



**Universidad  
Zaragoza**

## Proyecto Fin de Carrera

Medición y calibración de utillajes de soldadura mediante  
sistema de visión 3D y máquina de medir por  
coordenadas

Autor

**Javier David Sola Alba**

Director

**Juan José Aguilar Martín**

Codirector

**Francisco Javier Brosed Dueso**

Escuela de Ingeniería y Arquitectura / Universidad de Zaragoza/Departamento de Ingeniería de Diseño y  
Fabricación

2012-2013

**Repositorio de la Universidad de Zaragoza – Zaguan**

<http://zaguan.unizar.es>





# **Medición y calibración de utillajes de soldadura mediante sistema de visión 3D y máquina de medir por coordenadas**

## **Resumen**

---

El objetivo de este proyecto consiste en desarrollar el procedimiento para medir la planitud de utillajes de soldadura para la fabricación de intercambiadores de calor mediante un sistema de visión 3D, puesta a punto del procedimiento en diversos modelos y la calibración del sistema utilizando una máquina de medir por coordenadas.

Para ello, se explica en primer lugar cómo son los procedimientos que hay que realizar para medir tanto con el sistema de medición por visión 3D, como con la máquina de medir por coordenadas, incluyendo el procedimiento de creación de los archivos y ficheros que hay que hacer para poder introducirlos en los sistemas de medición.

Puesto que el sistema de visión utiliza distintas ganancias para el láser, se hace un estudio de las medidas obtenidas con dicho sistema para tres piezas sometidas a estudio y se comparan con las obtenidas con la máquina de medir por coordenadas, para verificar cuál será la ganancia idónea del láser a aplicar en las mediciones.

Finalmente se realiza la calibración del sistema de visión 3D a partir de las medidas obtenidas con el sistema de visión, así como las obtenidas con la máquina de medir por coordenadas. Adicionalmente, para la obtención de la incertidumbre de la máquina de medir por coordenadas se realiza una comparativa entre el método de obtención de incertidumbres habitual y la aplicación de la simulación de Monte Carlo.



# Tabla de contenidos

---

1	Introducción .....	3
1.1	Marco .....	3
1.2	Objetivos .....	3
1.3	Alcance .....	4
1.4	Descripción de la memoria .....	5
2	Generación de plantillas, ficheros CAD y ficheros de configuración .....	7
2.1	Plantillas y ficheros CAD .....	7
2.2	Ficheros de configuración .....	12
3	Procedimiento de medición: Máquina de medir por visión 3D .....	15
3.1	Colocación de la pieza .....	15
3.2	Medición con la máquina de visión .....	17
4	Procedimiento de medición: Máquina de medir por coordenadas .....	21
5	Verificación de la ganancia idónea del sistema de medición sin contacto .....	27
5.1	Pasos a realizar .....	27
5.2	Mapeados de las piezas enteras .....	27
5.3	Selección de las zonas de estudio .....	30
5.4	Estudio de las zonas elegidas .....	31
5.4.1	Zona 1 .....	31
5.4.2	Zona 2 .....	33
5.4.3	Zona 3 .....	38
5.4.4	Zona 4 .....	41
6	Calibración del equipo de medición por visión 3D .....	43
6.1	Obtención de la incertidumbre por el método habitual. ....	43
6.2	Obtención de la incertidumbre por el método Monte Carlo. ....	44
6.3	Calibración del equipo .....	45
7	Conclusiones y trabajo futuro .....	47
	Bibliografía .....	49
	Anexo I: Procedimiento de generación de plantillas, ficheros CAD y ficheros de configuración	
	53	
	Anexo II: Plantillas y ficheros de los útiles de soldadura .....	71
	Anexo III: Procedimiento de medición: Máquina de medición por visión 3D .....	79
	Anexo IV: Procedimiento de medición: Máquina de medición por coordenadas .....	99
	Anexo V: Programas Matlab .....	115
	Anexo VI: Equipo de medición sin contacto .....	129
	Anexo VII: Verificación de la ganancia idónea del sistema de medición sin contacto .....	135

## Índice de figuras

Figura 2.1.1	Plano inicial utillaje .....	7
Figura 2.1.2	Pieza modificada .....	8
Figura 2.1.3	Pieza con distancia de seguridad .....	9
Figura 2.1.4	Pieza CAD .....	9
Figura 2.1.5	Pieza final para plantilla .....	10
Figura 2.1.6	Diferentes zonas de la pieza .....	11
Figura 2.1.7	Pieza finalizada .....	11

Figura 2.2.1 Agujero y distancias de referencia tomadas.....	12
Figura 2.2.2 Fichero Plantilla.....	12
Figura 2.2.3 Fichero Planitud.....	13
Figura 2.2.4 Fichero Agujeros.....	13
Figura 3.1.1 Posición inicial.....	15
Figura 3.1.2 Posición final.....	16
Figura 3.1.3 Útil de sujeción.....	16
Figura 3.1.4 Imagen del láser descentrada.....	17
Figura 3.1.5 Imagen del láser centrada.....	17
Figura 3.2.1 Archivo global.conf.....	17
Figura 3.2.2 Ejecutable del autómata.....	18
Figura 3.2.3 Selección de pieza.....	18
Figura 3.2.4 Resultados obtenidos.....	19
Figura 4.1 Fijación de la pieza.....	21
Figura 4.2 Origen de la pieza.....	22
Figura 4.3 Definición de los ejes coordenados.....	22
Figura 4.4 Definición del paralelepípedo de seguridad.....	23
Figura 4.5 Definición estrategia de palpado.....	24
Figura 4.6 Estrategia de palpado.....	24
Figura 4.7 Medición de zona concreta.....	25
Figura 5.2.1 Mapeado Matlab US1137, ganancia 19'1.....	28
Figura 5.2.2. Mapeado máquina de visión US1137, ganancia 19'1. ....	28
Figura 5.2.3. Mapeado obtenido con MMC US1137.....	29
Figura 5.2.4. Mapeado Matlab US1137, ganancia 18'1.....	29
Figura 5.2.5. Cambios de color US1137, ganancia 19'1.....	30
Figura 5.2.6. Cambios de color US1137, ganancia 18'1.....	30
Figura 5.2.7. Cambios de color US1137, MMC.....	30
Figura 5.3.1. Delimitación de las zonas de estudio US1137.....	30
Figura 5.4.1. Media zona mínimo US1137.....	32
Figura 5.4.2. Media zona mínimo US2003.....	32
Figura 5.4.3. Media zona mínimo 2010.....	33
Figura 5.4.4. Media zona máximo US1137.....	34
Figura 5.4.5 Imagen de la línea con ganancia 19'1.....	34
Figura 5.4.6. Imagen de la línea con ganancia 11'6.....	34
Figura 5.4.7. Reflejo producido en ganancia 11.6.....	34
Figura 5.4.8 Máximos y mínimos obtenidos del archivo informes US1137.....	35
Figura 5.4.9. Coordenada X del agujero 1, US1137. ....	36
Figura 5.4.10. Coordenada X del agujero 2, US1137. ....	36
Figura 5.4.11. Coordenada X del agujero 3, US1137. ....	36
Figura 5.4.12. Coordenada X del mínimo obtenido por Matlab, US1137. ....	37
Figura 5.4. 13. Coordenada Y del agujero 1, US1137.....	37
Figura 5.4.14. Coordenada Y del agujero 2, US1137.....	37
Figura 5.4.15. Coordenada Y del agujero 3, US1137.....	38
Figura 5.4.16. Coordenada Y del mínimo obtenido por Matlab, US1137.....	38
Figura 5.4.17. Media zona interior del agujero US1137.....	39
Figura 5.4.18. Perfil de la zona US1137.....	40
Figura 5.4.19. Línea de tendencia de la zona 3, US1137.....	40
Figura 5.4.20. Perfil de la zona 4 US1137.....	41
Figura 5.4.21. Línea de tendencia de la zona 4, US1137.....	41

Figura 6. 1. Resultados para cada uh.....	43
Figura 1 Anexo I. Plano de la plantilla.....	53
Figura 2 Anexo I. Boceto inicial.....	54
Figura 3 Anexo I. Eliminación de las partes que sobran.....	55
Figura 4 Anexo I. Reconstrucción de las partes que faltan.....	55
Figura 5 Anexo I. Reconstrucción del agujero.....	56
Figura 6 Anexo I. Pieza sin los redondeos.....	56
Figura 7 Anexo I. Creación del rectángulo de la numeración.....	57
Figura 8 Anexo I. Cuadro de comandos de las líneas.....	57
Figura 9 Anexo I. Pieza en negro con líneas de grosor mínimo.....	58
Figura 10 Anexo I. Menú del comando incluir.....	58
Figura 11 Anexo I. Pieza con espesor de seguridad.....	59
Figura 12 Anexo I. Pieza extruida.....	59
Figura 13 Anexo I. Pieza CAD final.....	60
Figura 14 Anexo I. Encuadre de la plantilla.....	61
Figura 15 Anexo I. Menú del formato de vista.....	61
Figura 16 Anexo I. Menú del administrador de colores.....	62
Figura 17 Anexo I. Pieza final para plantilla.....	62
Figura 18 Anexo I. Opciones de imagen al guardar la plantilla.....	63
Figura 19 Anexo I. Menú de atributos para la imagen con el programa Paint.....	63
Figura 20 Anexo I. Muestra de líneas que se cortan.....	64
Figura 21 Anexo I. Solución a las líneas que se cortan.....	64
Figura 22 Anexo I. Muestra de línea que no se cierra.....	65
Figura 23 Anexo I. Muestra del centro de uno de los agujeros.....	65
Figura 24 Anexo I. Plantilla finalizada.....	66
Figura 25 Anexo I. Elección de origen, ejes y distancias de referencia.....	68
Figura 26 Anexo I. Fichero plantilla del ejemplo.....	69
Figura 27 Anexo I. Fichero planitud del ejemplo.....	69
Figura 28 Anexo I. Fichero agujeros del ejemplo.....	70
Figura 1 Anexo II. Plantilla US1137. ....	71
Figura 2 Anexo II. Fichero Planitud, US1137.....	71
Figura 3 Anexo II. Fichero Plantilla, US1137.....	72
Figura 4 Anexo II. Fichero Agujeros, US1137.....	72
Figura 5 Anexo II. Plantilla US2003.....	72
Figura 6 Anexo II. Fichero Planitud, US2003.....	72
Figura 7 Anexo II. Fichero Plantilla, US2003.....	73
Figura 8 Anexo II. Fichero Agujeros, US2003.....	73
Figura 9 Anexo II. Plantilla US2010.....	73
Figura 10 Anexo II. Fichero Planitud, US2010.....	73
Figura 11 Anexo II. Fichero Plantilla, US2010.....	74
Figura 12 Anexo II. Fichero Agujeros, US2010.....	74
Figura 13 Anexo II. Plantilla US2022.....	74
Figura 14 Anexo II. Fichero Planitud, US2022.....	74
Figura 15 Anexo II. Fichero Plantilla, US2022.....	75
Figura 16 Anexo II. Fichero Agujeros, US2022.....	75
Figura 17 Anexo II. Plantilla US2007.....	75
Figura 18 Anexo II. Fichero Planitud, US2007.....	75
Figura 19 Anexo II. Fichero Plantilla, US2007.....	76
Figura 20 Anexo II. Fichero Agujeros, US2007.....	76

Figura 21 Anexo II. Plantilla US2009.....	76
Figura 22 Anexo II. Fichero Planitud, US2009.....	76
Figura 23 Anexo II. Fichero Plantilla, US2009.....	77
Figura 24 Anexo II. Fichero Agujeros, US2009.....	77
Figura 1 Anexo III. Posición inicial de la pieza.....	79
Figura 2 Anexo III. Posición final de la pieza.....	80
Figura 3 Anexo III. Útil de sujeción de la pieza, vista 1.....	80
Figura 4 Anexo III. Útil de sujeción de la pieza, vista 2.....	81
Figura 5 Anexo III. Mando del robot.....	81
Figura 6 Anexo III. Barra de estado.....	82
Figura 7 Anexo III. Botones de accionamiento.....	83
Figura 8 Anexo III. Teclas de la izquierda.....	84
Figura 9 Anexo III. Parte inferior del mando.....	84
Figura 10 Anexo III. Teclas alrededor de la pantalla.....	85
Figura 11 Anexo III. Space mouse-ratón.....	86
Figura 12 Anexo III. Parte trasera del KCP.....	86
Figura 13 Anexo III. Pantalla de selección de programa.....	87
Figura 14 Anexo III. Cancelación de programa.....	87
Figura 15 Anexo III. Botones traseros del mando.....	88
Figura 16 Anexo III. Líneas de programa.....	89
Figura 17 Anexo III. Imagen del láser descentrada.....	89
Figura 18 Anexo III. Imagen del láser centrada.....	89
Figura 19 Anexo III. Posición inicial US1137.....	90
Figura 20 Anexo III. Posición inicial US2003.....	91
Figura 21 Anexo III. Posición inicial US2010.....	91
Figura 22 Anexo III. Posición inicial XS2023.....	92
Figura 23 Anexo III. Posición inicial XS2005.....	92
Figura 24 Anexo III. Posición inicial XS2026.....	93
Figura 25 Anexo III. Posición inicial HA1137.....	93
Figura 26 Anexo III. Posición inicial HA2025.....	94
Figura 27 Anexo III. Ubicación archivo planitud.....	95
Figura 28 Anexo III. Fichero global.conf.....	95
Figura 29 Anexo III. Ubicación del autómatas.....	96
Figura 30 Anexo III. Autómata.....	96
Figura 31 Anexo III. Selección de pieza. ....	97
Figura 32 Anexo III. Resultados obtenidos.....	97
Figura 1 Anexo IV. Pieza posicionada.....	99
Figura 2 Anexo IV. Importación de pieza CAD.....	99
Figura 3 Anexo IV. Pieza CAD importada en Calypso.....	100
Figura 4 Anexo IV. Elección de palpador.....	100
Figura 5 Anexo IV. Creación de plano de referencia.....	101
Figura 6 Anexo IV. Medición de plano de referencia.....	101
Figura 7 Anexo IV. Creación de círculos de referencia.....	102
Figura 8 Anexo IV. Creación línea de referencia.....	103
Figura 9 Anexo IV. Definición de recta.....	103
Figura 10 Anexo IV. Definición de elementos de retrollamada.....	104
Figura 11 Anexo IV. Plano, círculos y recta medidos de la pieza.....	104
Figura 12 Anexo IV. Definición de ejes de coordenadas.....	105
Figura 13 Anexo IV. Ejes de referencia tomados.....	105

Figura 14 Anexo IV. Definición de geometría sólida.....	106
Figura 15 Anexo IV. Definición de cilindro origen.....	106
Figura 16 Anexo IV. Valores a modificar.....	107
Figura 17 Anexo IV. Modificación de valores.....	107
Figura 18 Anexo IV. Plano orientado.....	108
Figura 19 Anexo IV. Cilindro orientado.....	109
Figura 20 Anexo IV. Recta orientada.....	109
Figura 21 Anexo IV. Definición de paralelepípedo de seguridad.....	110
Figura 22 Anexo IV. Definición planos de seguridad.....	110
Figura 23 Anexo IV. Definición estrategia de palpado.....	111
Figura 24 Anexo IV. Parámetros de palpado.....	111
Figura 25 Anexo IV. Arranque CNC.....	112
Figura 26 Anexo IV. Parámetros de palpado.....	112
Figura 27 Anexo IV. Medición de zona de círculo.....	113
Figura 1 Anexo VI. Componentes del equipo.....	129
Figura 2 Anexo VI. Esquema del montaje del soporte con los elementos.....	131
Figura 3 Anexo VI. Funcionamiento del sistema, barrido de la superficie.....	131
Figura 4 Anexo VI. Captura de imágenes.....	132
Figura 5 Anexo VI. Plantillas para filtrar los puntos de la superficie.....	132
Figura 1 Anexo VII. Mapeado Matlab US1137, ganancia 19'1.....	136
Figura 2 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US1137, ganancia 19'1.....	136
Figura 3 Anexo VII. Mapeado Matlab US1137, ganancia 18'4.....	137
Figura 4 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US1137, ganancia 18'4.....	137
Figura 5 Anexo VII. Mapeado Matlab US1137, ganancia 18'1.....	138
Figura 6 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US1137, ganancia 18'1.....	138
Figura 7 Anexo VII. Mapeado Matlab US1137, ganancia 16'6.....	139
Figura 8 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US1137, ganancia 16'6.....	139
Figura 9 Anexo VII. Mapeado Matlab US1137, ganancia 15,2.....	140
Figura 10 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US1137, ganancia 15'2.....	140
Figura 11 Anexo VII. Mapeado Matlab US1137, ganancia 13'2.....	141
Figura 12 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US1137, ganancia 13'2.....	141
Figura 13 Anexo VII. Mapeado Matlab US1137, ganancia 11'6.....	142
Figura 14 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US1137, ganancia 11'6.....	142
Figura 15 Anexo VII. Mapeado Matlab US1137, ganancia 9'8.....	143
Figura 16 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US1137, ganancia 9'8.....	143
Figura 17 Anexo VII. Filtro n=2.....	144
Figura 18 Anexo VII. Filtro n=3.....	144
Figura 19 Anexo VII. Filtro n=5.....	145
Figura 20 Anexo VII. Mapeado obtenido con MMC US1137.....	145
Figura 21 Anexo VII. Cambios de color US1137, ganancia 19'1.....	146
Figura 22 Anexo VII. Cambios de color US1137, ganancia 18'1.....	146
Figura 23 Anexo VII. Cambios de color US1137, MMC.....	146
Figura 24 Anexo VII. Delimitación de las zonas de estudio US1137.....	147
Figura 25 Anexo VII. Zona del mínimo US1137.....	148
Figura 26 Anexo VII. Media zona mínimo US1137.....	149
Figura 27 Anexo VII. Zona del máximo US1137.....	149
Figura 28 Anexo VII. Datos con ganancias altas en zona del máximo US1137.....	150
Figura 29 Anexo VII. Datos con ganancias bajas en zona del máximo US1137.....	150
Figura 30 Anexo VII. Imagen de la línea de coordenadas 118 con ganancia 19'1.....	151

