



IV JORNADAS
sobre Tecnologías y Soluciones para la
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

4ª SESIÓN



MIÉRCOLES 17, 10:00-10:30

**Desarrollo de un sistema para
soldadura láser robotizada
en generadores de vapor de centrales
nucleares**

Ponentes:



- **D. Félix Vidal**
(Técnico I+D, AIMEN)



QUIENES SOMOS



Proyecto co-financiado



FONDO EUROPEO DE
DESARROLLO
REGIONAL
"Una manera de hacer Europa"

Proyecto realizado en colaboración con:





IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

QUIENES SOMOS

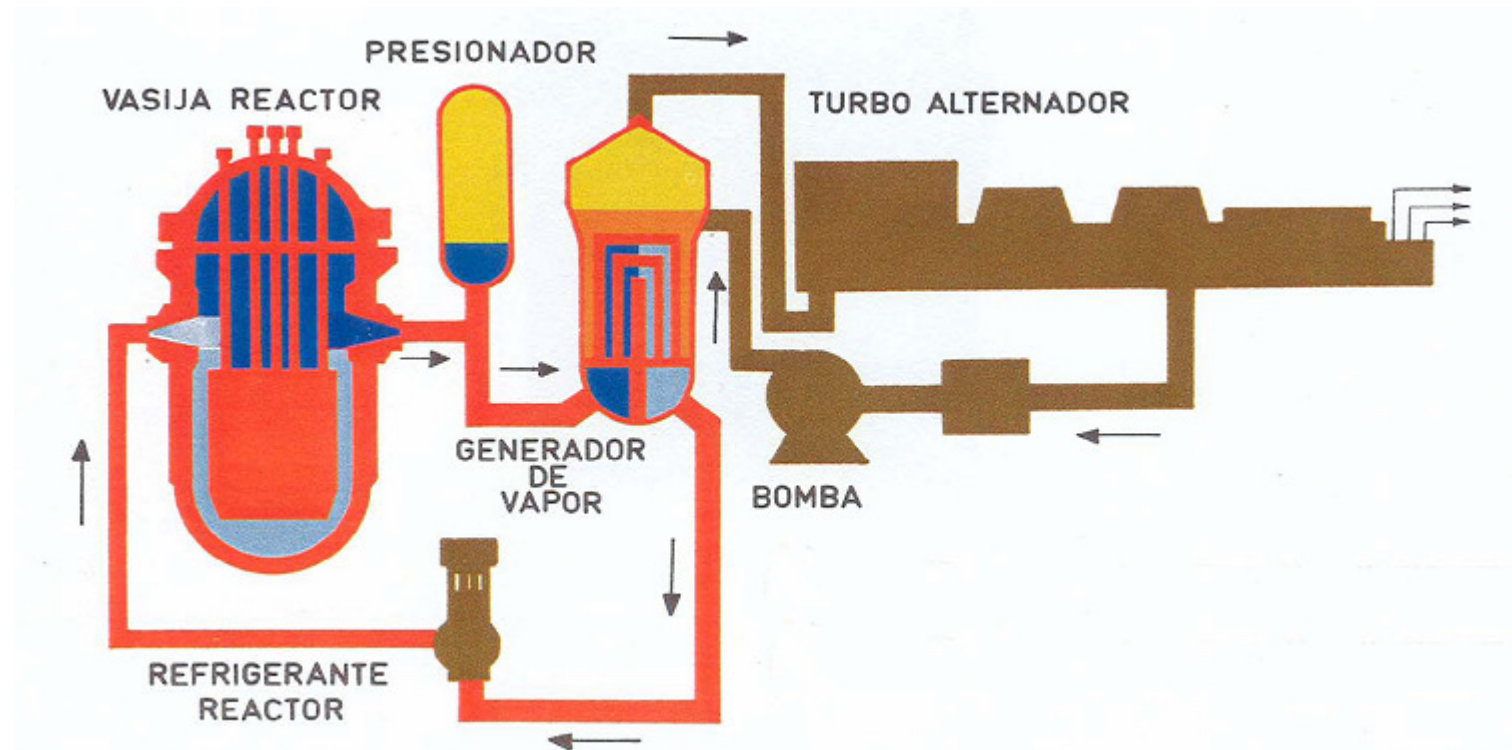
ENSA es un fabricante especializado en componentes del primario de centrales nucleares.





IV Jornadas sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

QUIENES SOMOS



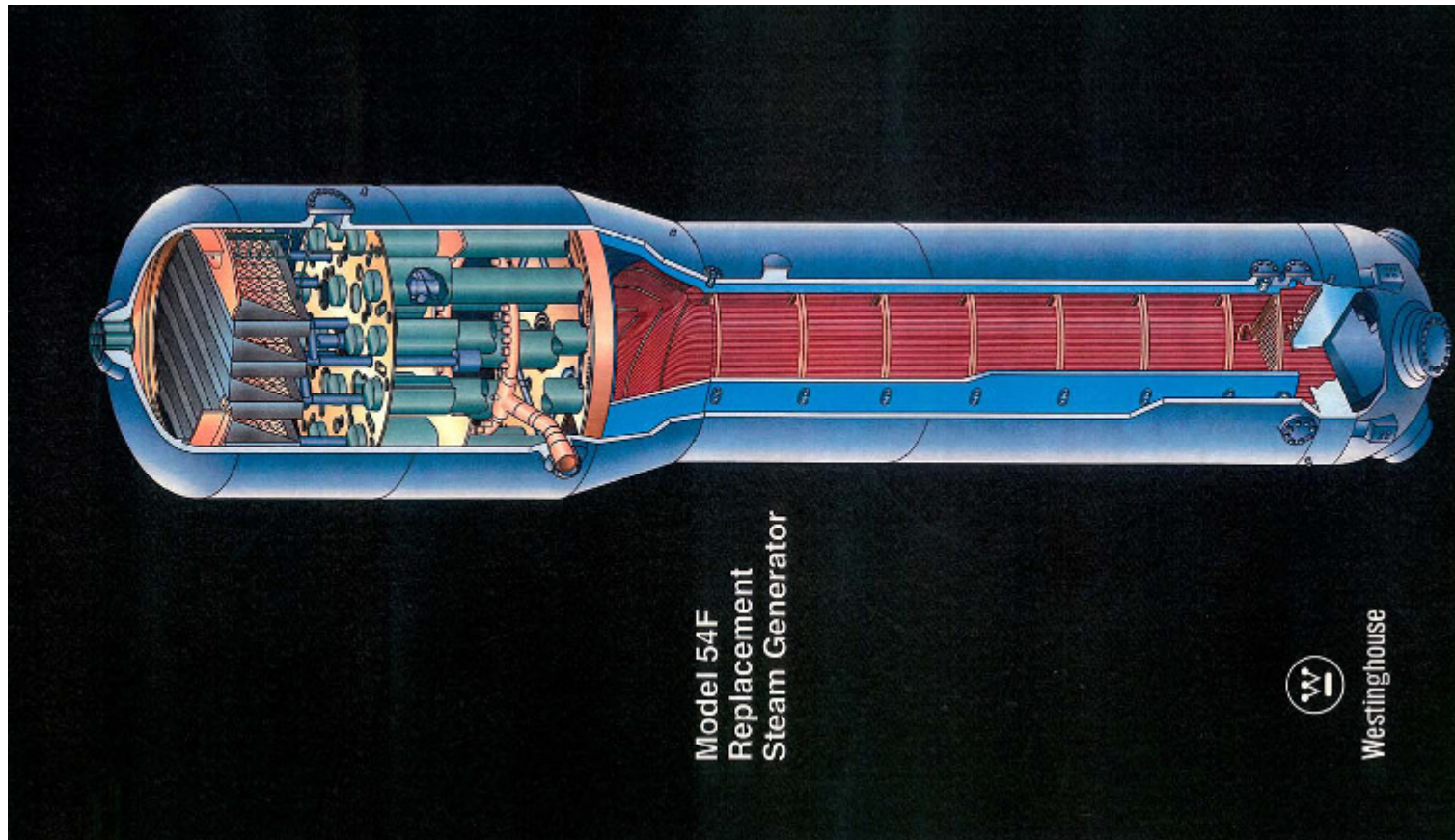
ENSA fabrica la vasija del reactor, el presionador, el generador de vapor y la correspondiente tubería. El producto estrella es el generador de vapor.



