corrientes inducidas y exámenes visuales.

La Figura 12 muestra el interior de una tapa donde se aprecia el *árbol de penetraciones*, y decimos árbol para indicar que una de las dificultades de esta inspección es la correcta identificación de cada una. La disposición de las mismas obedece a una geometría regular y conocida, de la que se dispone su modelo en 3D.

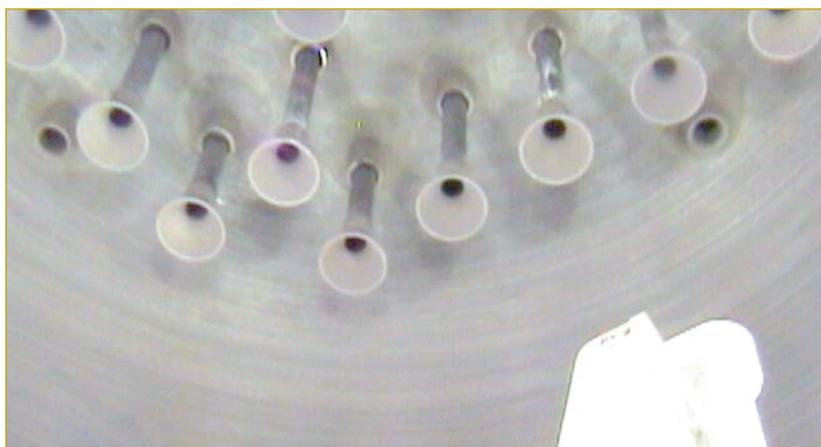


Figura 12. Aspecto interior de la tapa de al vasija.

Tecnatom presta los servicios de inspección de tapas mediante el equipo robotizado STAR, con cinco ejes de movimiento que permite situar la herramienta de inspección con las sondas de corrientes inducidas y ultrasonidos bajo cualquiera de las penetraciones de la tapa. Dicho equipo permite comandar movimientos precisos para situar el cabezal multitécnica (UT, ET, visual) bajo cualquiera de las penetraciones.

Con objeto de garantizar una correcta identificación de las penetraciones es posible disponer de un sistema de visión computacional que se encargue de hacer un seguimiento *frame a frame* para obtener la identificación de forma redundante.

Mediante una cámara alojada en la base del robot y apoyándose en el modelo 3D sería posible obtener la identificación de todas las penetraciones en vista de cámara, y por ende la que tiene como objetivo el cabezal de inspección. Mediante un sistema de

arbitraje que recogiese la información del robot STAR y la comparase con los datos provenientes del sistema de inspección se podría garantizar la correcta identificación. La Figura 13 muestra un gráfico conceptual del robot junto con el modelo de tapa en 3D.

Como valor añadido la visión artificial aportaría una gran ayuda a la operación mediante la visualización del modelo 3D y vista de cámara, y al mismo tiempo permitiría un registro digital de los movimientos efectuados por el robot durante la inspección. Tecnatom está actualmente trabajando en estos conceptos y mejoras al servicio.

Control dimensional de varillas

Una de los ensayos que pueden ser requeridos en determinados componentes es la medida en longitud de varillas con objeto de cuantificar su posible evolución en el tiempo.

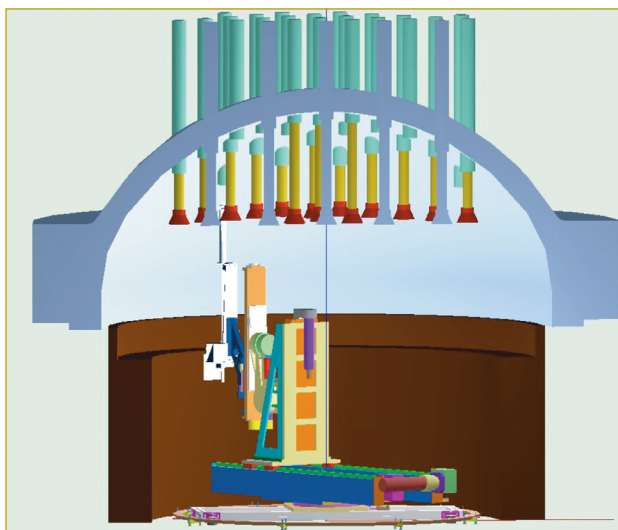


Figura 13. Modelo 3D del robot STAR en operación

Las técnicas de metrología mediante visión artificial vienen aplicándose con profusión en distintas áreas de aplicación desde hace largo tiempo, siendo una tecnología muy madura.