Figura 31 Anexo VII. Imagen de la línea de coordenadas 118 con ganancia 11'6.....	151
Figura 32 Anexo VII. Imagen de la línea del máximo en ganancia 19.1 con ganancia 19'1.....	151
Figura 33 Anexo VII. Imagen de la línea del máximo en ganancia 19.1 con ganancia 11'6.....	151
Figura 34 Anexo VII. Imagen de la línea del máximo en ganancia 11.6 con ganancia 19'1.....	151
Figura 35 Anexo VII. Imagen de la línea del máximo en ganancia 11.6 con ganancia 11'6.....	151
Figura 36 Anexo VII. Reflejo producido en ganancia 11.6.....	152
Figura 37 Anexo VII. Media zona máximo US1137.....	152
Figura 38 Anexo VII. Máximos y mínimos obtenidos del archivo informes US1137.....	153
Figura 39 Anexo VII. Comparación de los máximos obtenidos con Matlab, con los obtenidos del archivo informes US1137.....	154
Figura 40 Anexo VII. Comparación de los mínimos obtenidos con Matlab, con los obtenidos del archivo informes, US1137.....	155
Figura 41 Anexo VII. Coordenada X del agujero 1, US1137.....	156
Figura 42 Anexo VII. Coordenada X del agujero 2, US1137.....	156
Figura 43 Anexo VII. Coordenada X del agujero 3, US1137.....	156
Figura 44 Anexo VII. Coordenada X del mínimo obtenido por Matlab, US1137.....	157
Figura 45 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 1, US1137.....	157
Figura 46 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 2, US1137.....	157
Figura 47 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 3, US1137.....	158
Figura 48 Anexo VII. Coordenada Y del mínimo obtenido por Matlab, US1137.....	158
Figura 49 Anexo VII. Delimitación de la zona 3 US1137.....	159
Figura 50 Anexo VII. Delimitación de la parte interna de la zona 3 US1137.....	159
Figura 51 Anexo VII. Media zona interior del agujero US1137.....	160
Figura 52 Anexo VII. Perfil de la zona 3 US1137.....	162
Figura 53 Anexo VII. Línea de tendencia de la zona 3, US1137.....	163
Figura 54 Anexo VII. Delimitación de la zona 4 US1137.....	163
Figura 55 Anexo VII. Perfil de la zona 4 US1137.....	166
Figura 56 Anexo VII. Línea de tendencia de la zona 4, US1137.....	167
Figura 57 Anexo VII. Mapeado Matlab US2003, ganancia 19'1.....	168
Figura 58 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2003, ganancia 19'1.....	168
Figura 59 Anexo VII. Mapeado Matlab US2003, ganancia 18'4.....	169
Figura 60 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2003, ganancia 18'4.....	169
Figura 61 Anexo VII. Mapeado Matlab US2003, ganancia 18'1.....	170
Figura 62 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2003, ganancia 18'1.....	170
Figura 63 Anexo VII. Mapeado Matlab US2003, ganancia 16'6.....	171
Figura 64 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2003, ganancia 16'6.....	171
Figura 65 Anexo VII. Mapeado Matlab US2003, ganancia 15'2.....	172
Figura 66 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2003, ganancia 15'2.....	172
Figura 67 Anexo VII. Mapeado Matlab US2003, ganancia 13'2.....	173
Figura 68 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2003, ganancia 13'2.....	173
Figura 69 Anexo VII. Mapeado obtenido con MMC US2003.....	174
Figura 70 Anexo VII. Delimitación de las zonas de estudio US2003.....	175
Figura 71 Anexo VII. Media zona mínimo US2003.....	176
Figura 72 Anexo VII. Máximos y mínimos obtenidos del archivo informes US2003.....	177
Figura 73 Anexo VII. Comparación de los mínimos obtenidos con Matlab, con los obtenidos del archivo informes US2003.....	178
Figura 74 Anexo VII. Coordenada X del agujero 1, US2003.....	179
Figura 75 Anexo VII. Coordenada X del agujero 2, US2003.....	179
Figura 76 Anexo VII. Coordenada X del agujero 3, US2003.....	179



Figura 77 Anexo VII. Coordenada X del agujero 4, US2003.....	180
Figura 78 Anexo VII. Coordenada X del agujero 5, US2003.....	180
Figura 79 Anexo VII. Coordenada X del agujero 6, US2003.....	180
Figura 80 Anexo VII. Coordenada X del mínimo, US2003.....	181
Figura 81 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 1, US2003.....	181
Figura 82 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 2, US2003.....	181
Figura 83 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 3, US2003.....	182
Figura 84 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 4, US2003.....	182
Figura 85 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 5, US2003.....	182
Figura 86 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 6, US2003.....	183
Figura 87 Anexo VII. Coordenada Y del mínimo, US2003.....	183
Figura 88 Anexo VII. Delimitación de la parte interna de la zona 2 US2003.....	184
Figura 89 Anexo VII. Media zona interior del agujero US2003.....	184
Figura 90 Anexo VII. Perfil de la zona 2 US2003.....	187
Figura 91 Anexo VII. Línea de tendencia de la zona 2, US2003.....	187
Figura 92 Anexo VII. Perfil de la zona 3 US2003.....	190
Figura 93 Anexo VII. Línea de tendencia de la zona 3, US2003.....	191
Figura 94 Anexo VII. Mapeado Matlab US2010, ganancia 19'1.....	192
Figura 95 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2010, ganancia 19'1.....	192
Figura 96 Anexo VII. Mapeado Matlab US2010, ganancia 18'4.....	193
Figura 97 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2010, ganancia 18'4.....	193
Figura 98 Anexo VII. Mapeado Matlab US2010, ganancia 18'1.....	194
Figura 99 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2010, ganancia 18'1.....	194
Figura 100 Anexo VII. Mapeado Matlab US2010, ganancia 16'6.....	195
Figura 101 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2010, ganancia 16'6.....	195
Figura 102 Anexo VII. Mapeado Matlab US2010, ganancia 15'2.....	196
Figura 103 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2010, ganancia 15'2.....	196
Figura 104 Anexo VII. Mapeado Matlab US2010, ganancia 13'2.....	197
Figura 105 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2010, ganancia 13'2.....	197
Figura 106 Anexo VII. Mapeado obtenido con MMC US2010.....	198
Figura 107 Anexo VII. Delimitación de las zonas de estudio U2010.....	199
Figura 108 Anexo VII. Media zona mínimo 2010.....	200
Figura 109 Anexo VII. Máximos y mínimos obtenidos del archivo informes US2010.....	201
Figura 110 Anexo VII. Comparación de los mínimos obtenidos con Matlab, con los obtenidos del archivo informes, US2010.....	202
Figura 111 Anexo VII. Coordenada X del agujero 1, US2010.....	203
Figura 112 Anexo VII. Coordenada X del agujero 2, US2010.....	203
Figura 113 Anexo VII. Coordenada X del agujero 3, US2010.....	203
Figura 114 Anexo VII. Coordenada X del agujero 4, US2010.....	204
Figura 115 Anexo VII. Coordenada X del agujero 5, US2010.....	204
Figura 116 Anexo VII. Coordenada X del mínimo, US2010.....	204
Figura 117 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 1, US2010.....	205
Figura 118 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 2, US2010.....	205
Figura 119 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 3, US2010.....	205
Figura 120 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 4, US2010.....	206
Figura 121 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 5, US2010.....	206
Figura 122 Anexo VII. Coordenada Y del mínimo, US2010.....	206
Figura 123 Anexo VII. Delimitación de la zona 2 US2010.....	207
Figura 124 Anexo VII. Delimitación de la parte interna de la zona 2 US2010.....	207

Figura 125 Anexo VII. Media zona interior del agujero US2010.....	208
Figura 126 Anexo VII. Perfil de la zona 2 US2010.....	210
Figura 127 Anexo VII. Línea de tendencia de la zona 2, US2010.....	210
Figura 128 Anexo VII. Delimitación zona 3 US2010.....	211
Figura 129 Anexo VII. Correspondencia de las líneas con su respectivas coordenadas X US2010.....	211
Figura 130 Anexo VII. Perfil de la zona 3 US2010.....	215
Figura 131 Anexo VII. Línea de tendencia de la zona 3, US2010.....	215

## Índice de tablas

Tabla 5.4.1. Resultados zona del mínimo US1137.....	31
Tabla 5.4.2. Resultados zona del máximo US1137.....	33
Tabla 5.4.3. Comparación de los máximos y mínimos obtenidos con Matlab, con los obtenidos del archivo informes US1137.....	35
Tabla 5.4.4. Resultados obtenidos de la parte interna de la zona 3.....	39
Tabla 6.1. Medidas planitud y resultados incertidumbre MMC.....	44
Tabla 6.2. Resultados Monte Carlo.....	44
Tabla 6.3. Datos Máquina de visión y MMC.....	46
Tabla 6. 4. Resultados de calibración.....	46
Tabla 1 Anexo I. Valores a introducir en el fichero plantilla.....	69
Tabla 1 Anexo VII. Resultados zona del mínimo US1137.....	148
Tabla 2 Anexo VII. Resultados zona del máximo US1137.....	152
Tabla 3 Anexo VII. Datos obtenidos del archivo informes US1137.....	153
Tabla 4 Anexo VII. Comparación de los máximos y mínimos obtenidos con Matlab, con los obtenidos del archivo informes US1137.....	154
Tabla 5 Anexo VII. Posición de agujeros frente a las coordenadas de los mínimos obtenidos con matlab, US1137.....	155
Tabla 6 Anexo VII. Resultados obtenidos de la parte interna de la zona 3.....	160
Tabla 7 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 3 Máquina de Visión, US1137.....	160
Tabla 8 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 3 MMC, US1137.....	161
Tabla 9 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 4 Máquina de Visión, US1137.....	164
Tabla 10 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 4 MMC, US1137.....	165
Tabla 11 Anexo VII. Localización del mínimo US2003.....	174
Tabla 12 Anexo VII. Resultados zona del mínimo US2003.....	175
Tabla 13 Anexo VII. Datos obtenidos del archivo informes US2003.....	176
Tabla 14 Anexo VII. Comparación de los mínimos obtenidos con Matlab, con los obtenidos del archivo informes US2003.....	177
Tabla 15 Anexo VII. Posición de agujeros frente a las coordenadas de los mínimos obtenidos con matlab, US2003.....	178
Tabla 16 Anexo VII. Resultados obtenidos de la parte interna de la zona 2 US2003.....	184
Tabla 17 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 2 Máquina de Visión, US2003.....	185
Tabla 18 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 2 MMC, US2003.....	186
Tabla 19 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 3 Máquina de Visión, US2003.....	188
Tabla 20 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 3 MMC, US2003.....	190
Tabla 21 Anexo VII. Localización del mínimo US2010.....	199
Figura 22 Anexo VII. Resultados zona del mínimo US2010.....	200
Tabla 23 Anexo VII. Datos obtenidos del archivo informes US2010.....	201
Tabla 24 Anexo VII. Comparación de los mínimos obtenidos con Matlab, con los obtenidos del archivo informes US2010.....	202

Tabla 25 Anexo VII. Posición de agujeros frente a las coordenadas de los mínimos obtenidos con matlab, US2010.....	203
Tabla 26 Anexo VII. Resultados obtenidos de la parte interna de la zona 2 US2010.....	209
Tabla 27 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 2 Máquina de Visión, US2010.....	209
Tabla 28 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 2 MMC, US2010.....	210
Tabla 29 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 3 Máquina de Visión, US2010.....	213
Tabla 30 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 3 MMC, US2010.....	215



# Memoria

---



# 1 Introducción

---

La presente introducción consta de cuatro apartados. En primer lugar el marco, es decir, el ámbito dentro del cual el proyecto se desarrolla. En segundo lugar, los objetivos fijados para la completa realización del proyecto. El tercero es el alcance, en el cual se describe desde dónde se parte, pasando por lo que se hace hasta llegar a la finalización del proyecto. Finalmente en el último apartado se realiza una breve descripción de cuáles son las partes de las que consta la memoria.

## 1.1 Marco

El proyecto se desarrolla dentro de un proyecto de investigación desarrollado por el Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación de la Universidad de Zaragoza, concretamente en el Área de Ingeniería de los procesos de fabricación, para la medición sin contacto de planitud, diámetro de agujeros y la posición 3D de diversas partes de las piezas mediante un sistema de medición por visión 3D.

Concretamente este proyecto se centra en la implantación de nuevos modelos, útiles de soldadura para intercambiadores de calor, para medir sus planitudes en dicho sistema de medición. Estos útiles de soldadura son proporcionados por la empresa VALEO.

El proyecto se complementa con una beca, en la cual se realizan diversas tareas relacionadas con dicho sistema de medición. Estas tareas, aparte de la propia implantación de los nuevos modelos, consisten en la realización de diversas pruebas con modelos ya implantados. En dichas pruebas se miden varias piezas para verificar el correcto funcionamiento del programa de medición implantado en el sistema de medición 3D y su posterior comprobación en planta.

Los trabajos que se realizan en este proyecto no son aislados, es decir, que retoman el trabajo realizado hasta ahora por otras personas y permiten seguir con los trabajos del proyecto de investigación. Además el proyecto deja claro los pasos a seguir en la realización de los modelos a implantar, así como el proceso de medición para futuros trabajos.

La realización del proyecto permite familiarizarnos con la medición sin contacto, al realizar mediciones con la propia máquina de medición por visión 3D (MMV), así como con la medición por contacto con la máquina de medición por coordenadas (MMC) y su programa Calypso, al verificar las mediciones obtenidas con la máquina de visión. La comparación de dichos resultados se lleva a cabo con el programa informático Matlab.

## 1.2 Objetivos

En el proyecto hay que distinguir entre las tareas relacionadas con los utillajes y calibración del sistema de medición y el resto de tareas de mantenimiento-mejora del sistema de visión y su programa.

En cuanto a las tareas relacionadas con los utillajes, el primer objetivo será explicar cómo se realizan las plantillas y los ficheros necesarios a introducir en el sistema de medición 3D de cualquier tipo de pieza que se vaya a medir. De manera conjunta se realizarán los ficheros CAD

## 1 Introducción

mediante el programa Solid Edge, los cuales serán necesarios para medir la planitud de la pieza con la MMC, mediante el programa Calypso. Además se explicará cómo realizar las mediciones con el sistema de medición sin contacto y con la MMC.

Una vez se detalla el procedimiento para realizar las plantillas, los ficheros necesarios y los ficheros CAD, el siguiente objetivo es el medir cada uno de los tres útiles de soldadura tanto con la MMV como con la MMC.

En cuanto se tengan las mediciones de los útiles de soldadura con los dos métodos, el siguiente objetivo será obtener cuál es la ganancia idónea del láser del sistema de medición, mediante la comparación de los resultados obtenidos con el sistema de visión 3D y con la MMC.

Finalmente, se termina con la calibración del sistema de medición por visión. Asimismo se comparan dos métodos de obtención de la incertidumbre de la MMC. El primero es el habitual a partir de 10 medidas obtenidas en la MMC y el segundo es mediante la aplicación de la simulación del método Monte Carlo.

Los objetivos relacionados con el mantenimiento y mejora del sistema de medición 3D, consistirán en la realización de diversas tareas dicha máquina.

Dichas tareas serán: realizar las plantillas de piezas adicionales y su posterior implantación en el programa de medición de la MMV, medición de diversas piezas con las distintas versiones del programa de medición para verificar su correcto funcionamiento y verificación del correcto funcionamiento del programa en planta.

### 1.3 Alcance

Partimos del sistema de medición ya desarrollado y funcionando en planta. Actualmente, se están realizando una serie de cambios en el software para unificar las versiones de diferentes modelos y se quiere llegar a tener un procedimiento de inclusión de nuevos modelos y caracterizar el funcionamiento del sistema con útiles de soldadura.

El proyecto comienza desde el nivel más bajo en la medición con la MMV, es decir, desde la creación de las plantillas y ficheros de las piezas necesarios para su implantación en el programa de medición para su posterior medición.

Se realizan las plantillas y ficheros de cada uno de los útiles de soldadura sometidos a estudio, así como los de las piezas utilizadas para el mantenimiento y mejora del sistema. Las piezas que se someten a estudios son los útiles US2003, US2003 y US2010.

Posteriormente se realiza la medición de dichas piezas y se explica el procedimiento necesario para poder realizar las mediciones, partiendo desde la colocación de las piezas en la posición de medición con la ayuda de un brazo robótico de la marca KUKA, hasta la medición de las piezas con el programa IRENE.

Puesto que hay que verificar cuál es la ganancia idónea para la MMV, se comparan los resultados obtenidos con la MMV, con los datos obtenidos a partir de una MMC. Para ello, conjuntamente con las plantillas y ficheros de los útiles de soldadura sometidos a estudio, se generará el fichero CAD necesario para introducirlo en el programa Calypso y así medir las piezas con la MMC. También se explica cómo realizar las mediciones con la MMC.

Finalmente se comparan los resultados obtenidos con las dos máquinas, se busca cuál es la ganancia idónea a poner en el láser y se calibra el equipo de medición por visión.



En cuanto a las tareas de mantenimiento y mejora del sistema, como ya se ha comentado, aparte de las tareas relacionadas con los utillajes, se incluyen la implantación de otros modelos, la verificación del correcto funcionamiento de las distintas versiones del programa IRENE y su implantación en planta en la empresa VALEO.

### **1.4 Descripción de la memoria**

El primer paso para poder realizar las mediciones con los dos sistemas de medición es crear los archivos que son necesarios para introducir en cada sistema. Por ello, en primer lugar se explica cómo realizar dichos archivos y ficheros.

Posteriormente se explican los procesos de medición con los dos sistemas, es decir, con el sistema de medición sin contacto y con la MMC.

Una vez se han explicado tanto los ficheros, como los pasos que hay que seguir para medir con los dos sistemas, se pasa a la medición de las piezas.

Puesto que la MMV puede variar la ganancia del láser con el cual mide, se realiza a continuación un estudio con las diversas mediciones obtenidas de las piezas para obtener cuál será la ganancia idónea a poner en el sistema de medición sin contacto.

Finalmente, se termina con la calibración del sistema de medición sin contacto y se realiza una comparativa entre dos métodos de obtención de la incertidumbre de la MMC.

## 1 Introducción

## 2 Generación de plantillas, ficheros CAD y ficheros de configuración

El primer paso para poder medir las piezas, tanto con la MMV como con la MMC, es realizar los ficheros necesarios para introducir en cada sistema. Las plantillas y ficheros de configuración serán necesarios para la MMV, mientras que los ficheros CAD se utilizarán para medir las piezas con la MMC.

A continuación, se muestra cuál es el proceso de manera resumida de una de las piezas. El proceso detallado se adjunta en el Anexo I.