IV Jornadas sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

QUIENES SOMOS

Esquema de un generador





IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

AIMEN (Asociación de Investigación Metalúrgica del Noroeste), se constituyó en Vigo en 1967, promovida por un grupo de empresarios gallegos, con el fin de fomentar el I+D+i y prestar servicios tecnológicos de alto valor añadido.

- Referente nacional en la investigación de los Materiales y Tecnologías de Unión.
- Asociación privada sin ánimo de lucro.
- 109 empresas asociadas y más de 500 clientes.
- 81.500 informes técnicos emitidos.
- 100 proyectos de I+D+i anuales.





IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

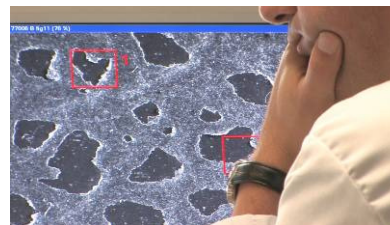
Planta Tecnologías Unión
(PTU)



Centro de Aplicaciones Láser



Ensayos y Análisis de Materiales



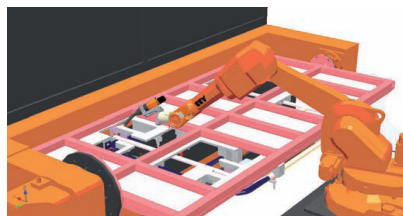
Materiales y Procesos
Fabricación (MPF)



Inspección y Ensayos No
Destructivos



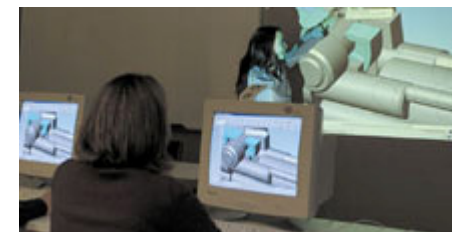
Diseño, Simulación y
Automática



Proyectos e Instalaciones
Industriales



Formación



Organización Industrial y
Sistemas de Gestión



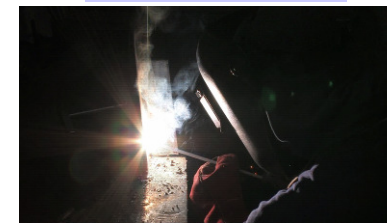
Medio Ambiente



Gestión de Programas de
Financiación



Área de Transferencia de
Tecnología (ATT)





IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

OBJETIVOS DEL PROYECTO

PRODUCTO OBJETO DEL ESTUDIO → Intercambiadores de calor





IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Intercambiadores de calor → Uniones placa-tubo





IV JORNADAS **sobre TECNOLOGÍAS y SOLUCIONES PARA LA** **AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

El objetivo principal del proyecto es desarrollar un proceso de soldeo láser automatizado para la realización de las uniones placa/tubo de los intercambiadores de calor para aplicaciones nucleares.

¿ Para qué?

**Aumentar
el grado de automatización
del proceso productivo**

**Acortar
los tiempos de
producción**

**Mejorar las
condiciones
laborales**

**Incrementar
la producción**





IV JORNADAS **sobre TECNOLOGÍAS y SOLUCIONES PARA LA** **AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

El objetivo principal del proyecto es desarrollar un proceso de soldeo láser automatizado para la realización de las uniones placa/tubo de los intercambiadores de calor para aplicaciones nucleares.

¿ Cómo ?

Estudio de la viabilidad técnica del soldeo mediante tecnología láser

Transición de una soldadura a otra de forma automatizada

Localización de la junta de forma precisa

Dividir el tiempo de soldeo tubo/placa entre tres



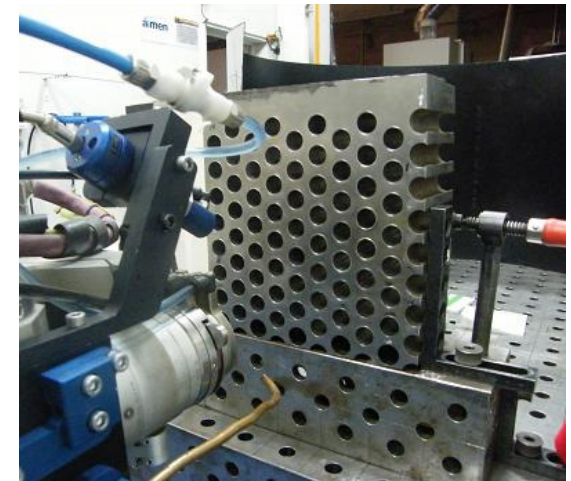
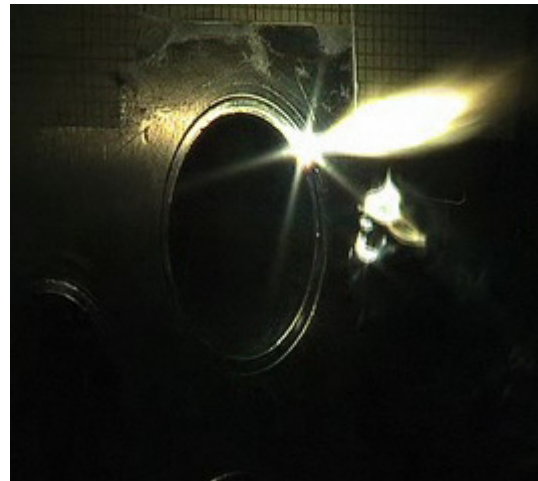


IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

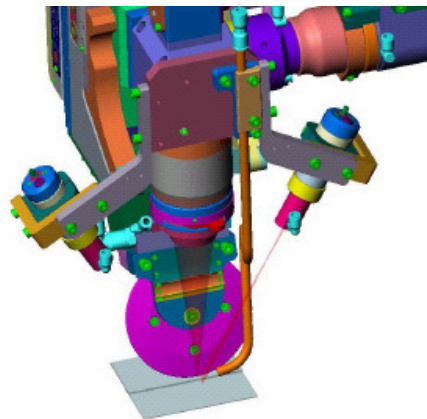
PROCEDIMIENTO

LINEAS DE INVESTIGACIÓN

Proceso de soldeo
láser



Detección de la
unión de la junta





IV Jornadas sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

PROCEDIMIENTO

Proceso de soldeo láser →
Equipamiento



Fuente Nd:YAG de 4,4kW, Fibra óptica de 0,4mm, Robot ABB IRB 6600



IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

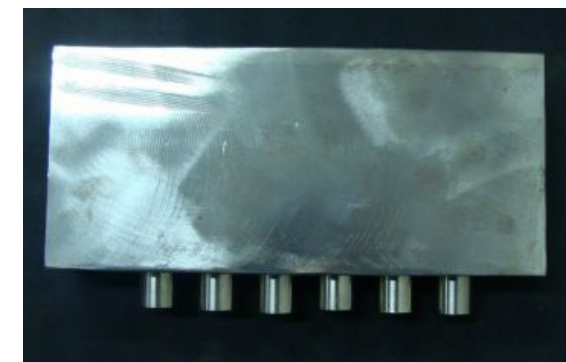
Proceso de soldeo láser

PROCEDIMIENTO

Pruebas de soldeo: Parámetros

- Potencia láser
- Velocidad soldeo
- Protección gaseosa
- Distancia focal

Pruebas de soldeo: Cupones de pruebas



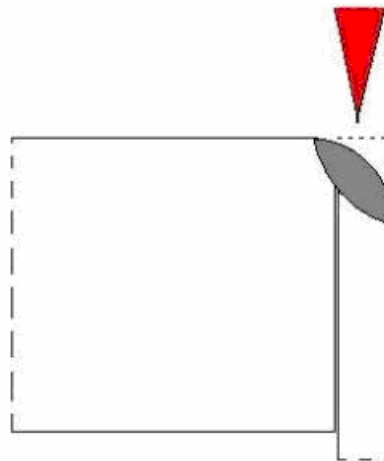


IV Jornadas sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

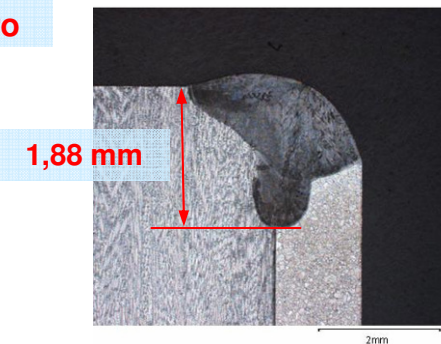
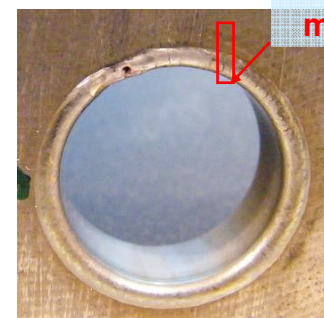
Proceso de soldeo láser

PROCEDIMIENTO

Borde fundido



1400W / 120grad/s / f- 4mm / caudal 30l/min Helio





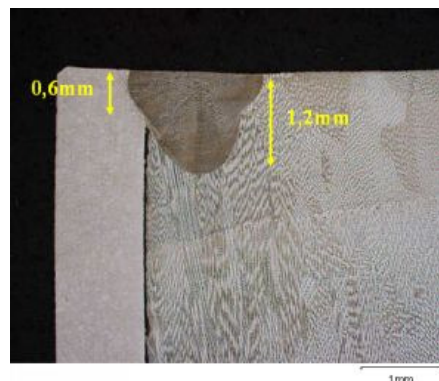
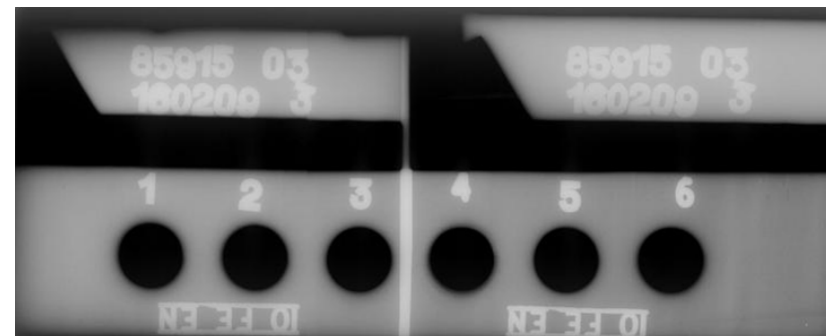
IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Proceso de soldeo láser

PROCEDIMIENTO

Pruebas de soldeo: Evaluación cupones

- Macrografías.
- Micrografías.
- Líquidos penetrantes.
- Radiografía.

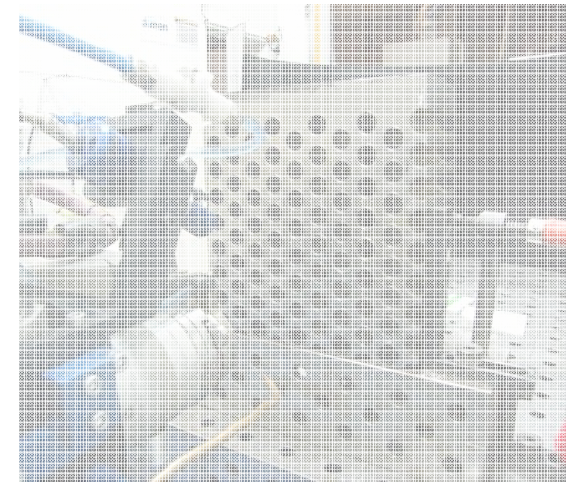




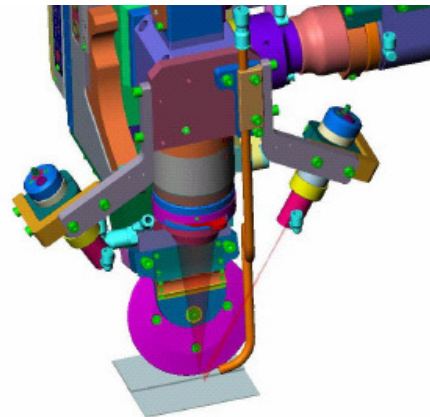
IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