Tecnatom está desarrollando actualmente un sistema de medida de la longitud de varillas basado en visión artificial.

La técnica es simple: se posiciona la varilla en una cuna calibrada y se mide la posición del extremo superior en un panel con marcas calibradas de modo que mediante una captura de una imagen es posible determinar con precisión ($< 0,5$ mm) la posición del extremo de la varilla respecto al plato.

Una vez más nos encontramos con la dificultad añadida de trabajo en entorno hostil: por ej. medida bajo agua contaminada, nivel de radiación alto, etc.

La Figura 14 muestra la disposición del sistema de medida. Cabe destacar que se emplea una cámara con una protección de wolframio al objeto de proteger su electrónica contra la radiación, y se emplea un espejo para evitar la exposición directa de la cámara a la varilla radiante.

Vigilancia y monitorización pasiva

Las aplicaciones de visión en vigilancia son de gran interés para el entorno nuclear. La función de la visión es procesar de forma automática las imágenes para obtener información de presencia de personas u objetos, sin

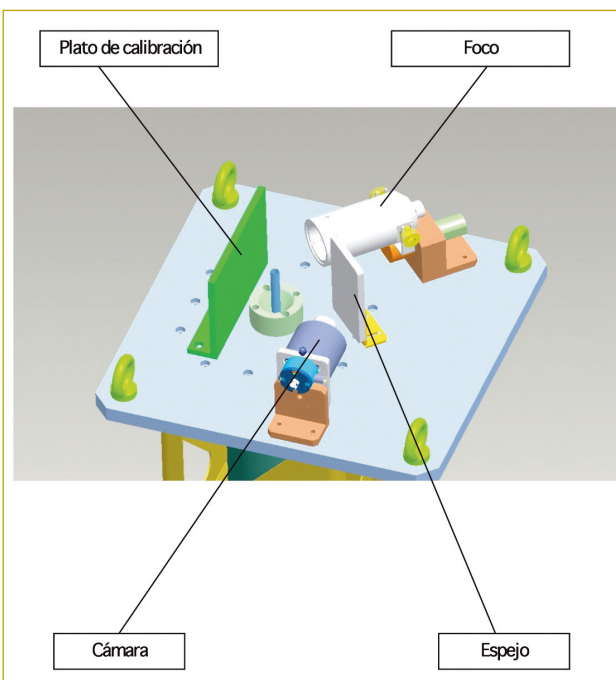


Figura 14. Medida de longitud de varillas.

necesidad del factor humano. Aunque es un tema extenso y muy desarrollado que daría para un artículo monográfico comentaremos como reseña algunas que consideramos de gran utilidad en centrales nucleares:

- Video-vigilancia para monitorización de zonas y accesos críticos, con objeto de detectar presencia de personas.
- Control de accesos biométrico, (iris, huella dactilar, reconocimiento facial 3D, etc.).
- Reconocimiento de objetos incorrectamente ubicados.
- Análisis automático de imagen termográfica para detección de puntos calientes.

OTRAS APLICACIONES Y USOS DE LA VISIÓN COMPUTACIONAL EN CENTRALES NUCLEARES

Se podrían enumerar múltiples posibles aplicaciones de visión computacional en ambientes nucleares, aunque hay otras muchas que ya se están utilizando como pueden ser:

- Inspección visual. Detección de defectos abiertos a superficies de forma automática.
- Metrología 2D y 3D para identificación de distorsiones dimensionales en componentes críticos.
- Robótica: Hemos presentado aplicaciones de cooperación robot-visión pero existen otros campos de aplicación poco desarrollados y con gran futuro, como puede ser el

guiado de robots móviles para intervenciones en condiciones de alta radiación.