### 2.1 Plantillas y ficheros CAD

Partimos de los archivos CAD de cada una de las piezas que vamos a estudiar, los cuales contienen los planos originales de cada pieza. Estos archivos los abrimos con el programa informático Solid Edge.

En ellos podemos ver el plano de la pieza en cuestión de la que vamos a realizar su plantilla y su fichero CAD.

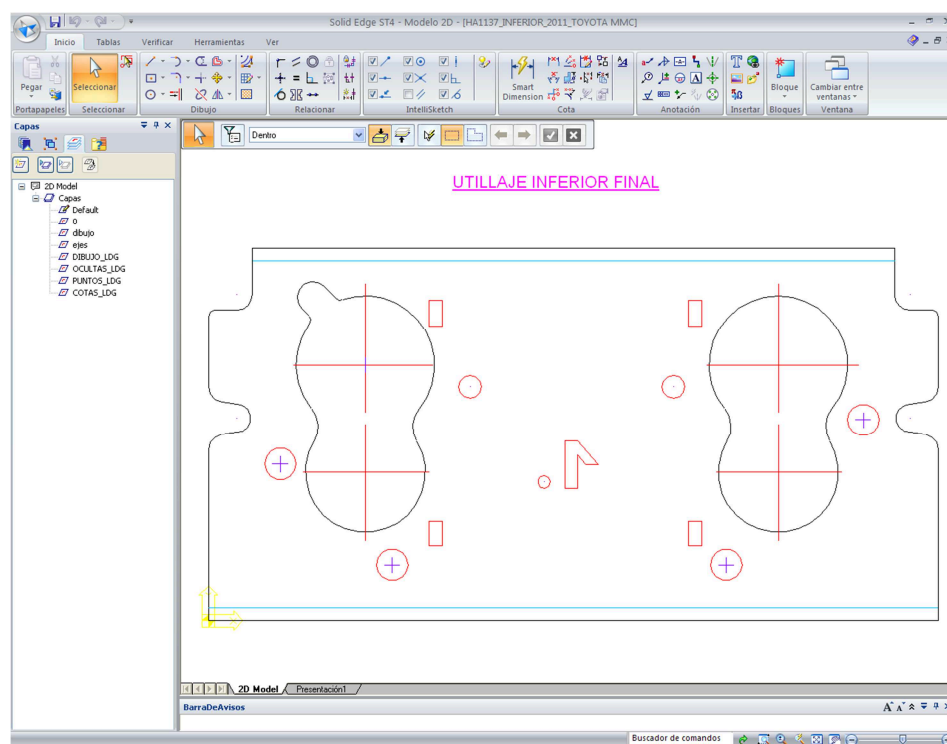


Figura 2.1.1 Plano inicial utillaje.

Antes de nada, debemos comprobar que los elementos que se muestran coinciden con la pieza real. En este caso que se está mostrando, no todos los agujeros que aparecen en el plano

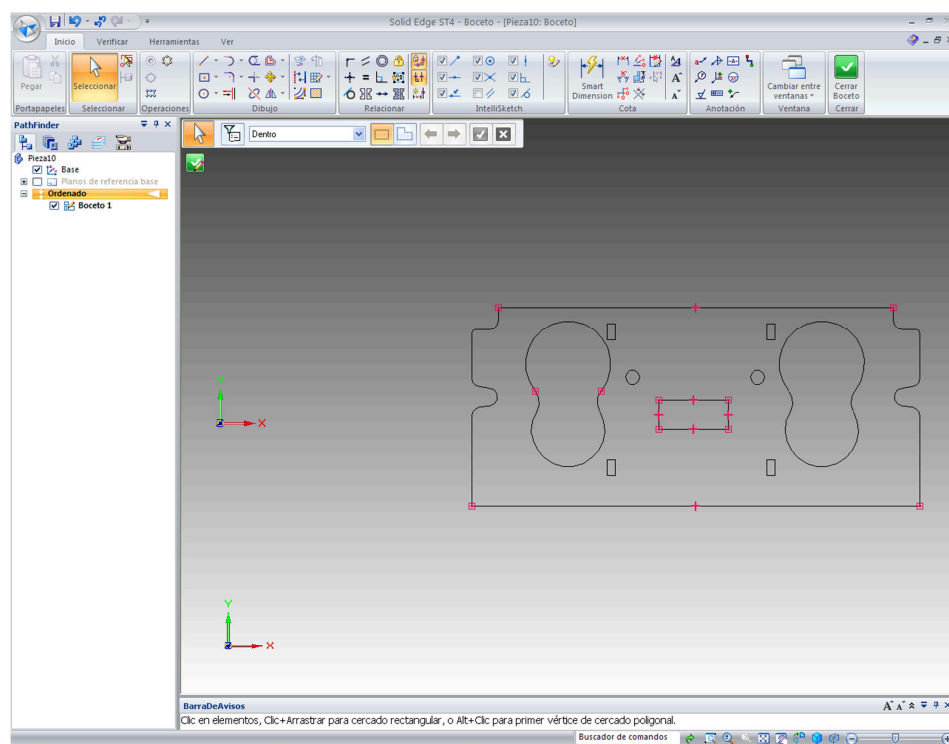
## 2 Generación de plantillas, ficheros CAD y ficheros de configuración

existen en la pieza real, sino que se corresponden con los agujeros del intercambiador de calor que se coloca encima; por lo tanto, los borraremos.

Además, la numeración que se muestra tampoco es correcta, ni es correcta su posición en la pieza. Por ello, con la ayuda de un pie de rey, mediremos la posición exacta de esta numeración y dibujaremos un rectángulo que abarque la numeración en la posición correcta.

Los laterales de las piezas están curvados. Para poder medir la planitud de las piezas quitaremos a cada lado de las zonas curvadas una sección correspondiente al radio de dicha curvatura ya que dicha zona curvada queda fuera del análisis de planitud.

Cuando tengamos la pieza dibujada, pondremos las líneas con el grosor mínimo y en color negro.



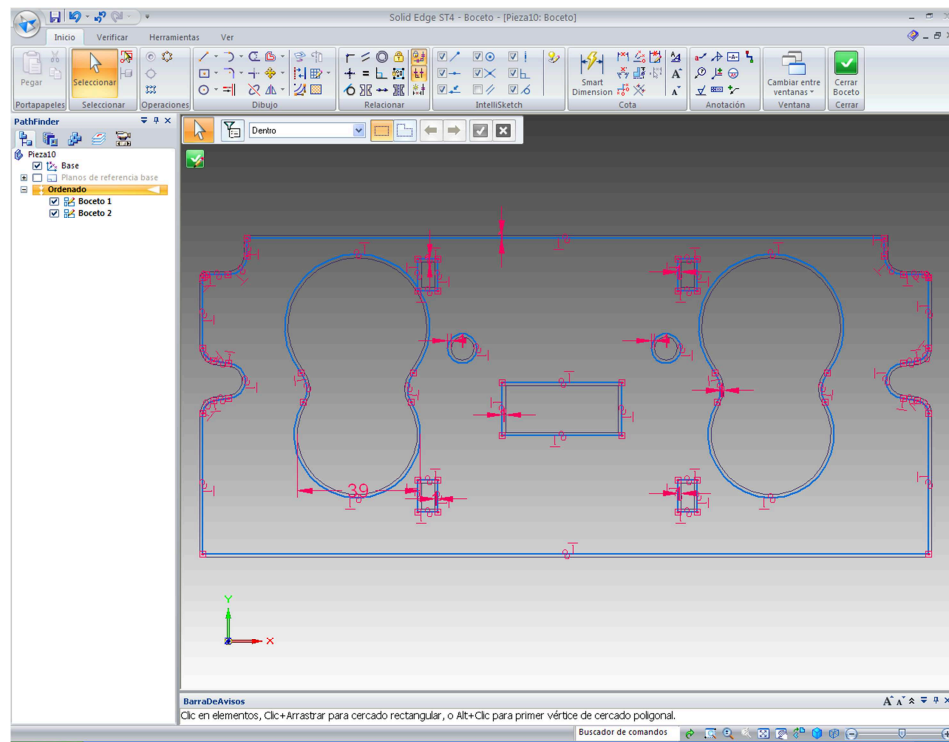
*Figura 2.1.2 Pieza modificada.*

En un principio ya estaría dibujada nuestra pieza, pero le daremos un margen de seguridad de 1 mm para evitar coger los bordes de la pieza que falseasen los resultados durante la medición. Este valor del margen está fijado así con el usuario.

Las líneas del margen de seguridad también las pondremos con el grosor mínimo y en color negro.

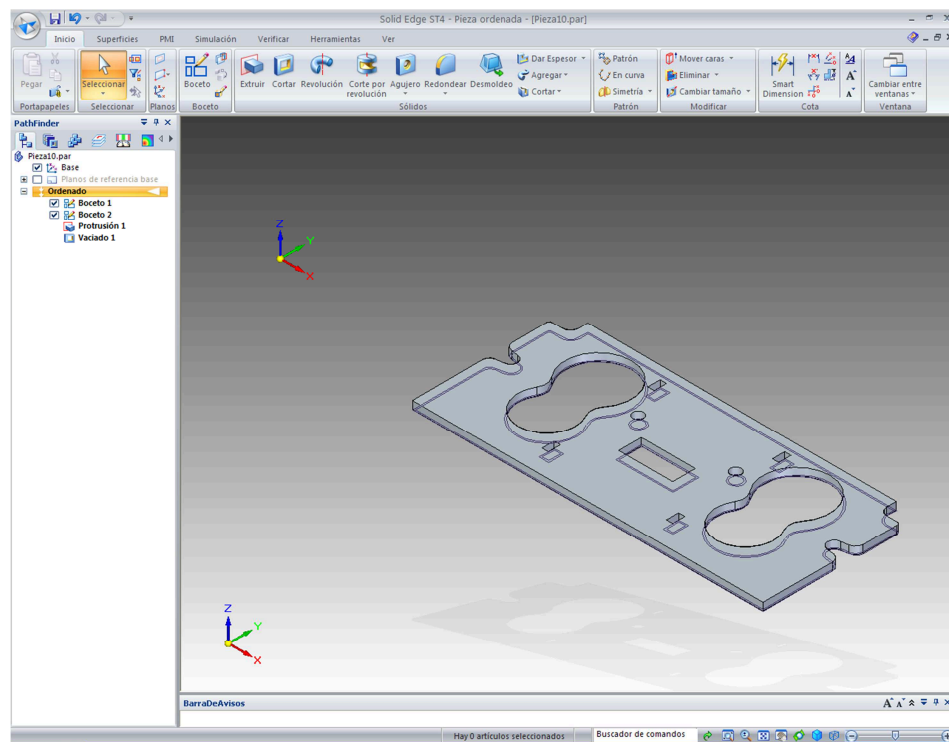
Además, en el centro de los agujeros dibujamos círculos de un radio despreciable para que, al guardar la plantilla como imagen, recoja el centro de los círculos como un pixel.

## 2 Generación de plantillas, ficheros CAD y ficheros de configuración



*Figura 2.1.3 Pieza con distancia de seguridad.*

Teniendo dibujada la pieza con la distancia de seguridad, extruiremos el contorno exterior de la pieza y vaciaremos los agujeros que tiene la misma, habiendo finalizado así la creación del fichero CAD.



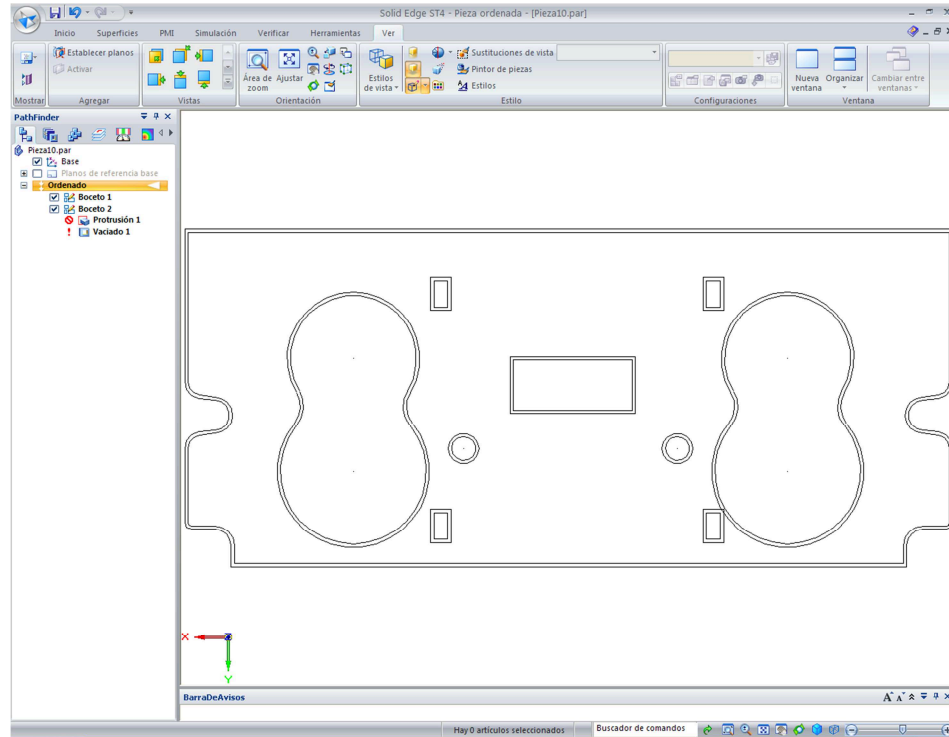
*Figura 2.1.4 Pieza CAD.*

Para poder abrir la pieza CAD en el programa Calypso de la MMC, lo guardaremos en formato .sat en la versión 10.

## 2 Generación de plantillas, ficheros CAD y ficheros de configuración

Pasamos ahora a la realización de la plantilla. Para ello encuadramos la pieza en la posición correcta y ajustamos la pieza lo máximo que se pueda en la pantalla.

Suprimimos las operaciones de extrusión y vaciado, cambiamos el color del fondo a blanco, la nitidez a la más fina posible y ponemos el color de todas las líneas a negro.



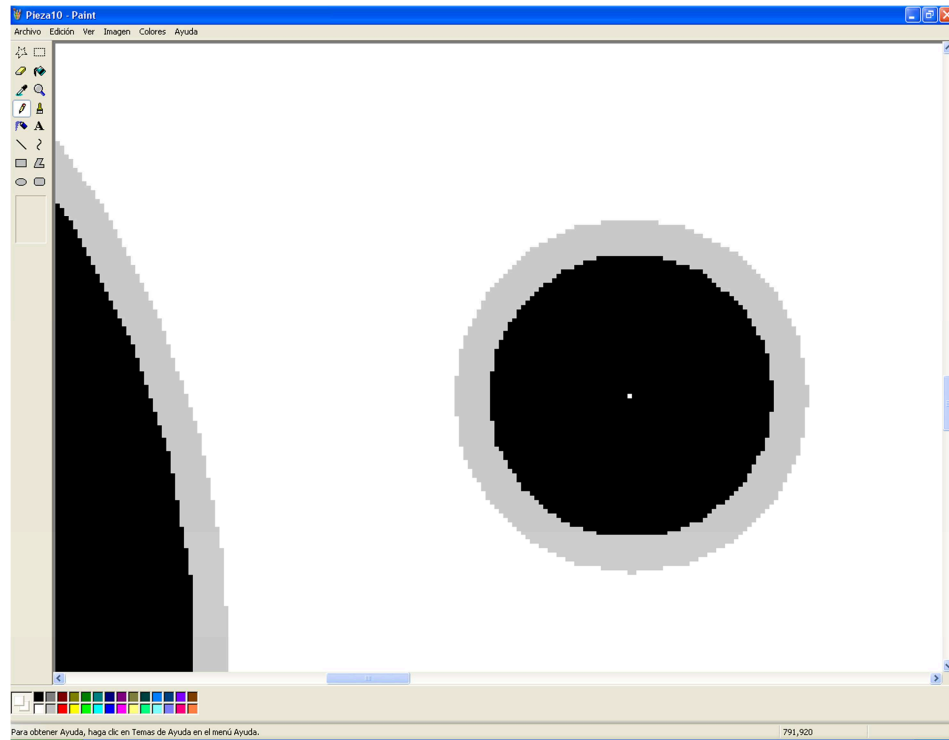
*Figura 2.1.5 Pieza final para plantilla.*

Guardamos la imagen como .bmp con los siguientes parámetros: anchura 2048 píxeles, altura 1522 píxeles, resolución 300 DPI y profundidad de color 8 bit de 256 colores.

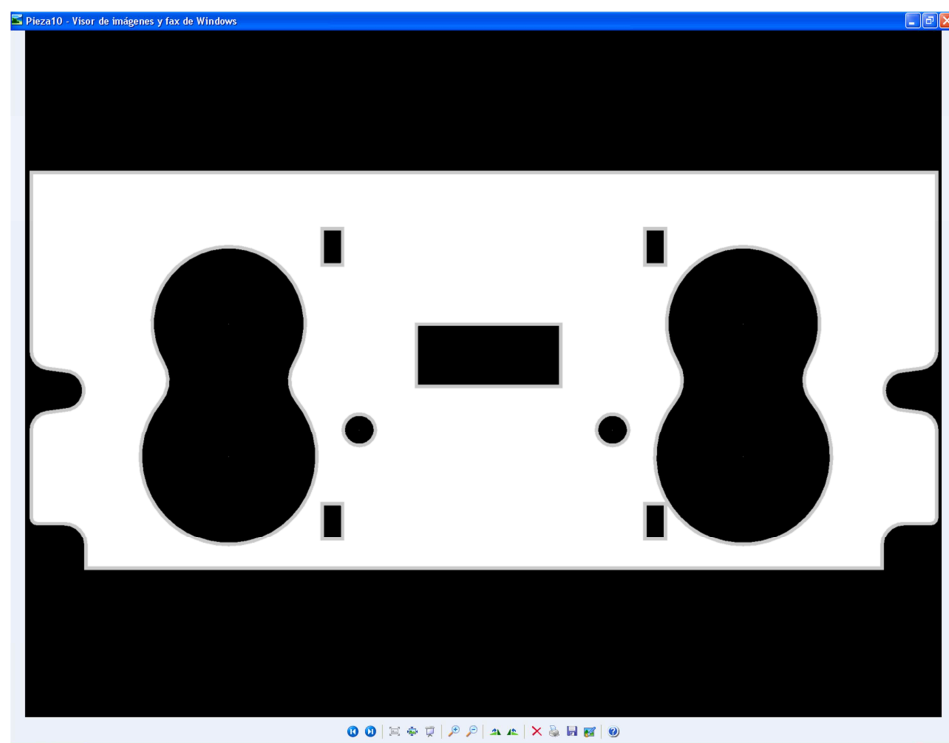
Lo que debemos hacer después es dar color a la plantilla para diferenciar cuáles serán las zonas que habrá que medir de las que no, así como la zona de seguridad. Estos colores serán negro para las zonas que no forman parte de la pieza, blanco para las que sí y gris para la zona de la distancia de seguridad. También, los centros de los círculos, que estarán registrados como un solo pixel, los pintaremos de color blanco. Esto lo realizaremos mediante el programa Paint.