PROCEDIMIENTO

Proceso de soldado
láser



Detección de la
unión de la junta



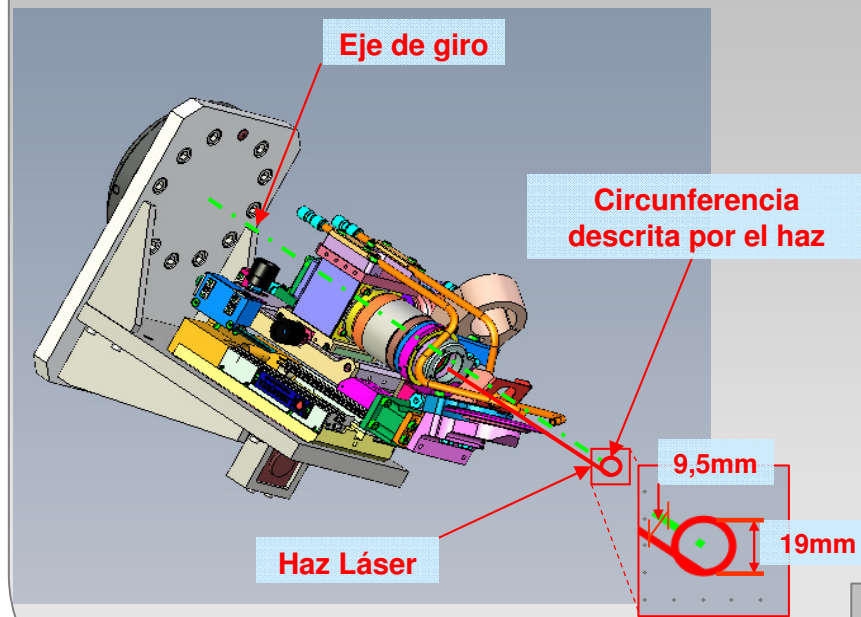


IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Detección de la junta

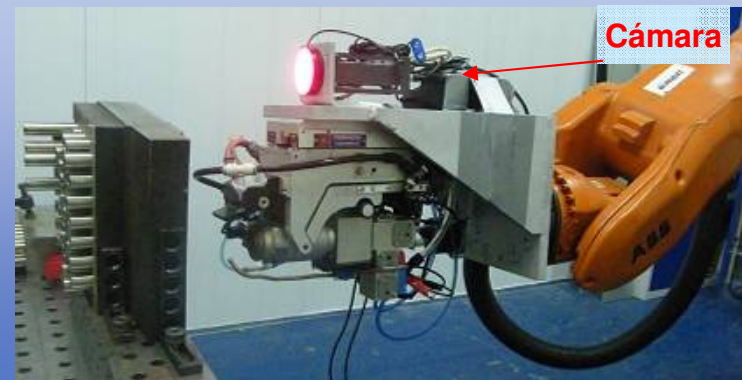
PROCEDIMIENTO

Cabezal Orbital

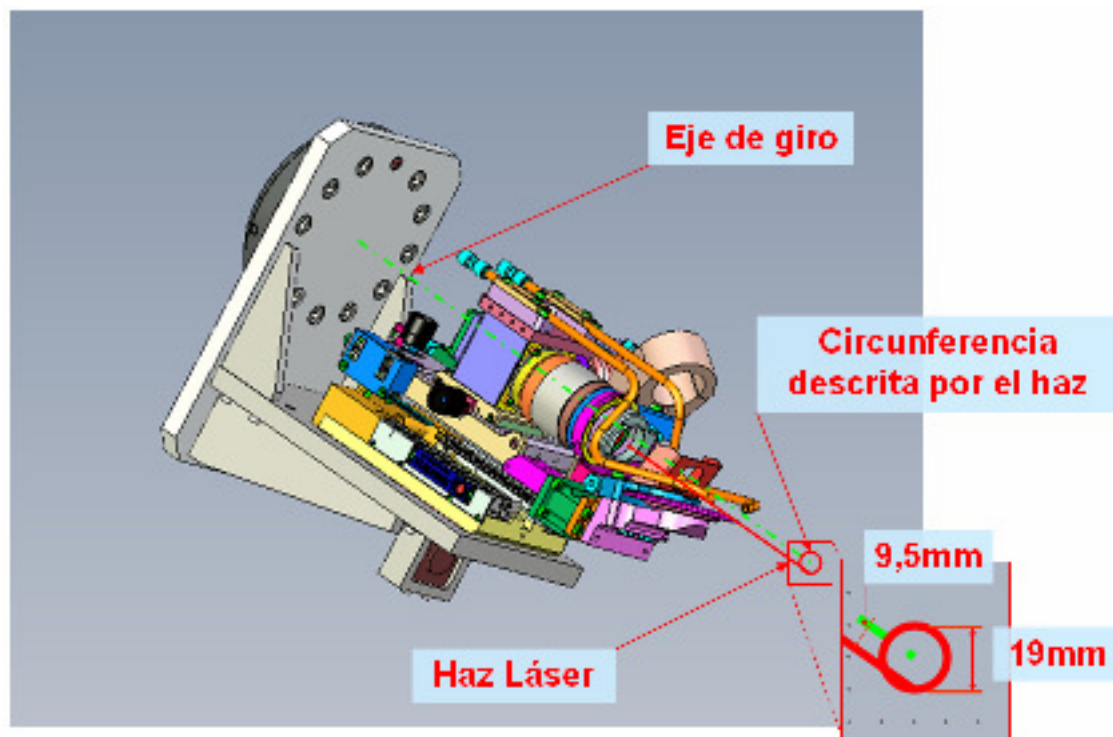


Uillaje diseñado para el movimiento orbital del cabezal

Desarrollo de un sistema de localización de junta



Detección de la junta



PROCEDIMIENTO

Iluminación + Sistema visión

Adquisición de imagen

Procesado

Posición de la junta



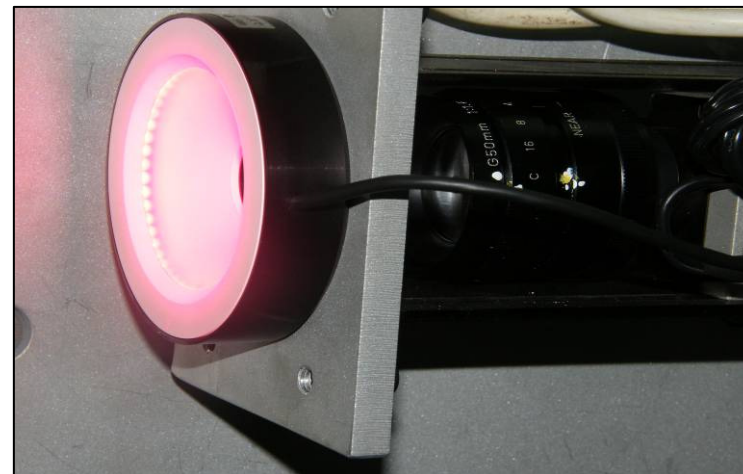
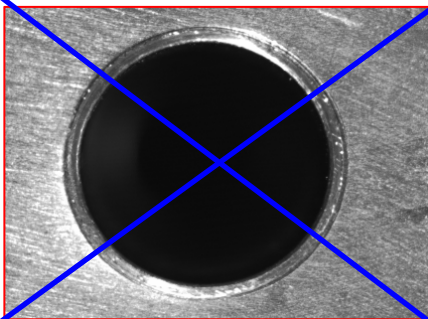
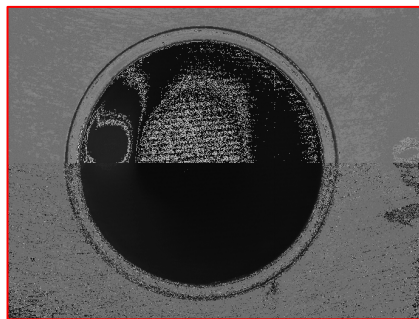
IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Detección de la
junta

PROCEDIMIENTO

Iluminación + Sistema visión

- Iluminación difusa en anillo con un ángulo de incidencia de 70°





IV Jornadas sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Detección de la junta

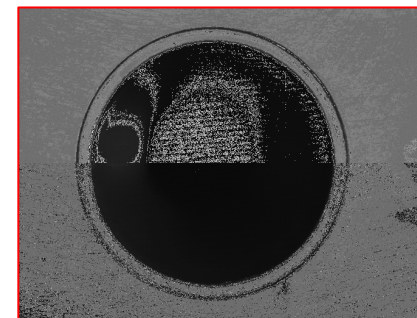
PROCEDIMIENTO

Iluminación + Sistema visión