CONCLUSIONES

En los últimos años hemos asistido a un crecimiento considerable de aplicaciones de VC en diversos entornos de producción y control de calidad donde cabe destacar la numerosa implantación de soluciones en la industria del automóvil. Consideramos que en el sector nuclear todavía hay mucho por hacer, previsiblemente asistiremos a un crecimiento de soluciones en áreas como:

- Seguridad -mediante la mejora y automatización de inspección visual-
- Sistemas de inspección -mediante la cooperación de la VC y robótica-
- Metrología -para análisis de deformaciones-

Las aplicaciones en el sector nuclear además de ser útiles y fiables deben cumplir las estrictas normativas de nuestro sector. A esto se añaden las dificultades técnicas impuestas por las condiciones de trabajo de máxima hostilidad: accesos, radiación, inmersión en aguas contaminadas, altas temperaturas, etc... que no impiden el desarrollo de soluciones concretas como las que se han presentado en este artículo que pueden aportar mayor seguridad en los procesos de inspección y por tanto en la seguridad de la operación.

Tecnatom ha apostado por la línea de visión computacional como un complemento ideal a los sistemas de inspección propios que debe aportar mayor fiabilidad y que puede aportar mejoras en los diversos servicios de inspección que actualmente ofrece.

REFERENCIAS

- [1] D.Ballard, C.Brown, Computer Vision, New Jersey: Prentice Hall, 1982
- [2] L.Brem an N.Nandhakumar, University of Virginia; A Machine Vision System for Positioning a Teleoperated Servicing Tool Head, Machine Vision and Applications Volumen 7, No3 (1994) 187-198, DOI: 10.1007/BF01211663.
- [3] E.R.Davies, Machine Vision. London: Academic Press, 1977
- [4] L.Enrique Sucar, Giovanni Gómez, INAOE, Puebla, México Helmholtz Zentrum Munchen, Neuherberg, Alemania. Monográfico "Visión Computacional" . Disponible en Web <http://ccc.inaoep.mx/~esucar/Libros/vision-sucar-gomez.pdf>
- [5] Combustion Engineering, Inc. Dynamic Position Trackin and Control of Robots, Unites States Patent, No 5,838,882, 17 Nov. 1998.
- [6] ABB Combustion Engineering Nuclear Power Inc., Visual Tube Position Verification System, PCT-Patent Cooperation Treaty WO 00/03846, 27 Enero 2000.■

CONVOCATORIAS 2012

Congresos, Cursos y Reuniones

24-28 JUNIO CHICAGO, EEUU	ICAPP INTERNATIONAL CONGRESS ON THE ADVANCES IN NUCLEAR POWER PLANTS 2012 ANS, SFEN, KNS, AESJ Info: www.icapp.ans.org
30 JULIO - 3 AGOSTO ANAHEIM, CALIFORNIA, EEUU	ICONE 20: 20TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON NUCLEAR ENGINEERING Nuclear Engineering Division of ASME Info: www.asmeconferences.org/ICONE20POWER2012
5 - 11 AGOSTO CHARLOTTE, EEUU	IYNC 2012 "INTERNATIONAL YOUTH NUCLEAR CONGRESS" IYNC, North American Young Generation Info: www.iync.org
22 - 31 AGOSTO AIX EN PROVENCE, FRANCIA	Frédéric Joliot Otto Hahn Summer School 2012 CEA, KIT Info: www.fjohss.eu
2 - 6 SEPTIEMBRE MANCHESTER, REINO UNIDO	TOPFUEL 2012 European Nuclear Society (ENS) Info: www.euronuclear.org/events/topfuel/topfuel2012
17-19 OCTUBRE CÁCERES, ESPAÑA	38ª REUNIÓN ANUAL DE LA SOCIEDAD NUCLEAR ESPAÑOLA Sociedad Nuclear Española (SNE) Info: www.reunionanualsne.es