Debemos de tener en cuenta que la plantilla debe de tener unas dimensiones de 2048x1536 píxeles por lo que previamente cambiaremos el tamaño de la imagen.

## 2 Generación de plantillas, ficheros CAD y ficheros de configuración



*Figura 2.1.6 Diferentes zonas de la pieza.*



*Figura 2.1.7 Pieza finalizada.*

Para comprobar si los colores son correctos, utilizaremos el programa Xn-View, en el cual deberemos ver que la zona blanca se corresponde con 255, la gris con 204 y la negra con 0 en la escala de grises de 256 tonalidades.

## 2.2 Ficheros de configuración

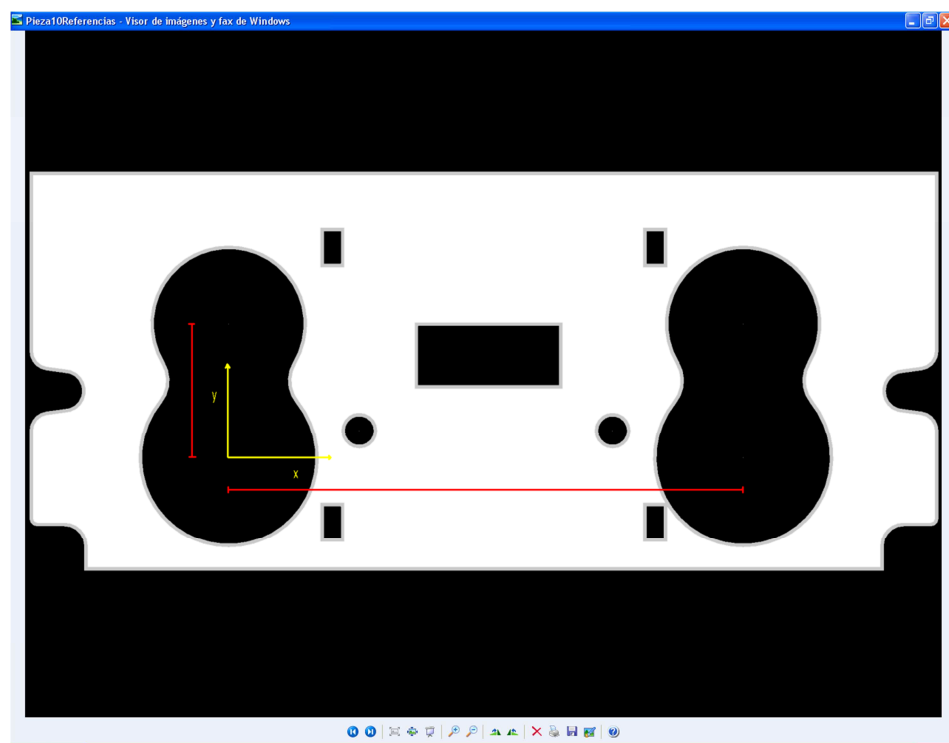
A continuación, se muestran cuáles son los ficheros de configuración necesarios para poder medir las piezas con la MMV, los cuales están explicados de manera más detallada en el Anexo I.

El primer fichero será el de calibrado llamado calibrado.bin, el cual es común para todas las piezas y ya está creado.

El segundo será la plantilla que hemos creado, a la cual le pondremos el siguiente nombre US.....-S1-Plantilla.bmp

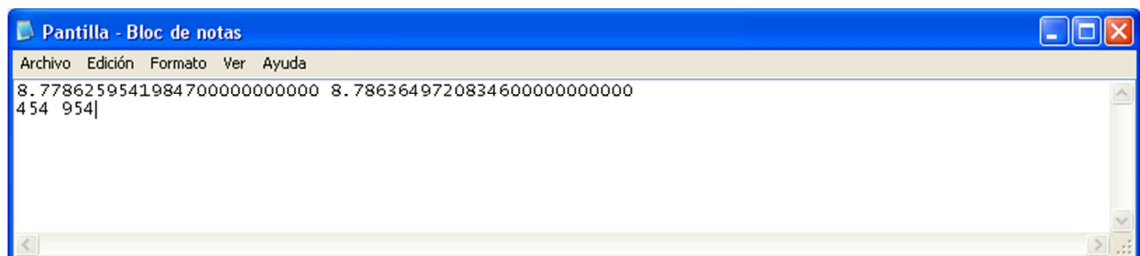
El tercer fichero será un archivo .txt con el siguiente nombre US.....-S1-Plantilla.txt en el cual se recoge el número de píxeles que se corresponde por milímetro, tanto en la dirección X como en la Y, así como cuáles son los píxeles del círculo que hemos tomado como origen.

Para ello, previamente definimos cuál será el agujero origen y las distancias que tomaremos como referencia. Posteriormente con el programa Xn-View sacaremos estos datos.



*Figura 2.2.1 Agujero y distancias de referencia tomadas.*

El aspecto final que tiene el archivo es el siguiente.

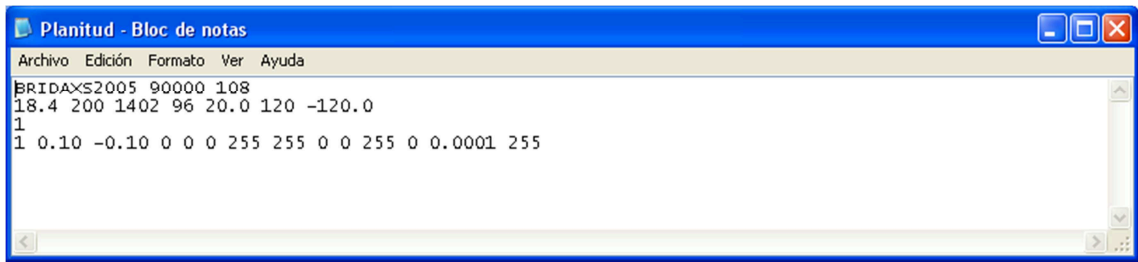


*Figura 2.2.2 Fichero Plantilla.*

El cuarto fichero será el de planitud el cual lo llamaremos US.....-S1-Planitud.txt. En él se recogerán diversos parámetros, que están explicados en el Anexo I. Entre ellos cabe destacar el número de puntos mínimos a capturar así como el modo de trabajo.



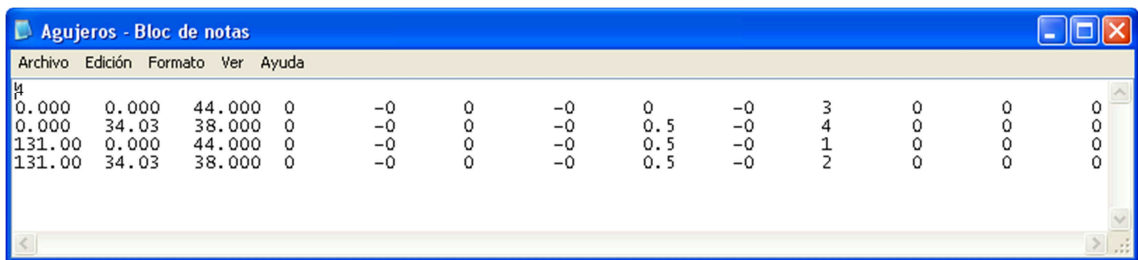
## 2 Generación de plantillas, ficheros CAD y ficheros de configuración



*Figura 2.2.3 Fichero Planitud.*

El último fichero será el de agujeros, el cual nos sirve para centrar la pieza. Lo llamaremos US.....S1-Agujeros.txt.

Contiene información del número de agujeros que tiene la pieza, así como su posición, su diámetro y su orden de aparición.



*Figura 2.2.4 Fichero Agujeros.*

Las plantillas realizadas para las piezas se adjuntan en el Anexo II.

## 2 Generación de plantillas, ficheros CAD y ficheros de configuración

### 3 Procedimiento de medición: Máquina de medir por visión 3D

---

En el procedimiento de medición con la MMV distinguimos dos fases. La primera es la colocación de la pieza en el lugar correcto de medición con la ayuda de un brazo robótico de la marca KUKA. La segunda es el propio proceso de medición de la pieza con la MMV, cuyo funcionamiento se adjunta en el Anexo VI, con la ayuda del programa informático IRENE.

Las dos partes del procedimiento se explican de manera más detallada en el Anexo III. A continuación, se muestra de manera general cómo es este procedimiento.

#### 3.1 Colocación de la pieza

Para poder medir la pieza, debemos colocarla en el lugar correcto de medición, la cual está encima del equipo de medición, alineada y paralela al equipo de medición. Por lo tanto, simplemente deberemos trasladar la pieza desde una posición inicial hasta dicho lugar de medición.

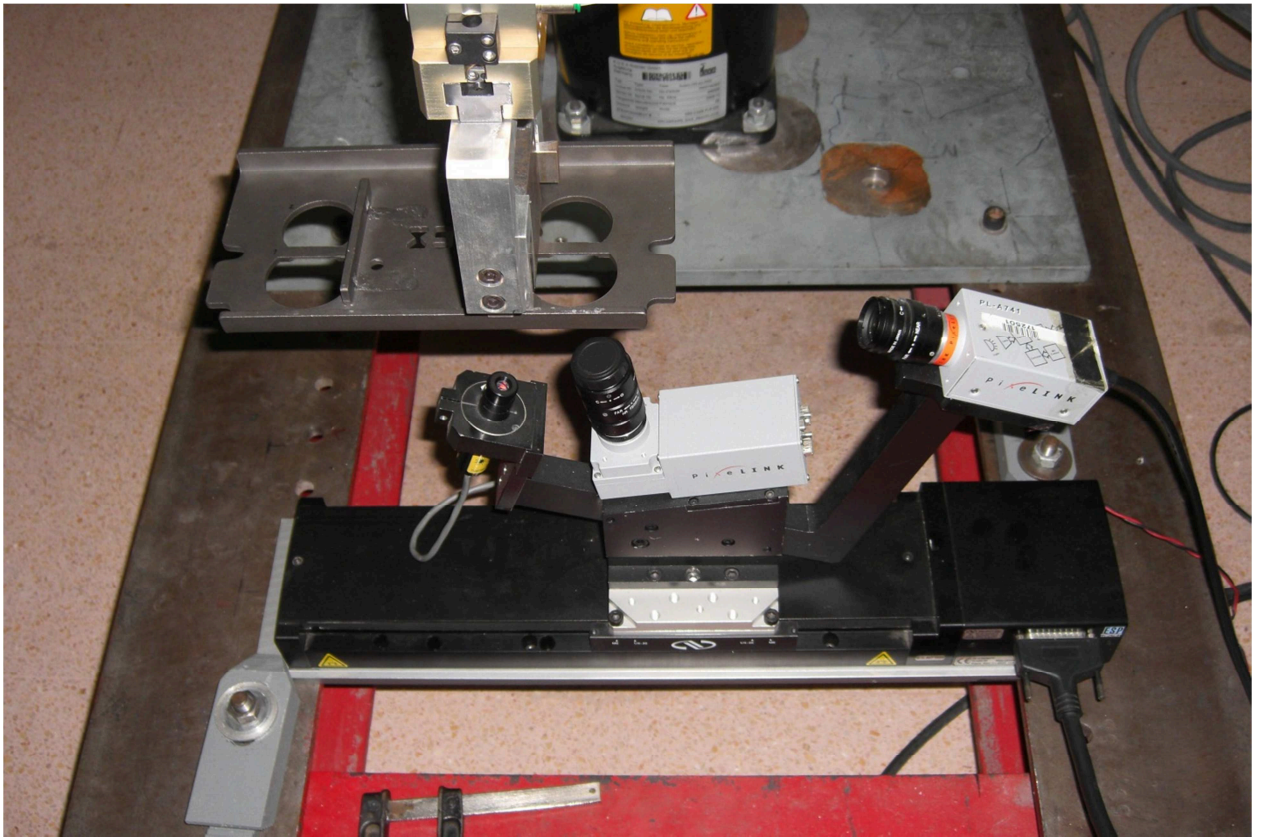
Como los programas de colocación de cada pieza ya están implementados en el robot, en el Anexo III se explica simplemente cómo manejar el robot y ejecutar los programas correspondientes para poder posicionar todas las piezas.



*Figura 3.1.1 Posición inicial.*

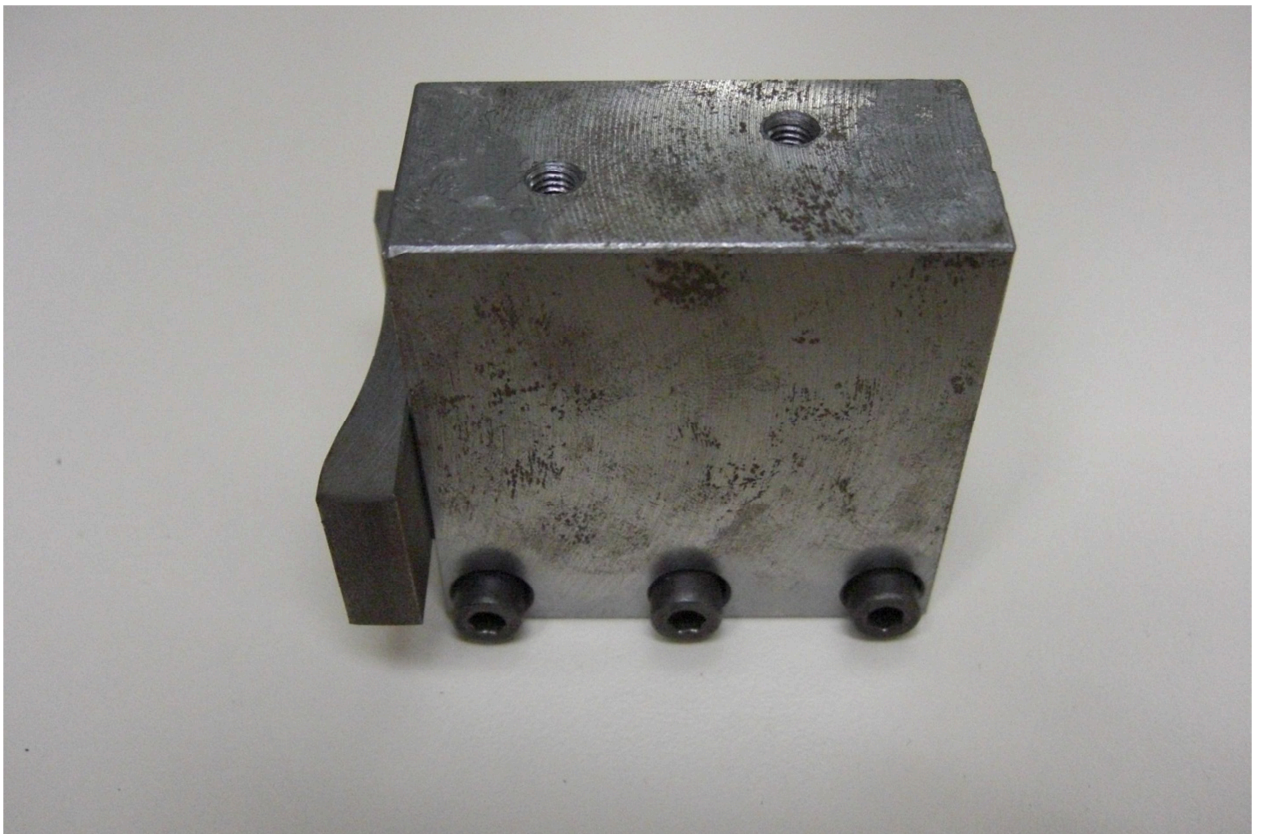


### 3 Procedimiento de medición: Máquina de medir por visión 3D



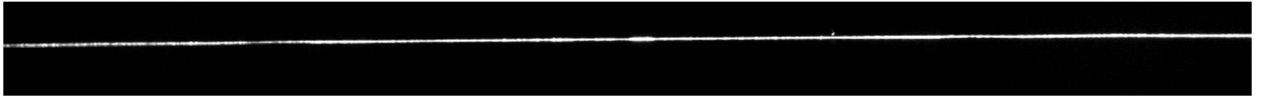
*Figura 3.1.2 Posición final.*

Para poder coger los útiles de soldadura nos ayudaremos del siguiente útil.

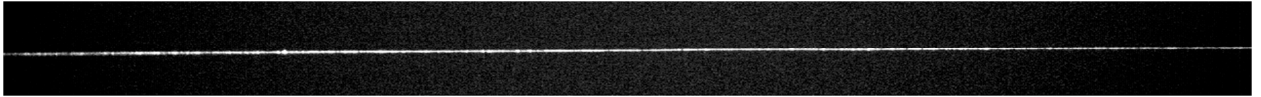


*Figura 3.1.3 Útil de sujeción.*

En teoría ya tendríamos correctamente posicionada nuestra pieza, pero posiblemente, pese a la buena repetibilidad del brazo robótico, hay ocasiones en las que la pieza no queda perfectamente alineada.



*Figura 3.1.4 Imagen del láser descentrada.*



*Figura 3.1.5 Imagen del láser centrada.*

Para alinear perfectamente el láser, lo encendemos junto con la posicionadora ESP-301 y, con la ayuda del programa PixelINK y el programa de control de la posicionadora ESP-Útil, veremos cómo varía el láser a lo largo del recorrido de toda la pieza, por lo que podremos modificar la posición final de las piezas.