- Cámara de alta resolución (1360 x 1024 pixeles).
- Óptica de 50 mm + tubo extensor de 10 mm.



- Óptica de 50 mm + tubo extensor 10 mm resolución de 0.02 mm/pixel.



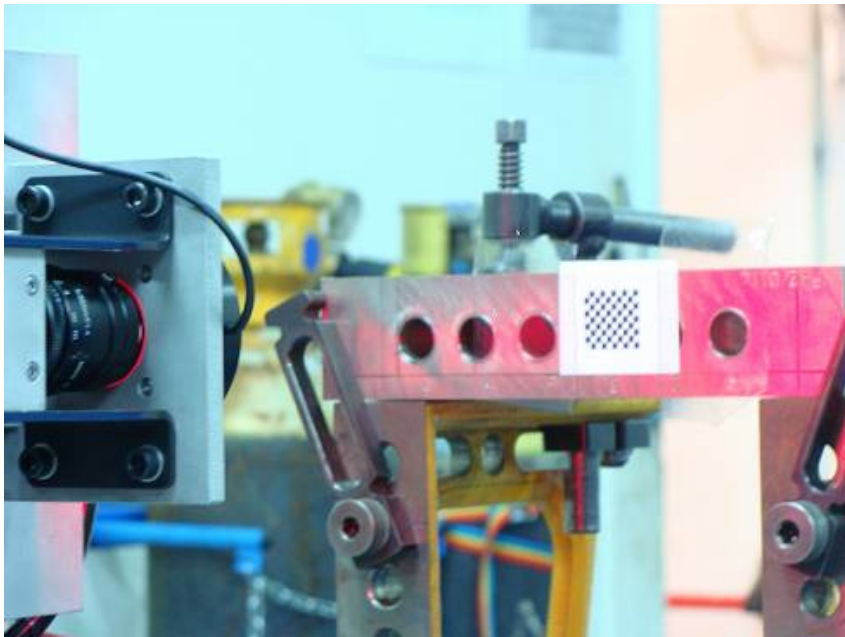


IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Detección de la
junta

Calibración

Diferentes imágenes de un patrón conocido



PROCEDIMIENTO

Características de la cámara

Cambio de sistema de
coordenadas mundo-cámara

$$\begin{bmatrix} u' \\ v' \\ w' \end{bmatrix} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_3 & | & \mathbf{0}_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{R} & -\mathbf{R}\tilde{\mathbf{C}} \\ \mathbf{0}_3^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \\ 1 \end{bmatrix}$$

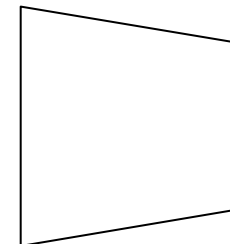
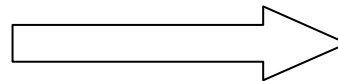
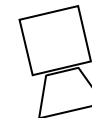


IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Detección de la
junta

PROCEDIMIENTO

Calibrado Perspectiva: Compensa el error asociado a un posible error en la disposición de la cámara respecto al plano