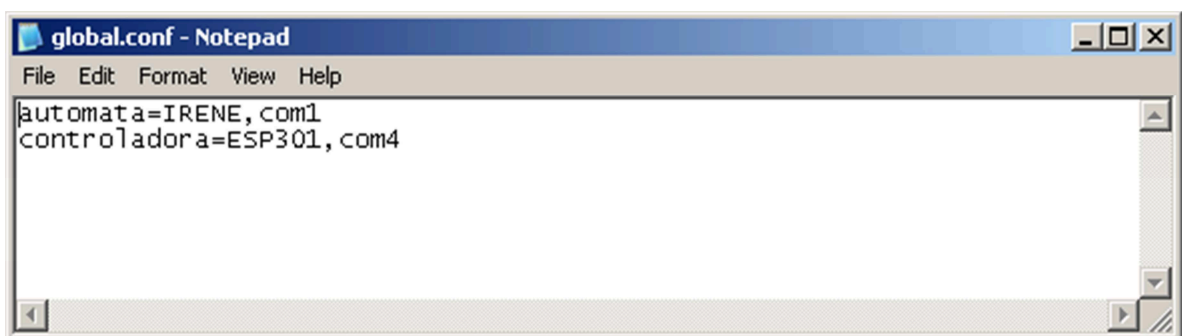
Puesto que las piezas a medir son distintas, las posiciones iniciales de dichas piezas varía. Por ello se adjunta también en el Anexo III cuál es la posición inicial de las distintas piezas medidas.

## 3.2 Medición con la máquina de visión

Una vez colocada la pieza en el lugar correcto, el proceso de medición es muy sencillo.

El primer paso que debemos hacer es colocar los ficheros creados en el directorio correcto, que en nuestro caso es c: planitud/útil/US.... .

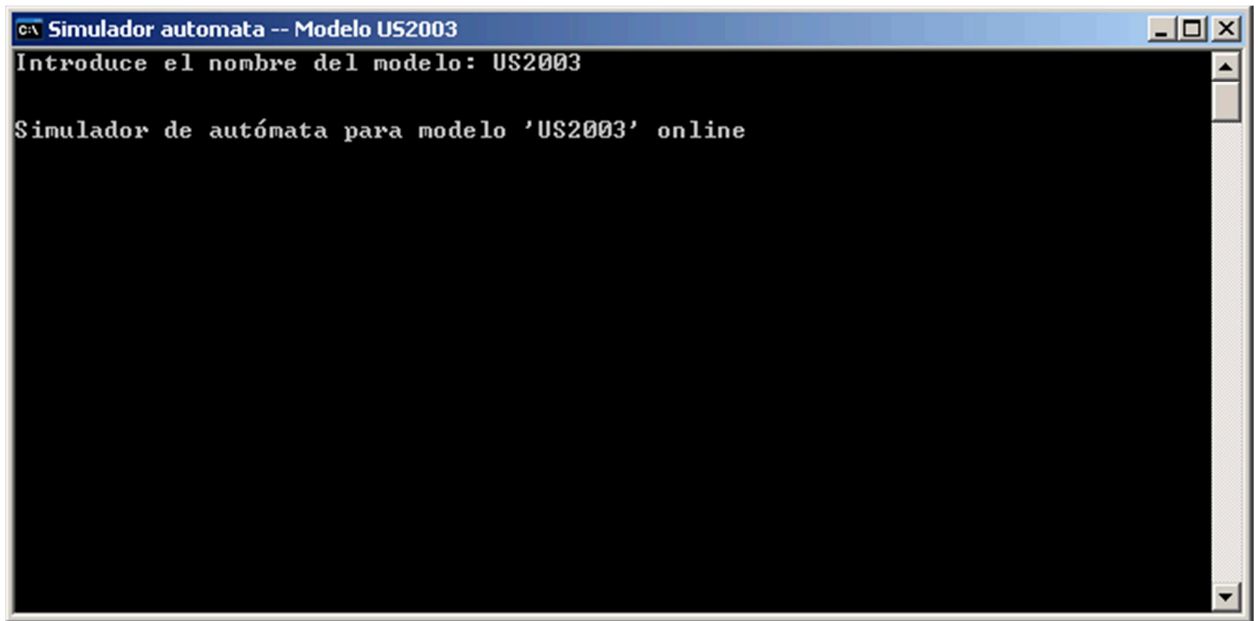
Las piezas que se miden son de dos tipos: SPOC e IRENE (los útiles de soldadura pertenecen al grupo IRENE). Por ello, tenemos un archivo llamado global.conf en el cual debemos especificar qué tipo de pieza estamos midiendo. Además, puesto que se dispone de dos tipos de posicionadoras, (ESP 100 y ESP 301), deberemos especificar también cuál de ellas estamos utilizando.



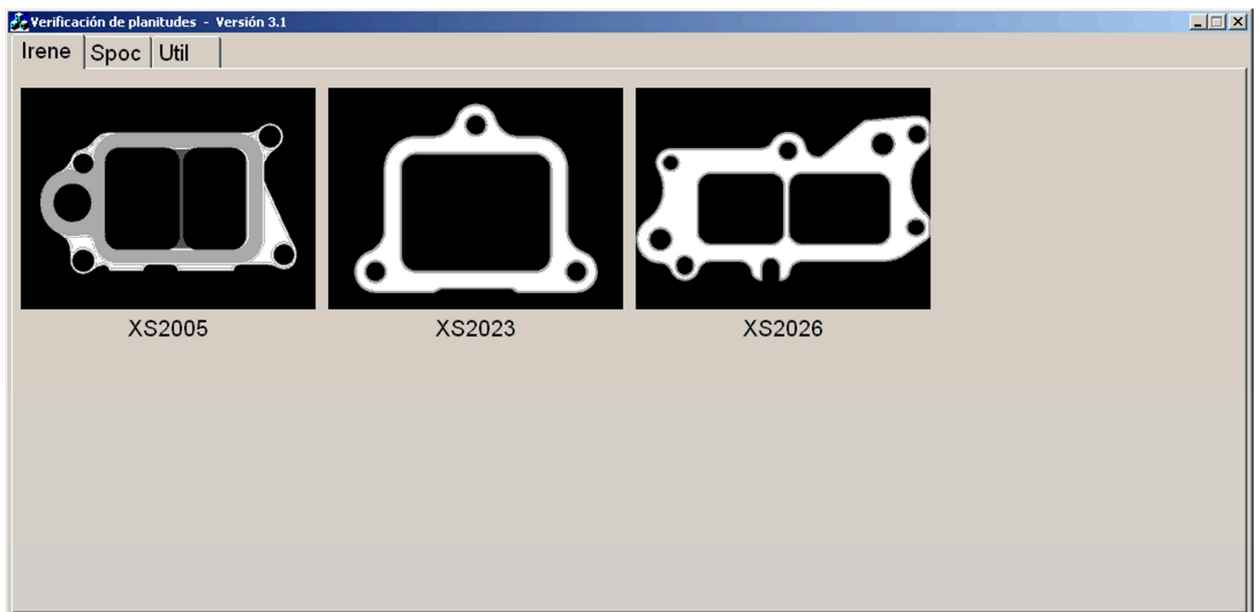
*Figura 3.2.1 Archivo global.conf.*

Una vez tengamos los ficheros en el directorio correcto, deberemos abrir el ejecutable del autómatas y especificar qué pieza vamos a medir. Posteriormente abrimos el programa IRENE y seleccionamos la pieza adecuada.

### 3 Procedimiento de medición: Máquina de medir por visión 3D



*Figura 3.2.2 Ejecutable del autómata.*



*Figura 3.2.3 Selección de pieza.*

Una vez seleccionemos la pieza, se nos abrirá el programa y ya podremos medir. Esto lo haremos introduciendo los comandos que nos pida el programa, en el ejecutable del autómata. En el caso de los útiles de soldadura, al pertenecer al tipo de piezas IRENE, las instrucciones a introducir serán M000 y M001.

Antes de nada, podemos seleccionar la ganancia del láser que queramos, así como que nos muestre el mapeado de planitud de la pieza y que nos guarde un archivo llamado informes, dentro del cual nos guarde los resultados obtenidos.



### 3 Procedimiento de medición: Máquina de medir por visión 3D

Cabe destacar que para poder tratar los datos obtenidos, en el fichero de planitud se puede poner la opción de guardar imágenes.

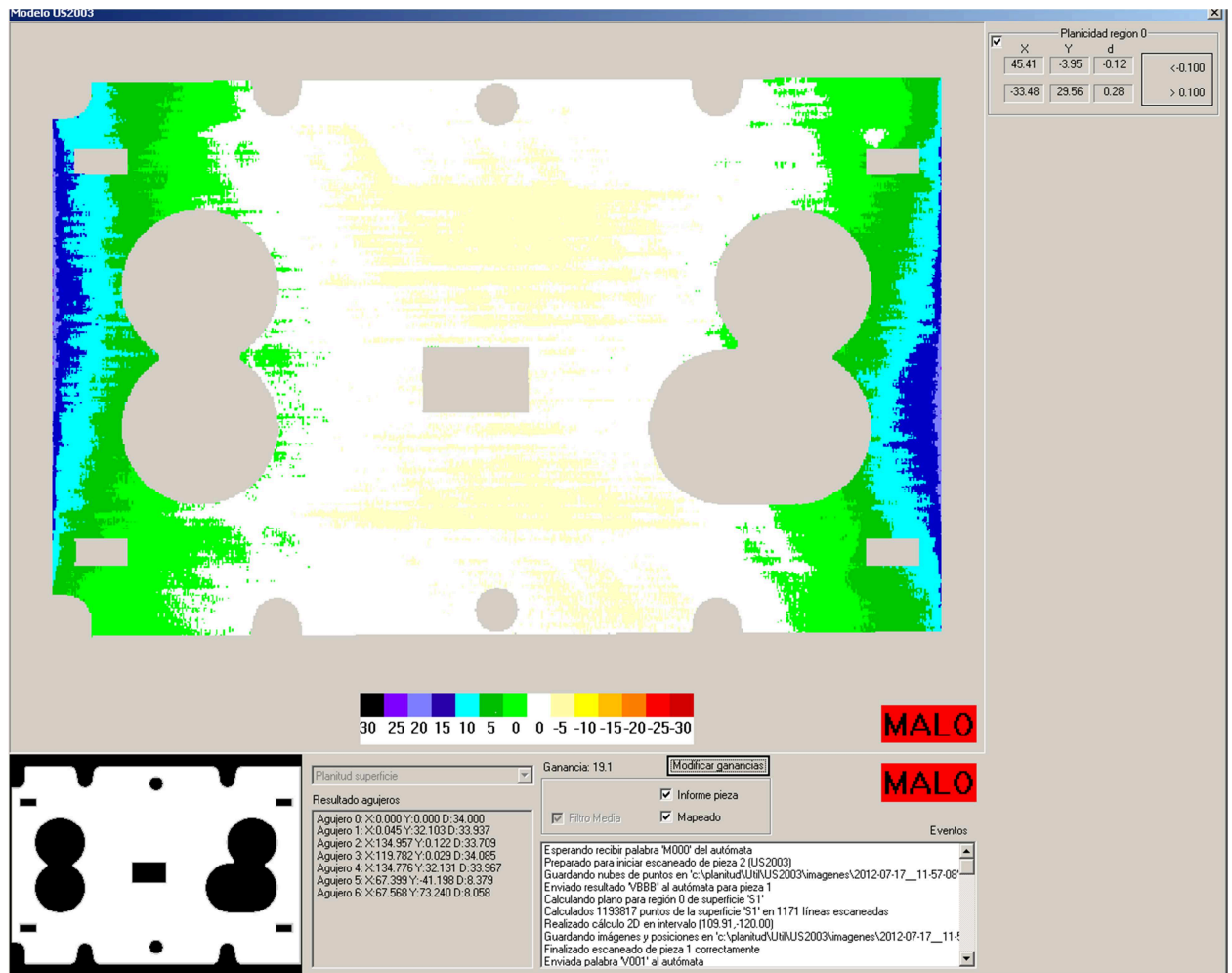


Figura 3.2.4 Resultados obtenidos.

Cuando haya medido pieza, el programa nos mostrará los resultados obtenidos.

### 3 Procedimiento de medición: Máquina de medir por visión 3D



## 4 Procedimiento de medición: Máquina de medir por coordenadas

---

En el presente procedimiento de medición se detalla cómo medir el útil de soldadura con la MMC, para poder posteriormente comparar los resultados obtenidos con los de la MMV. Dicho procedimiento se explica de manera más detallada en el anexo IV.

Para poder medir la pieza, en primer lugar debemos posicionarla sobre la bancada de la MMC y sujetarla. Nos bastará con utilizar plastilina.



*Figura 4.1 Fijación de la pieza.*

El siguiente paso será seleccionar un palpador, el cual habremos calibrado previamente, y definirnos cuál será nuestro sistemas de coordenadas.

El sistema de coordenadas que cogemos será el mismo que hemos utilizado para la creación del fichero plantilla de la MMV. En nuestro caso el agujero de origen es el agujero grande de la izquierda.

Para crear el sistema de coordenadas necesitamos dos ejes y un centro. En nuestro caso el eje Z lo conseguiremos midiendo el plano de la pieza con aproximadamente 10 puntos. Para el eje Y mediremos los dos agujeros de la izquierda y mediante retrollamada nos definiremos una recta que pasará por los centros de dichos agujeros. El centro será el del agujero que hemos tomado como origen.

#### 4 Procedimiento de medición: Máquina de medir por coordenadas

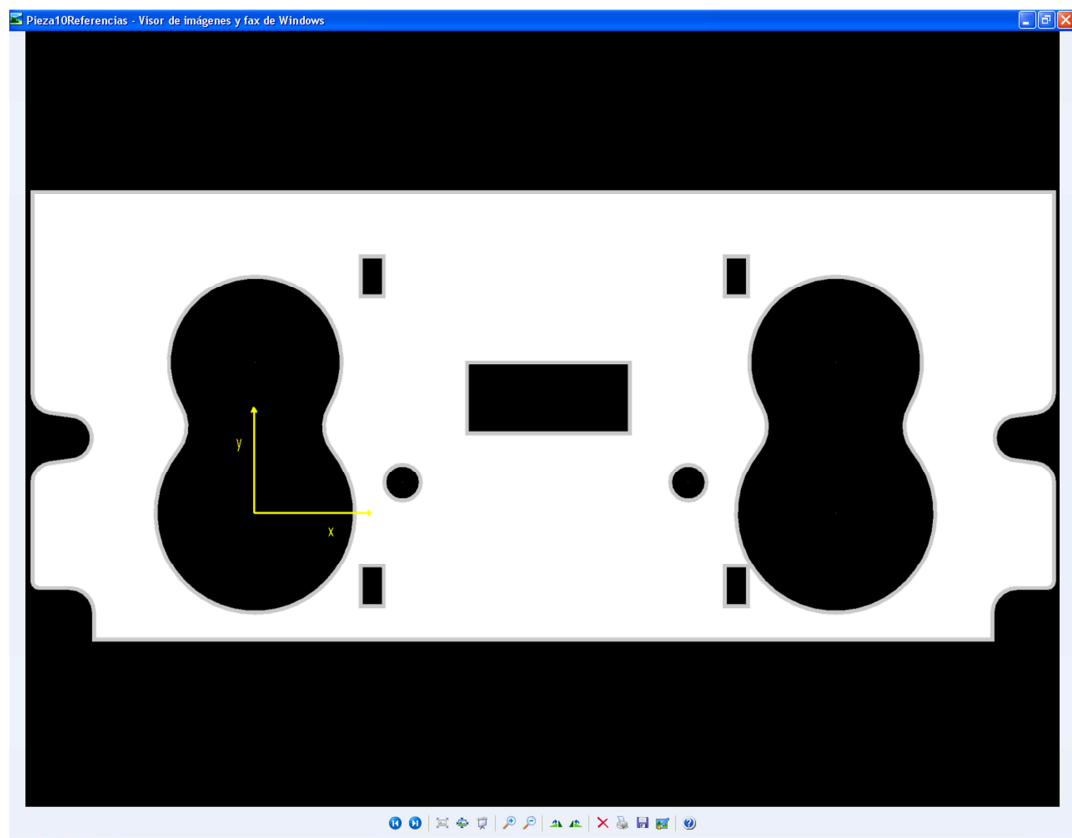


Figura 4.2 Origen de la pieza.

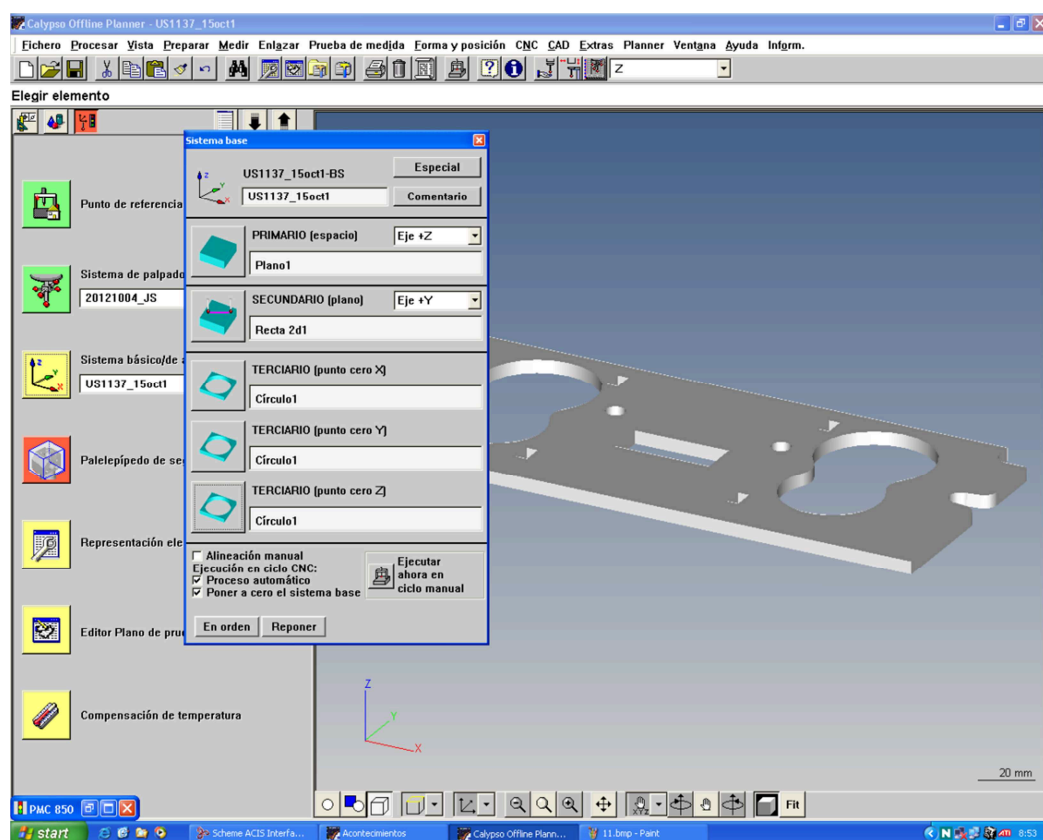


Figura 4.3 Definición de los ejes coordenados.

#### 4 Procedimiento de medición: Máquina de medir por coordenadas

Una vez hecho esto, importamos el CAD que nos hemos creado de nuestra pieza. Ahora tenemos posicionada la pieza real sobre la bancada, pero no así nuestra pieza CAD, por lo que deberemos trasladar nuestro CAD a la posición correcta sobre nuestra pieza real. Esto lo conseguiremos mediante la transformación de los vectores nominales, lo cual está explicado en el Anexo IV.

Cuando ya tengamos posicionada nuestra pieza CAD sobre la pieza real, nos deberemos crear un paralelepípedo de seguridad para evitar colisiones mientras midamos nuestra pieza.

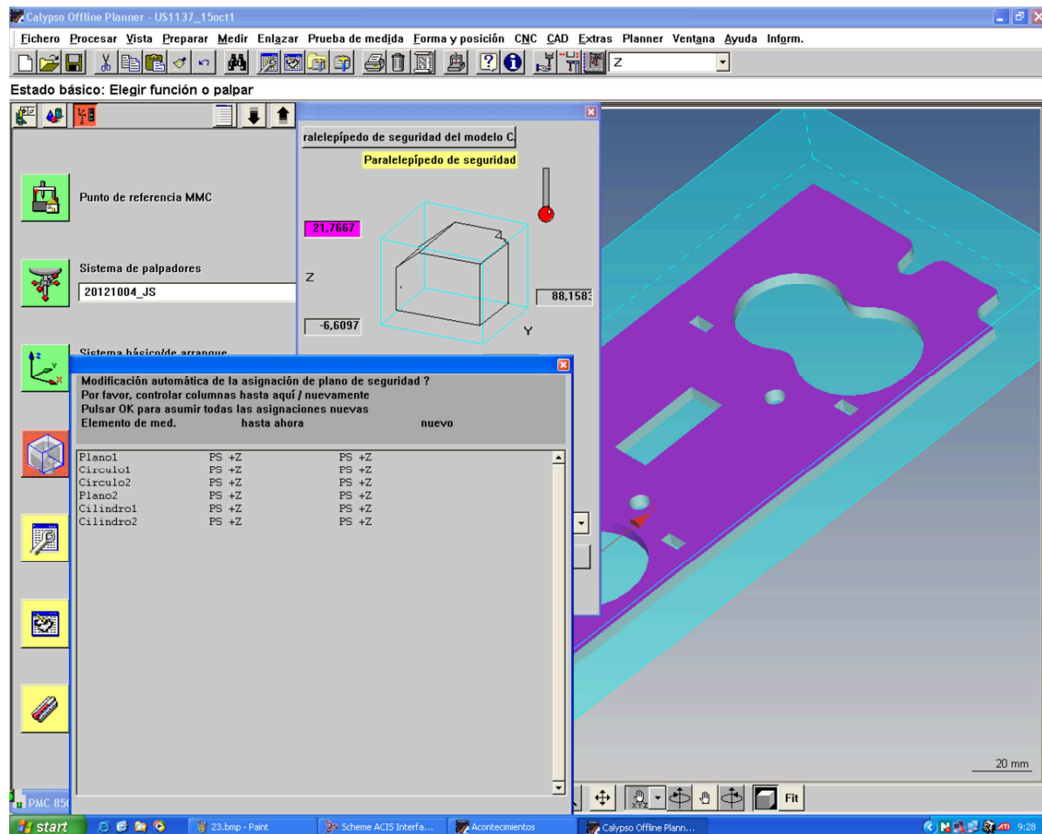


Figura 4.4 Definición del paralelepípedo de seguridad.

Finalmente deberemos generar la estrategia de palpado para medir de manera automática nuestra superficie. Para ello utilizaremos una retícula.

Para obtener una gran cantidad de puntos similar a la obtenida con la MMV, modificaremos los parámetros longitud de retícula, anchura de retícula, distancia de paso y distancia de margen. Los valores que elegimos son longitud y anchura de retícula 650, distancia de paso 0.5 mm y distancia de margen 1mm. Con estos valores obtenemos un espaciado de puntos de 0.3 mm en el eje X y 0.5 mm en el eje Y, frente a los 0.18 mm en el eje X y 0.1 mm en el eje Y del sistema de visión.

#### 4 Procedimiento de medición: Máquina de medir por coordenadas

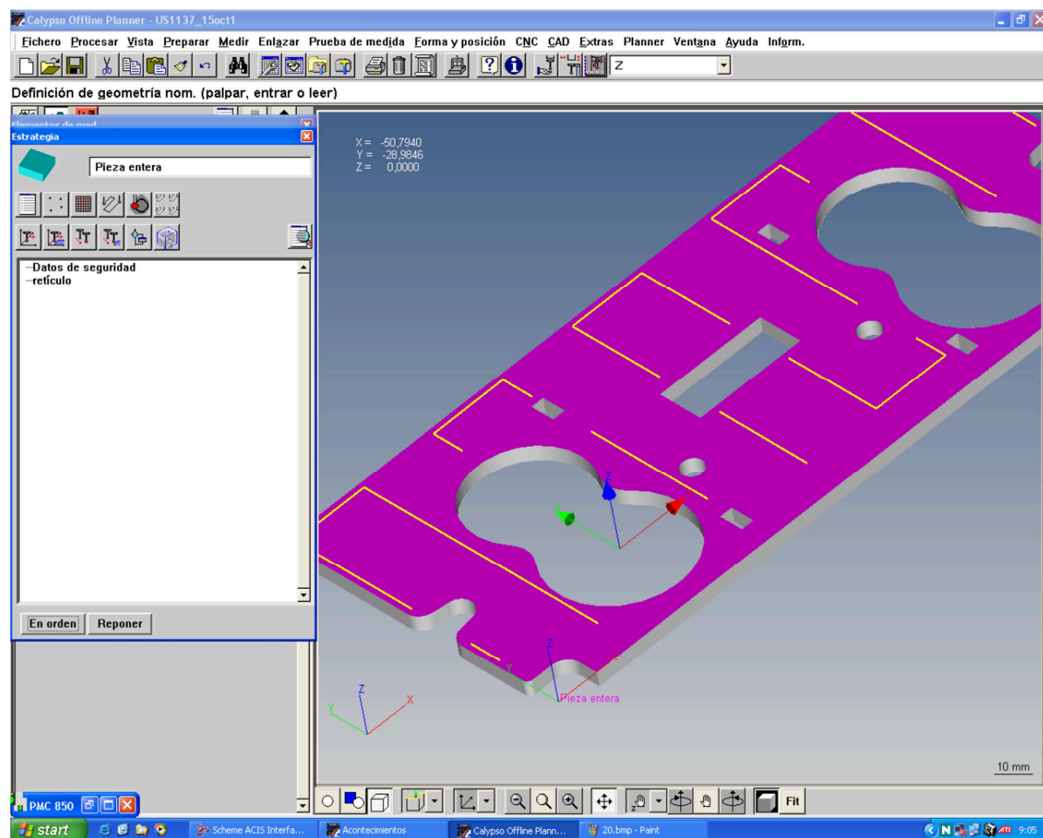


Figura 4.5 Definición estrategia de palpado.

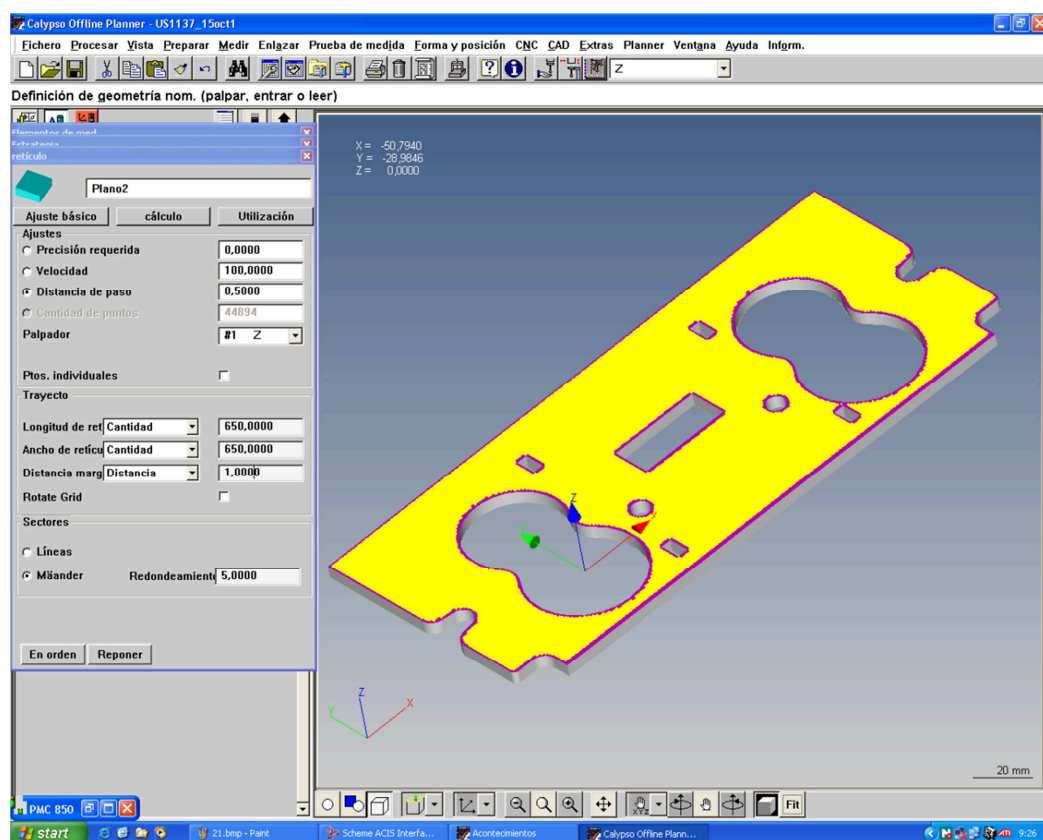


Figura 4.6 Estrategia de palpado.

Una vez definida la estrategia de palpado, ya podemos medir la planitud del útil de soldadura.

#### 4 Procedimiento de medición: Máquina de medir por coordenadas

Cabe destacar que se puede aislar determinadas zonas de la superficie mediante la creación de un plano a partir de tres puntos, para poder estudiarlas mejor, como sería el caso de las zonas desgastadas por el intercambiador de calor.

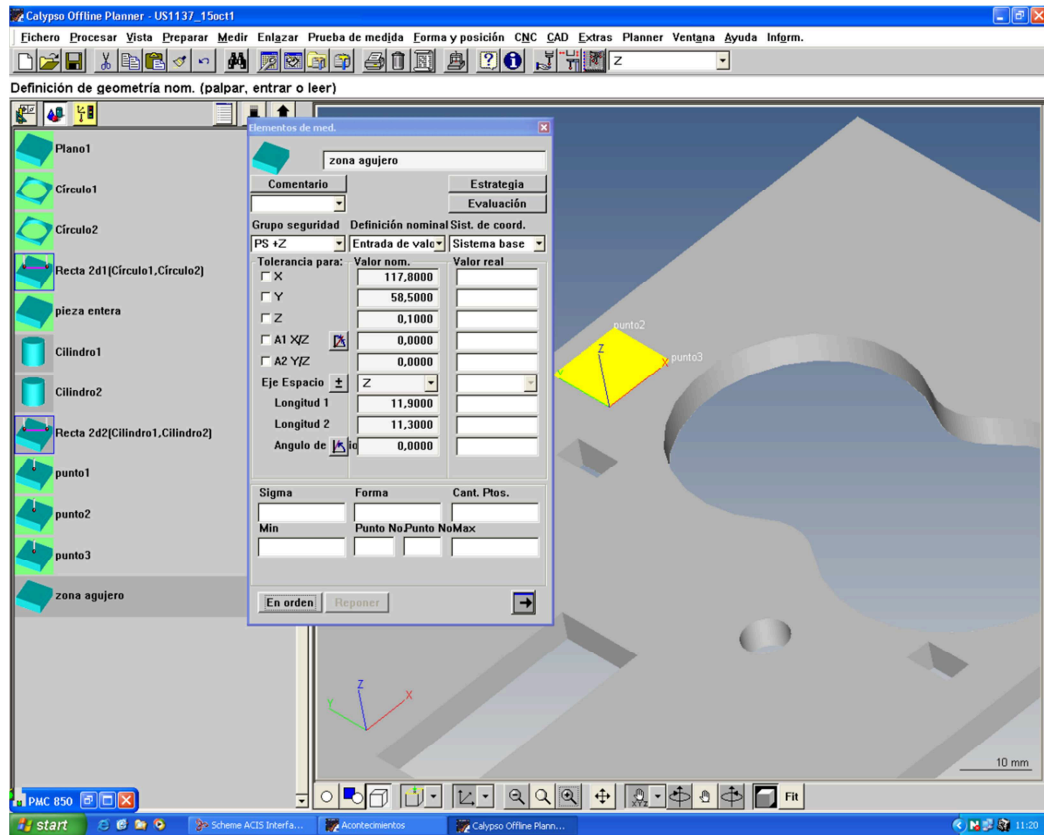


Figura 4.7 Medición de zona concreta

#### 4 Procedimiento de medición: Máquina de medir por coordenadas

## 5 Verificación de la ganancia idónea del sistema de medición sin contacto

---

Esta parte del proyecto consiste en identificar cuál será la ganancia idónea del láser a poner en el sistema de medición sin contacto durante la medición de las piezas.

Principalmente se va a analizar cómo varía la planitud en función de la ganancia de las tres piezas medidas con la MMV y compararemos los resultados con los obtenidos de la medición de las mismas piezas con la MMC. El principal parámetro en el que nos fijaremos será la media de planitud. Igualmente miraremos cómo evoluciona el perfil de planitud en algunas zonas de la pieza en las cuales se observa un desgaste producido por el intercambiador de calor.

La elección de la ganancia idónea no sólo será determinada por los dos aspectos anteriores, sino que también se mirará cómo influye la ganancia en los reflejos y comprobaremos si la traslación de los mínimos se corresponde con la traslación de los centros de agujeros.

A continuación, se muestran de manera resumida los resultados obtenidos para uno de los útiles (US1137); el resto de los datos obtenidos se encuentran en el Anexo VII. Los resultados que se obtienen son similares.

Para tratar los datos obtenidos utilizamos Matlab. Los programas que se utilizan se adjuntan en el Anexo V.

### 5.1 Pasos a realizar

En primer lugar realizaremos un mapeado de toda la pieza con Matlab a partir de los datos obtenidos tanto con la MMV, como con los obtenidos de la MMC. Estas gráficas se compararán entre ellas. Además se compararán los resultados obtenidos con Matlab con los obtenidos con el programa IRENE.

Posteriormente, se identificarán cuáles serán las zonas de estudio. Para graficar cómo varía la media de la planitud, no podremos utilizar toda la pieza, ya que el resultado obtenido sería cero; por lo tanto, se escogen zonas más pequeñas como son las zonas del máximo y del mínimo de la pieza, o bien zonas en las que se aprecia el desgaste producido por el intercambiador de calor.

Finalmente, se realizarán las gráficas de cómo varía la planitud en función de la ganancia con la MMV y se compararán con los datos obtenidos con la MMC.

### 5.2 Mapeados de las piezas enteras

Como ya se ha comentado, el primer paso es realizar el mapeado de las piezas completas para los datos obtenidos con la MMV, el mapeado generado por el programa IRENE y el dado con los



## 5 Verificación de la ganancia idónea del sistema de medición sin contacto

datos obtenidos de la MMC. A continuación, se muestran los datos obtenidos para la primera de las ganancias. En este caso las ganancias que se sometieron a estudio fueron: 19'1, 18'4, 18'1, 16'6, 15'2, 13'2, y 11'6. A partir de la ganancia 9'8 empezaron a producirse problemas de alineación en la MMV y ya no se pudo obtener más datos.

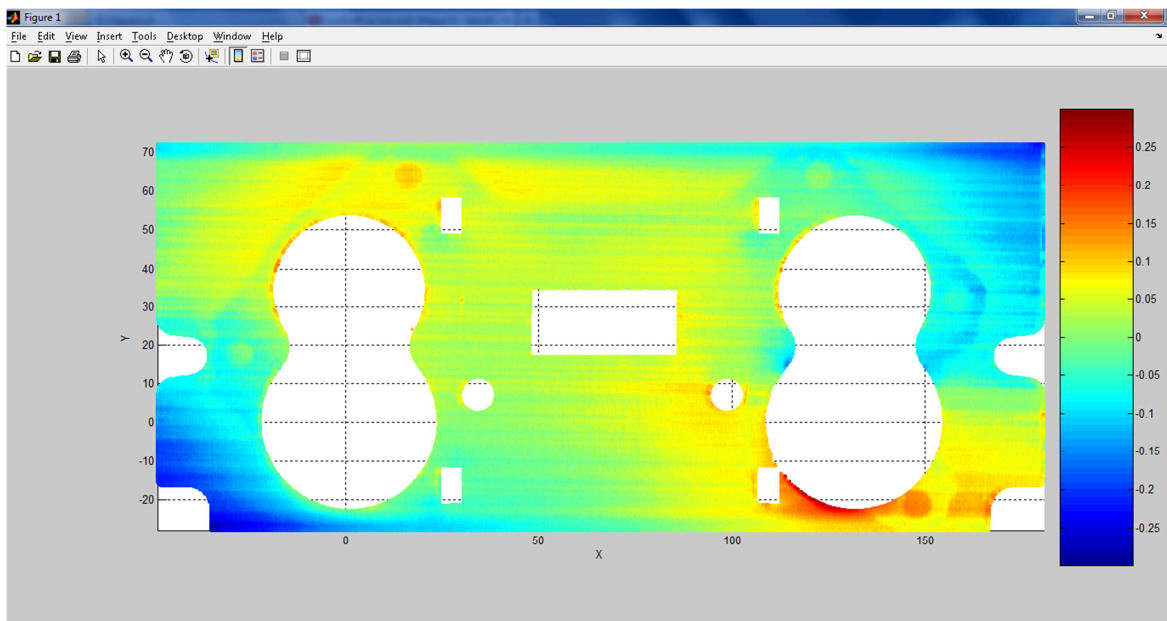


Figura 5.2.1 Mapeado Matlab US1137, ganancia 19'1.