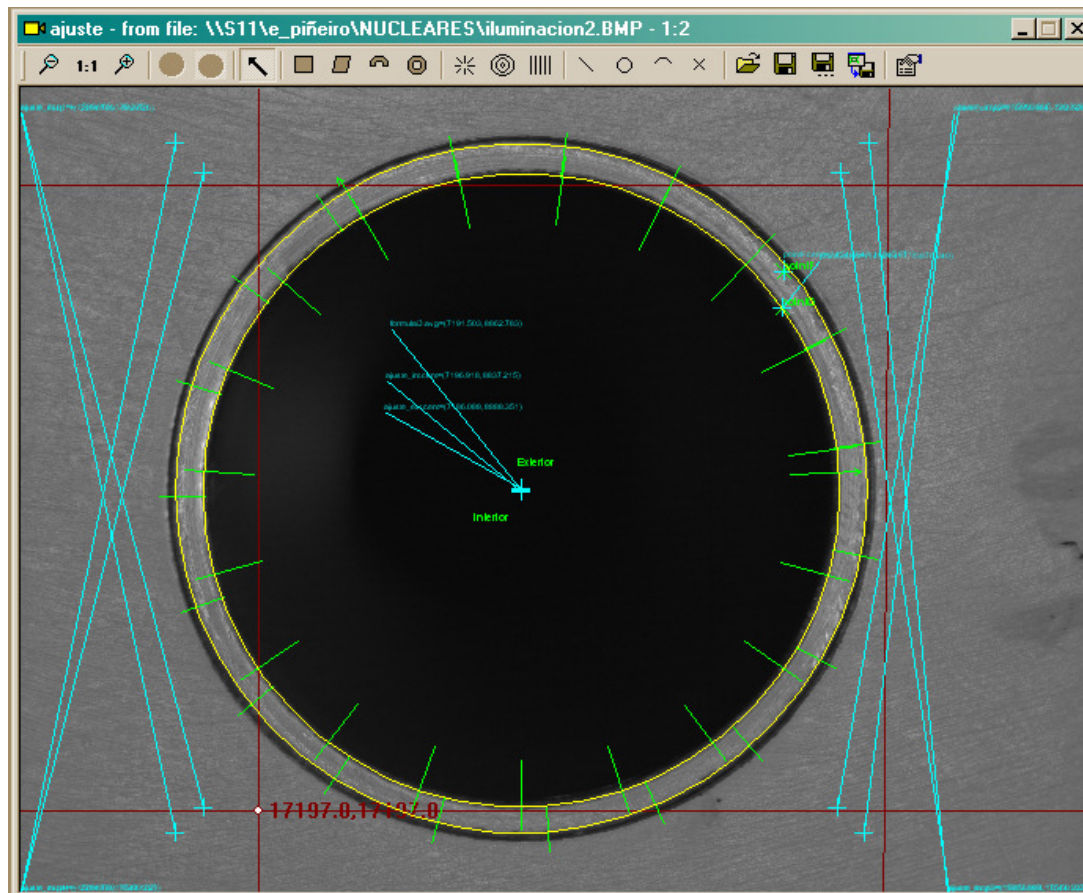


IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Detección de la
junta

PROCEDIMIENTO

Desarrollo de un sistema de localización de junta



ERROR EN LA ESTIMACIÓN
DEL CENTRO

$$(X-X_c)^2 + (Y-Y_c)^2 = R^2$$

$$R\delta R = (X-X_c)(\delta x + \delta X_c) + (Y-Y_c)(\delta Y_c + \delta Y)$$

$$\delta R = (\delta X + \delta X_c)$$

$$\delta X_c = 0.05 \text{ mm}$$



IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Detección de la
junta

PROCEDIMIENTO

Diseño de un sistema de seguimiento de junta mediante visión artificial





IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

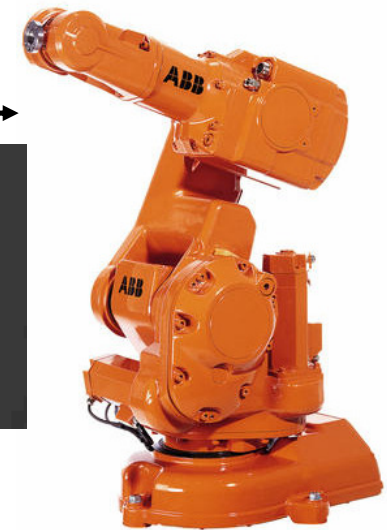
Detección de la
junta

PROCEDIMIENTO

Diseño de un sistema de seguimiento de junta mediante visión artificial



1ª Pasada de inspección



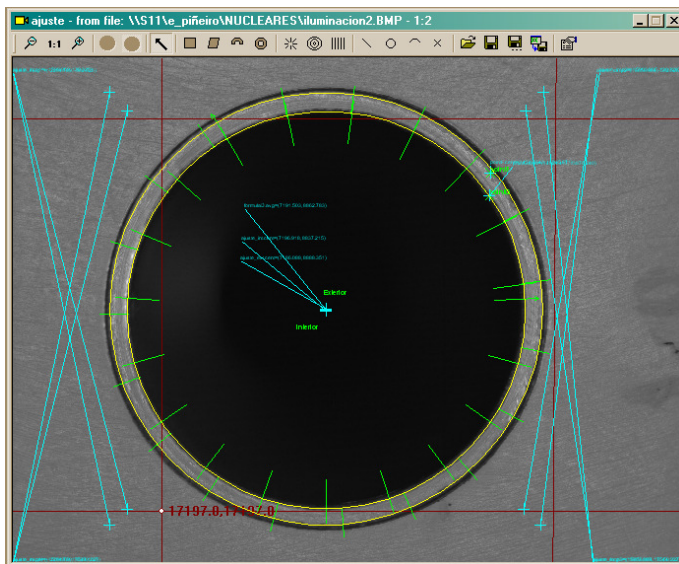


IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Detección de la
junta

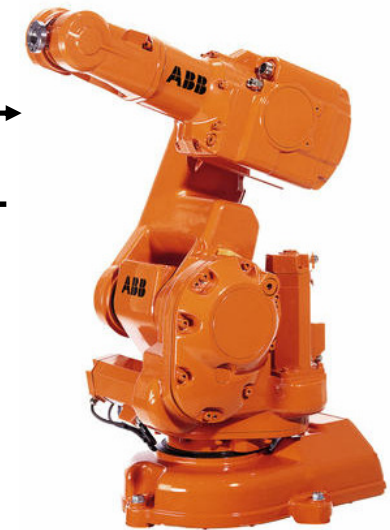
PROCEDIMIENTO

Diseño de un sistema de seguimiento de junta mediante visión artificial



1ª Pasada de inspección

Datos cámara y datos ABB



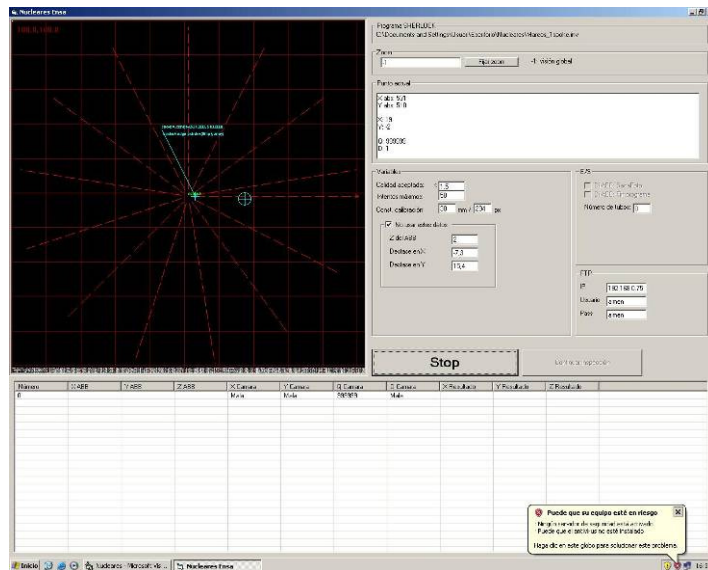


IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Detección de la
junta

PROCEDIMIENTO

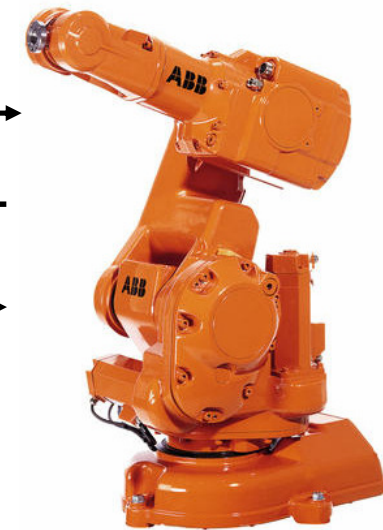
Diseño de un sistema de seguimiento de junta mediante visión artificial