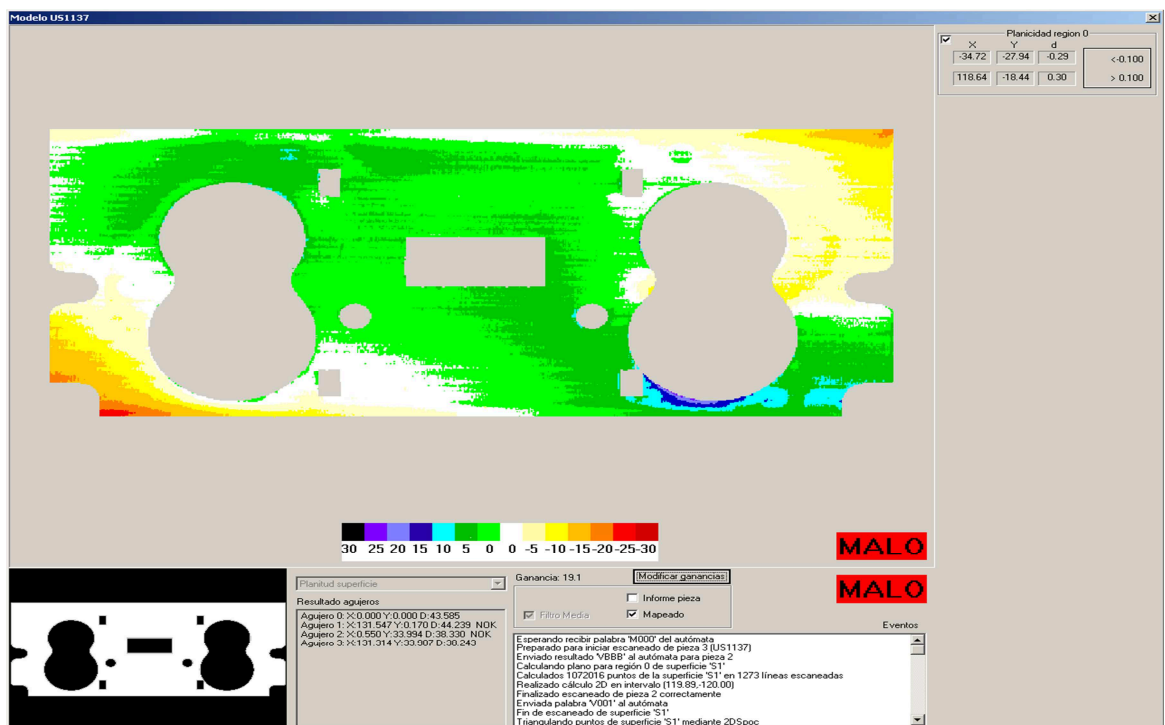
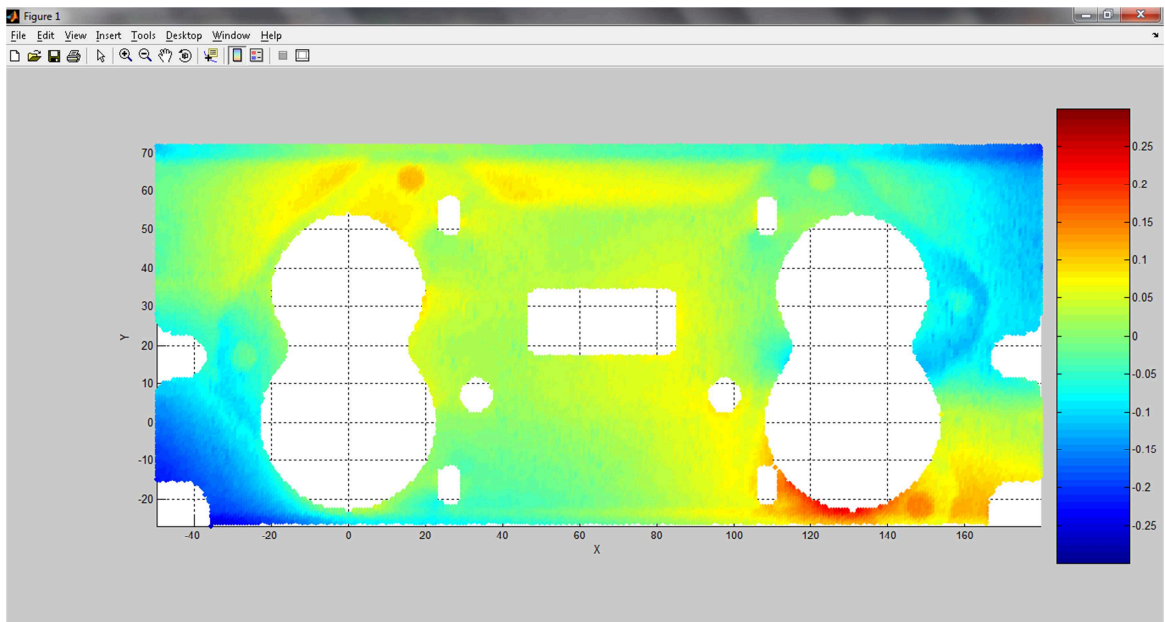


Figura 5.2.2. Mapeado máquina de visión US1137, ganancia 19'1.



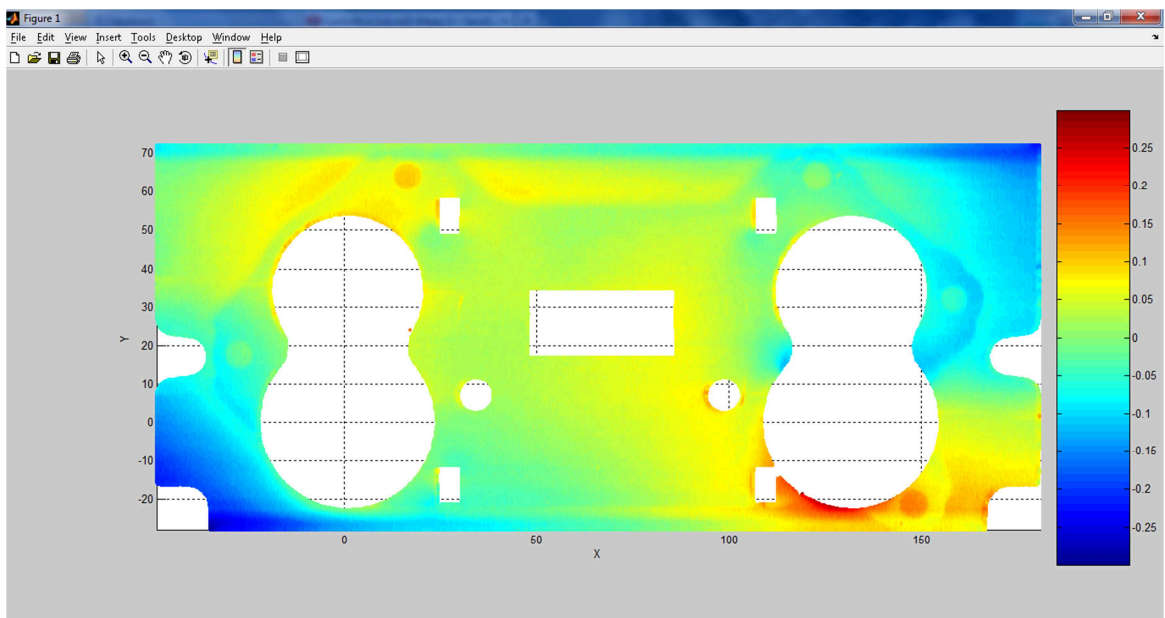
## 5 Verificación de la ganancia idónea del sistema de medición sin contacto



*Figura 5.2.3. Mapeado obtenido con MMC US1137.*

Analizando las imágenes se observa que, para todas las ganancias, se corresponde perfectamente el mapeado obtenido con Matlab de los datos de la MMV con los obtenidos del programa informático IRENE. No ocurre así con los datos obtenidos con la MMC. Fijándonos en las imágenes, se puede apreciar cómo el mapeado que se obtiene con la MMC es uniforme y no presenta unos cambios de colores tan bruscos. En la única ganancia en la cual no se aprecian esos cambios bruscos de color es la ganancia 18'1.

Este efecto se aprecia en las tres piezas sometidas a estudio.



*Figura 5.2.4. Mapeado Matlab US1137, ganancia 18'1.*

En las siguientes imágenes se puede apreciar más cerca el efecto comentado.

## 5 Verificación de la ganancia idónea del sistema de medición sin contacto

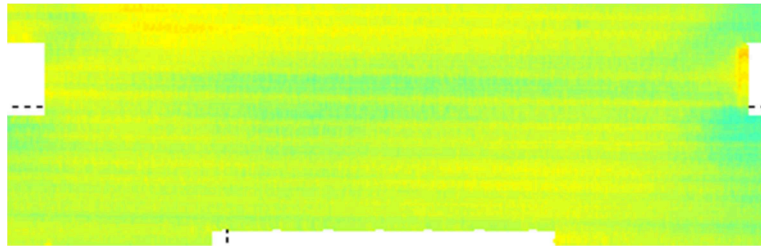


Figura 5.2.5. Cambios de color US1137, ganancia 19'1.

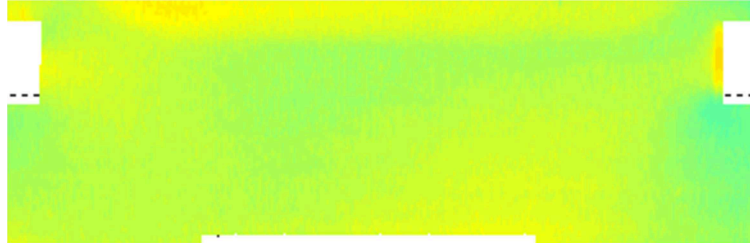


Figura 5.2.6. Cambios de color US1137, ganancia 18'1.

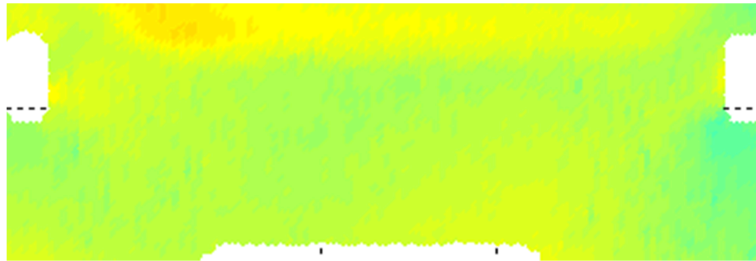


Figura 5.2.7. Cambios de color US1137, MMC.

## 5.3 Selección de las zonas de estudio

Aunque lo anterior ocurre en todas las piezas, no se puede concluir que la ganancia idónea sea la de 18'1. Por ello debemos delimitar zonas concretas de la pieza para estudiarlas posteriormente.

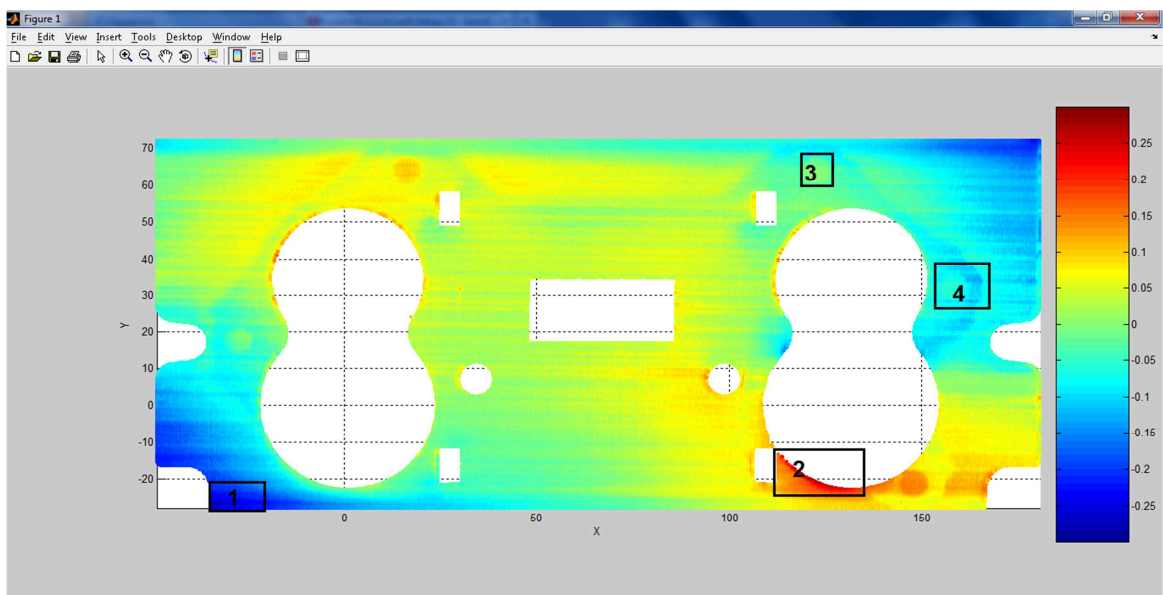


Figura 5.3.1. Delimitación de las zonas de estudio US1137.

Cogemos la zona 1, puesto que se corresponde con el mínimo de la pieza.

La zona 2 la escogemos porque, aparte de ser el máximo, se pierden líneas al bajar la ganancia. Con el estudio de dicha zona veremos cómo influye la ganancia en la aparición de reflejos.

Las zonas 3 y 4 se escogen porque se ve un desgaste producido por el intercambiador de calor. Con el estudio de estas zonas intentaremos ver cómo evoluciona el perfil.

De dichas zonas obtendremos la media, la desviación estándar, el máximo, el mínimo y las coordenadas del máximo o mínimo.

Cabe destacar que el estudio de la zona del máximo sólo se realiza en el útil US1137, ya que en las otras dos piezas coincide con una zona de curvatura de la pieza.

Aparte del estudio de estas zonas, se comparan los resultados obtenidos de los máximos y mínimos con Matlab con los datos generados por el programa IRENE. También se verá cómo varían los centros de los agujeros comparándolos con la traslación de los mínimos en Matlab para ver si se produce un correcto alineamiento

## 5.4 Estudio de las zonas elegidas.

### 5.4.1 Zona 1

La primera zona de estudio es la del mínimo. De esta zona se pretende ver cómo varía la media de dicha zona al variar la ganancia y comparar los resultados obtenidos con los de la MMC.

Los datos que se obtienen son los siguientes:

Ganancia	Media	Desv Estand	Max	Min	Recorrido	Xmin	Ymin
19.1	-0.239	0.019	-0.203	-0.290	0.087	-34.869	-27.895
18.4	-0.238	0.018	-0.203	-0.288	0.085	-34.654	-27.761
18.1	-0.237	0.017	-0.193	-0.286	0.093	-34.806	-27.603
16.6	-0.238	0.019	-0.206	-0.294	0.088	-34.800	-27.602
15.2	-0.238	0.019	-0.208	-0.297	0.089	-34.588	-27.581
13.2	-0.238	0.021	-0.205	-0.316	0.111	-34.913	-27.686
11.6	-0.237	0.021	-0.207	-0.303	0.096	-34.909	-27.867
MMC	-0.223	0.014	-0.189	-0.250	0.060	-33.847	-26.196

*Tabla 5.4.1. Resultados zona del mínimo US1137.*

## 5 Verificación de la ganancia idónea del sistema de medición sin contacto

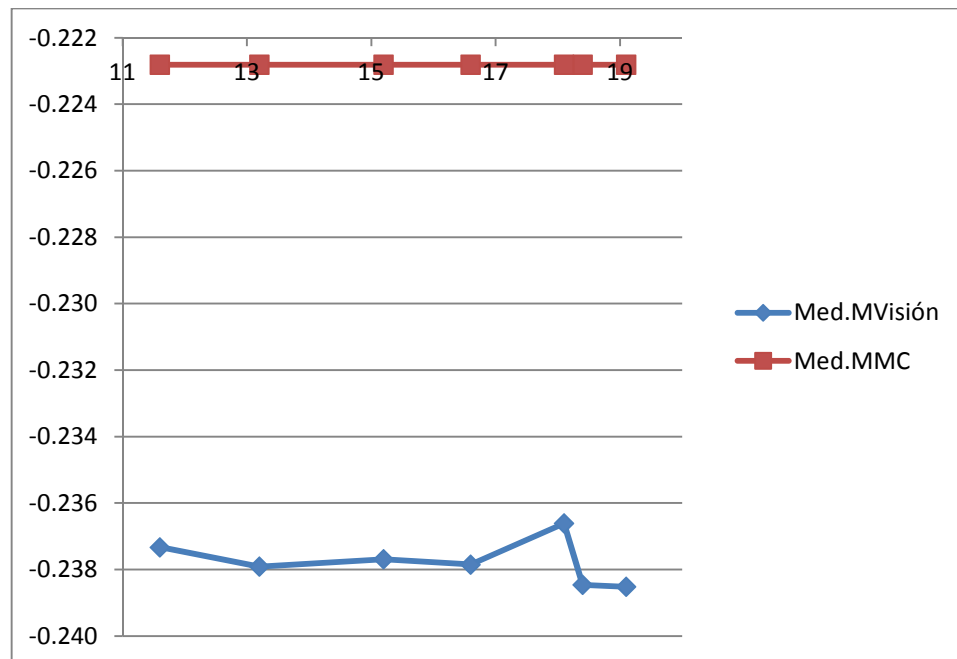


Figura 5.4.1. Media zona mínimo US1137.

Comparando la gráfica que se obtiene con las de las otras piezas, se observa que se repite el mismo patrón, es decir, a pesar de estar bastante alejados los resultados de los obtenidos de la MMC, se observa que, para la ganancia de 18'1, se produce un pico aproximándose la que más a la media de la MMC.