1ª Pasada de inspección

Datos cámara y datos ABB

Procesado de la información





IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Detección de la
junta

PROCEDIMIENTO

Diseño de un sistema de seguimiento de junta mediante visión artificial

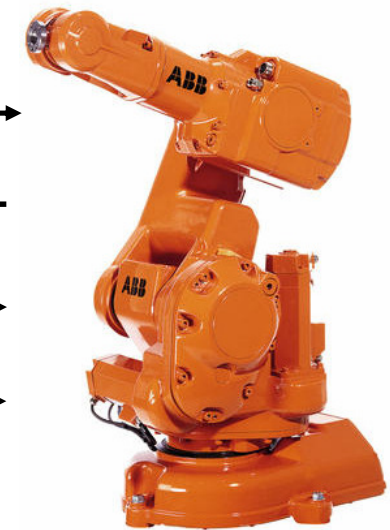


1ª Pasada de inspección

Datos cámara y datos ABB

Procesado de la información

Inicio de soldadura



Comunicación datos cámara y datos posición ABB → Ethernet.
Sincronismo → E/S de sincronización.



IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Detección de la
junta

PROCEDIMIENTO

Diseño de un sistema de seguimiento de junta mediante visión artificial

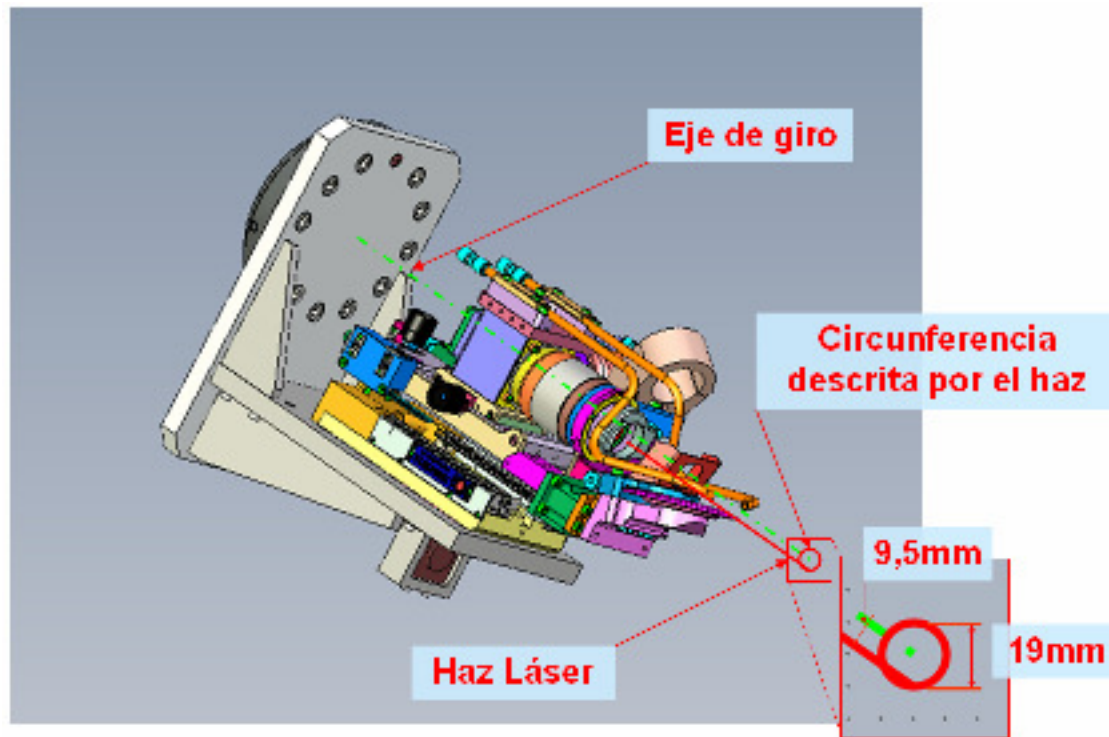
Precisión obtenida en el posicionamiento (± 0.2 mm)





IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Detección de la junta



$$\mathbf{r}_s = \mathbf{r}_c + \mathbf{T}_{ct} + \mathbf{T}_{LC} + \mathbf{T}_{eg} (\pm 0.2 \text{ mm})$$

PROCEDIMIENTO

Transformación de
coordenadas

Definición Work Object

Coordenadas cámara-WO

Traslación Cámara-Láser

Traslación Eje de giro
Al centro del tubo



IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Detección de la junta

PROCEDIMIENTO

Nucleares Ensa - M. Vila - 2009/2010

Programa SHERLOCK
C:\Documents and Settings\Usuario\Escritorio\Nucleares\09 - Programa\1 spoke.inv

Zoom: Zoom + Zoom 0 Zoom -

Datos: Exportar datos CSV

Variables:

Calidad aceptada: < 4

Díametro int. tubo: min 16 max 18

Intentos máximos: 20

Calibración láser: X: 4.3 Y: 271.2

Calibración centro: X: -9.059 Y: 3.213

Z del ABB: -31.5 Usar la de captura

E/S:

☒ D:\ABB: SecoFoto Número de tubos: 6

☒ D:\ABB: Fin programa

FTP:

IP: 192.168.0.73

Usuario: aimen

Pass: aimen

Start Continuar inspección

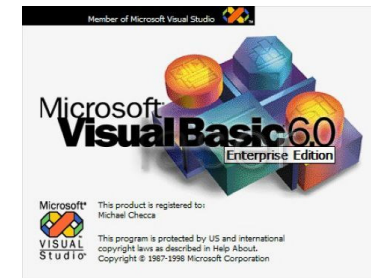
Número	X ABB (mm)	Y ABB (mm)	Z ABB (mm)	X Cámara (mm)	Y Cámara (mm)	Q Cámara	D Cámara (mm)	CalibCentroX	CalibCentroY	X Resultado (mm)	Y Resultado (mm)	Z Resultado (mm)
0	-110.649	-263.925	-31.5238	10.3382	8.6215	1.4245	17.3244	3.213	-9.059	-113.4742	-10.4055	-31.5
1	-136.95	-263.912	-31.5281	10.2719	8.6519	0.9484	17.0794	3.213	-9.059	-139.7089	-10.4229	-31.5
2	-163.243	-263.919	-31.5272	10.27	8.5909	1.0972	17.2269	3.213	-9.059	-166	-10.3869	-31.5
3	-189.548	-263.922	-31.5292	10.2024	8.6056	1.4303	17.2633	3.213	-9.059	-192.2374	-10.3866	-31.5
4	-215.861	-263.926	-31.5273	10.0226	8.6457	0.8431	17.1005	3.213	-9.059	-218.3706	-10.4307	-31.5
5	-242.159	-263.926	-31.5266	9.9266	8.6387	3.9955	17.5033	3.213	-9.059	-244.5726	-10.4237	-31.5
6	-268.451	-263.92	-31.5245	9.7194	8.6352	2.422	17.3235	3.213	-9.059	-270.6574	-10.4142	-31.5

Coordenadas Robot

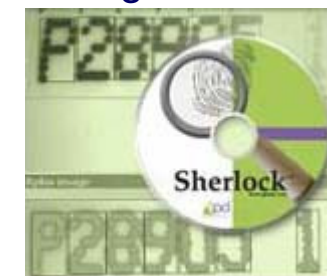
Coordenadas Cámara

Posición final

- Aplicación en Visual Basic.



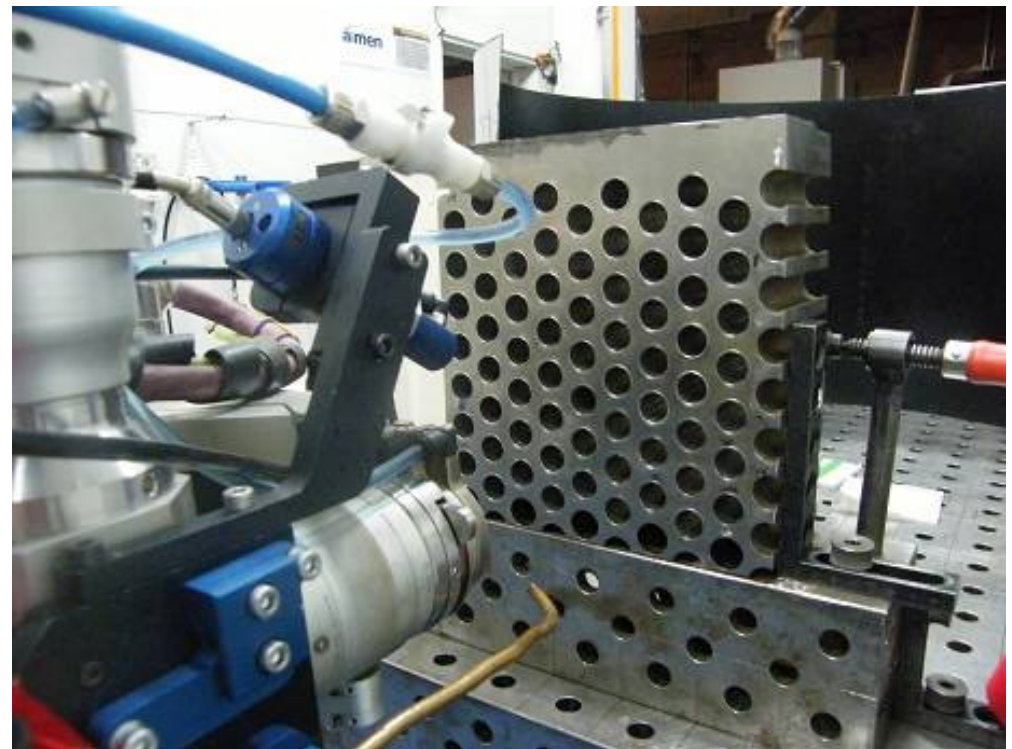
- Procesado imagen.





IV Jornadas sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

REALIZACIÓN DE UN DEMOSTRADOR



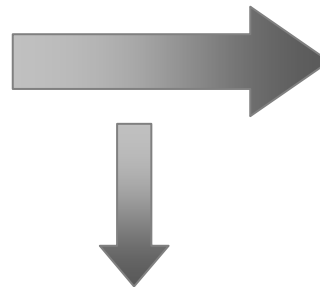


IV JORNADAS **sobre Tecnologías y Soluciones para la** **AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

CONCLUSIONES

El objetivo principal del proyecto es desarrollar un proceso de soldeo láser automatizado para la realización de las uniones placa/tubo de los intercambiadores de calor para aplicaciones nucleares

Proceso TIG



**Proceso Láser
automatizado**

- Viabilidad Técnica del empleo del proceso de soldeo por láser.
- Transición de una soldadura a otra de forma automatizada.
- Localización de forma precisa de la junta a soldar.
- Dividir el tiempo de ejecución del soldeo tubo/placa por tres.





IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

- Viabilidad Técnica del empleo del proceso de soldeo por láser.



- Se han obtenido uniones de buena calidad.
- Las uniones obtenidas cumplen con los estrictos requisitos metalúrgicos y geométricos especificados.

- Transición de una soldadura a otra de forma automatizada.
- Localización de forma precisa de la junta a soldar.



- Es posible emplear visión artificial para la localización de la junta, sin embargo la precisión proporcionada por el robot no es la ideal para este tipo de aplicación.

- Dividir el tiempo de ejecución del soldeo tubo/placa por tres.



- Mientras el tiempo de la realización de un tubo en el proceso TIG es de 40s, en el proceso láser, con los parámetros empleados actualmente, sería de unos 13s, incluyendo la lectura y el posicionamiento.





IV Jornadas **sobre Tecnologías y Soluciones para la** **Automatización Industrial**

Gracias por su atención

AIMEN – Central y Laboratorios

c/ Relva 27 A

36410 – O Porriño (Pontevedra)

Telf.+34 986 344 000 – Fax. +34 986 337 302

Delegación Ourense

Parque Tecnológico de Galicia
32900 – SAN CIBRAO DAS VIÑAS
Ourense
Telf. +34 988 548 240
Fax. +34 988 548 243

Delegación A Coruña

Fundación Mans – Paideia
Pol. Pocomaco - Parcela D-22 - Oficina 20A
15190 – A CORUÑA
A Coruña
Telf. +34 617 395 153

Delegación Santiago

C. Univ. Sur – Edif. Feuga – Despacho nº3
Rúa Lope Gómez de Marzoa
15705 – SANTIAGO DE COMPOSTELA
A Coruña
Telf. +34 981 525 503
Fax. +34 981 525 503