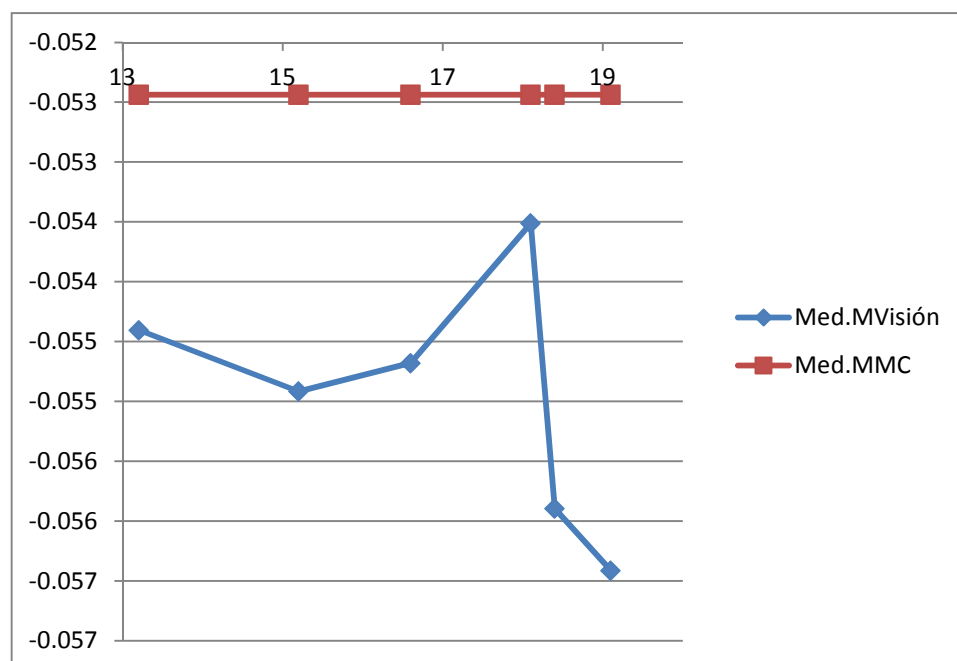


Figura 5.4.2. Media zona mínimo US2003.

## 5 Verificación de la ganancia idónea del sistema de medición sin contacto

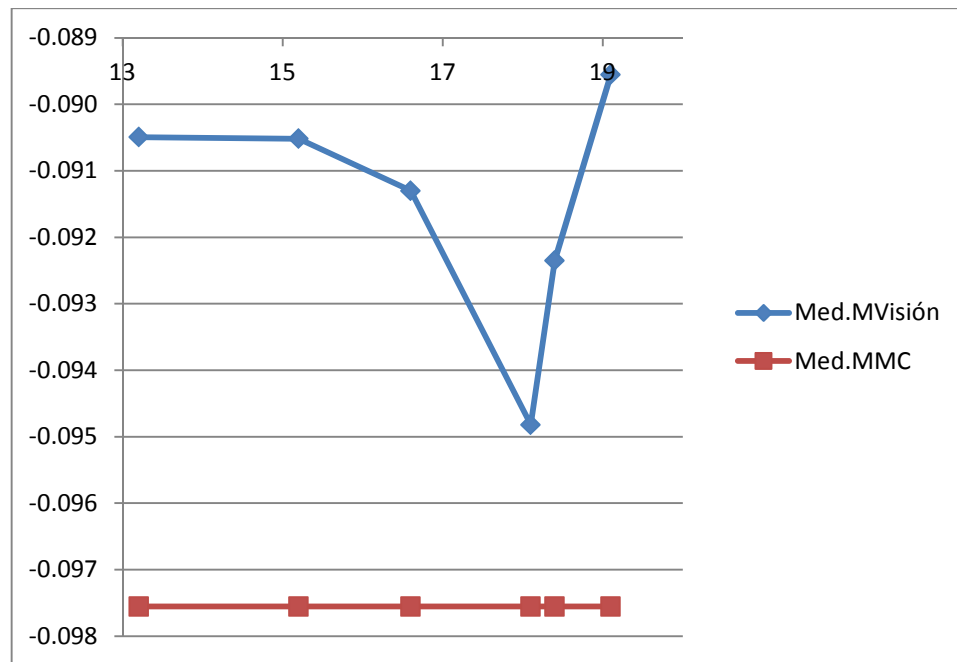


Figura 5.4.3. Media zona mínimo 2010.

### 5.4.2 Zona 2

La segunda zona de estudio es la zona del máximo en la cual se produce una pérdida de imágenes al disminuir la ganancia. En este caso, en la gráfica que se obtiene no se aprecia el mismo patrón, pero esto es debido a la comentada pérdida de datos.

Ganancia	Media	Desv Estan	Max	Min	Recorrido	Xmax	Ymax
19.1	0.176	0.034	0.300	0.112	0.188	118.980	-18.676
18.4	0.173	0.031	0.284	0.103	0.181	121.230	-20.004
18.1	0.173	0.032	0.282	0.108	0.173	119.060	-18.767
16.6	0.172	0.028	0.277	0.099	0.177	119.070	-18.782
15.2	0.172	0.027	0.262	0.103	0.159	124.450	-21.457
13.2	0.176	0.027	0.260	0.104	0.155	124.880	-21.574
11.6	0.178	0.025	0.262	0.110	0.152	126.900	-22.142
MMC	0.176	0.027	0.234	0.120	0.115	127.440	-22.990

Tabla 5.4.2. Resultados zona del máximo US1137.

## 5 Verificación de la ganancia idónea del sistema de medición sin contacto

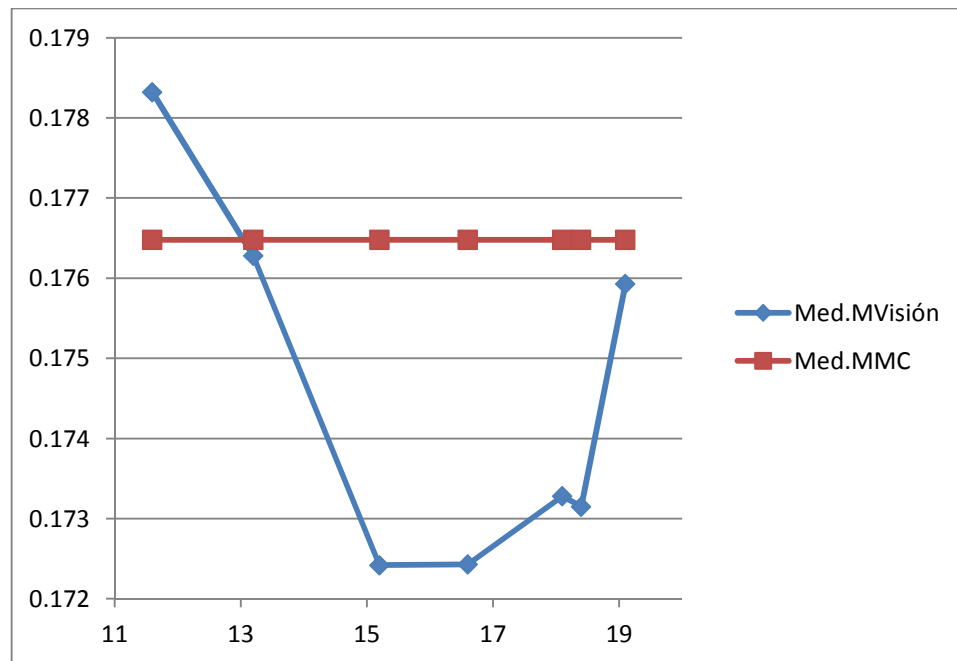


Figura 5.4.4. Media zona máximo US1137.

En las siguientes imágenes, se puede apreciar cómo, al disminuir la ganancia, aparte de disminuir el nivel de grises de la línea del láser, se producen reflejos, que son los causantes de la pérdida de puntos producida.

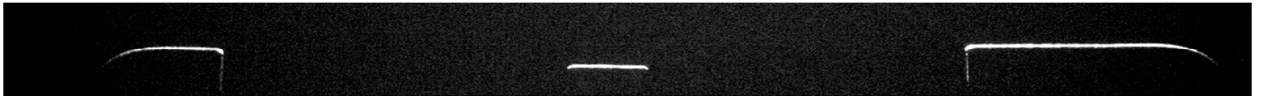


Figura 5.4.5 Imagen de la línea con ganancia 19'1.

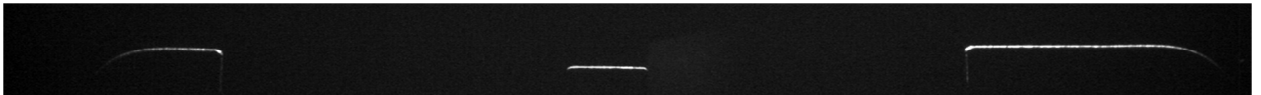


Figura 5.4.6. Imagen de la línea con ganancia 11'6.

En las imágenes anteriores se observa que para la ganancia de 19,1 se obtiene un nivel de grises uniforme de 255, mientras que en la segunda imagen tiene un nivel de grises en torno a 150, siendo menos uniforme.

En la siguiente imagen se puede observar un reflejo en el láser al disminuir la ganancia.

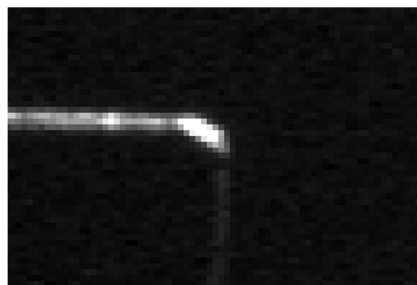
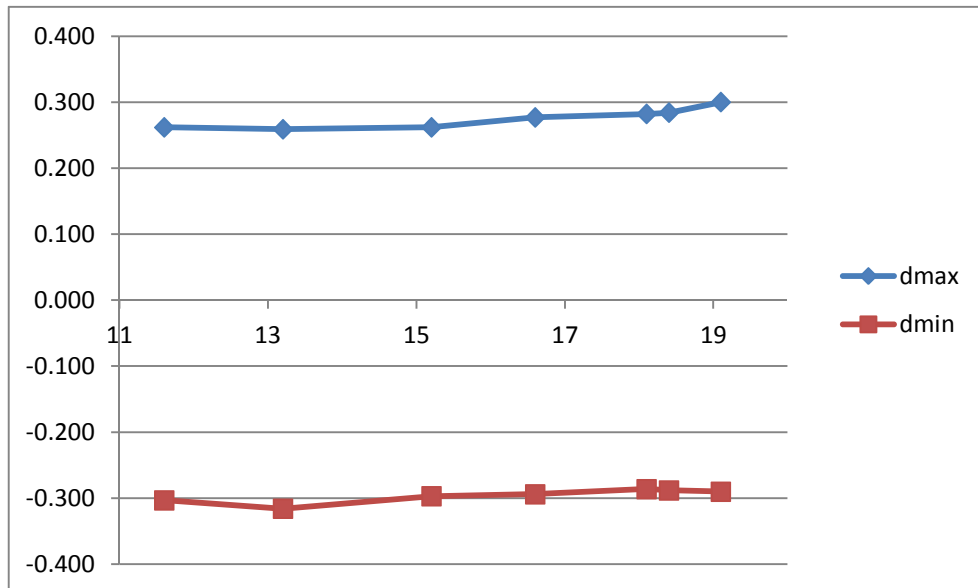


Figura 5.4.7. Reflejo producido en ganancia 11.6.

## 5 Verificación de la ganancia idónea del sistema de medición sin contacto

Como se ha comentado, a parte de las zonas de estudio, se pretende comparar los resultados que se obtienen del programa IRENE con los obtenidos con la MMV, para ver si se produce un correcto alineamiento.

En primer lugar, se grafican los valores de planitud obtenidos con el programa IRENE para cada una de las ganancias.



*Figura 5.4.8 Máximos y mínimos obtenidos del archivo informes US1137.*

En todas las piezas se repite el mismo patrón, en el que se observa que los máximos siguen una tendencia, mientras que los mínimos se mantienen prácticamente constantes. Esta tendencia se ve influenciada porque los máximos siempre aparecen por la misma parte del plano.

A continuación, se comparan los resultados obtenidos de los máximos y mínimos del programa IRENE con los generados con Matlab para comprobar que son idénticos. En las tres piezas se observa que coinciden.

Ganancia	Min	Min_Informes	Max	Max_Informes
19.1	-0.290	-0.290	0.300	0.300
18.4	-0.288	-0.288	0.284	0.284
18.1	-0.286	-0.286	0.282	0.282
16.6	-0.294	-0.294	0.277	0.277
15.2	-0.297	-0.297	0.262	0.262
13.2	-0.316	-0.316	0.260	0.259
11.6	-0.303	-0.303	0.262	0.262

*Tabla 5.4.3. Comparación de los máximos y mínimos obtenidos con Matlab, con los obtenidos del archivo informes US1137.*

Finalmente, se pretende comprobar si la traslación de las coordenadas de los agujeros se corresponde con la traslación de las coordenadas de los mínimos para ver si se produce un correcto alineamiento. Las gráficas que se obtienen son las siguientes.

## 5 Verificación de la ganancia idónea del sistema de medición sin contacto

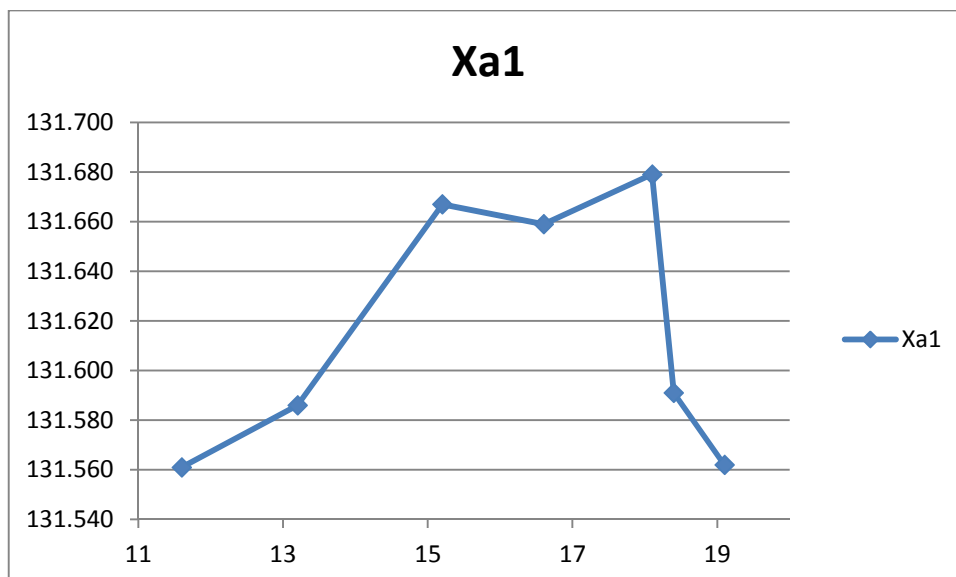


Figura 5.4.9. Coordenada X del agujero 1, US1137.

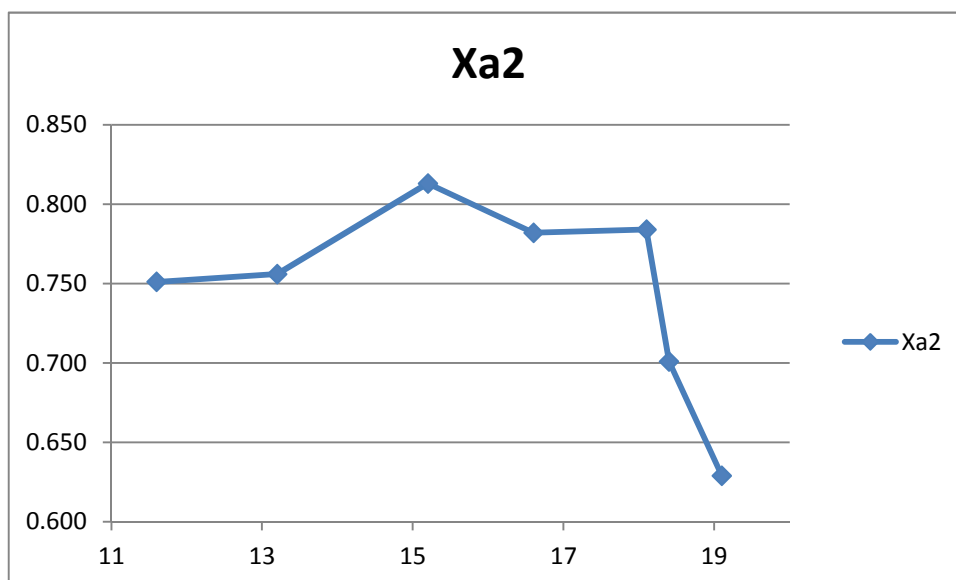


Figura 5.4.10. Coordenada X del agujero 2, US1137.

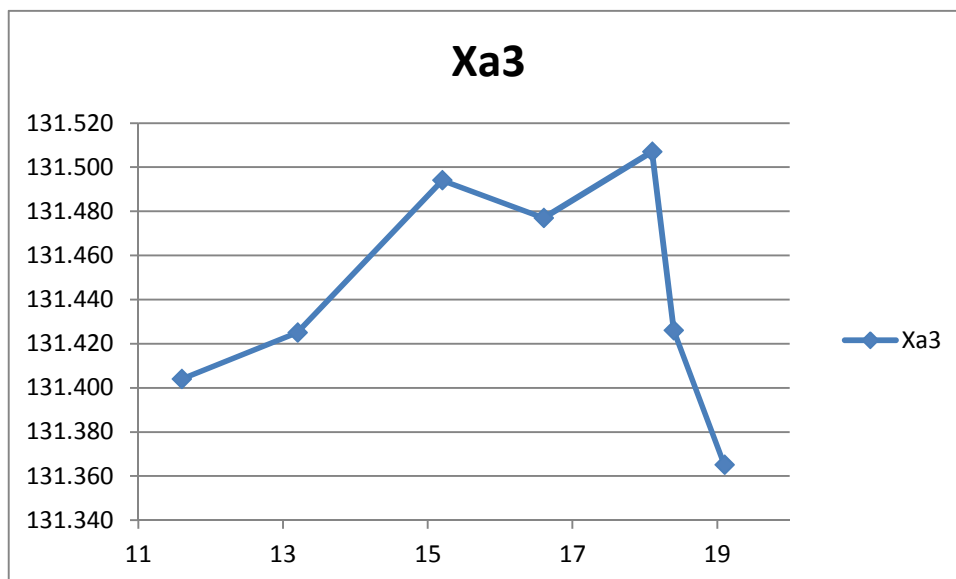


Figura 5.4.11. Coordenada X del agujero 3, US1137.



## 5 Verificación de la ganancia idónea del sistema de medición sin contacto

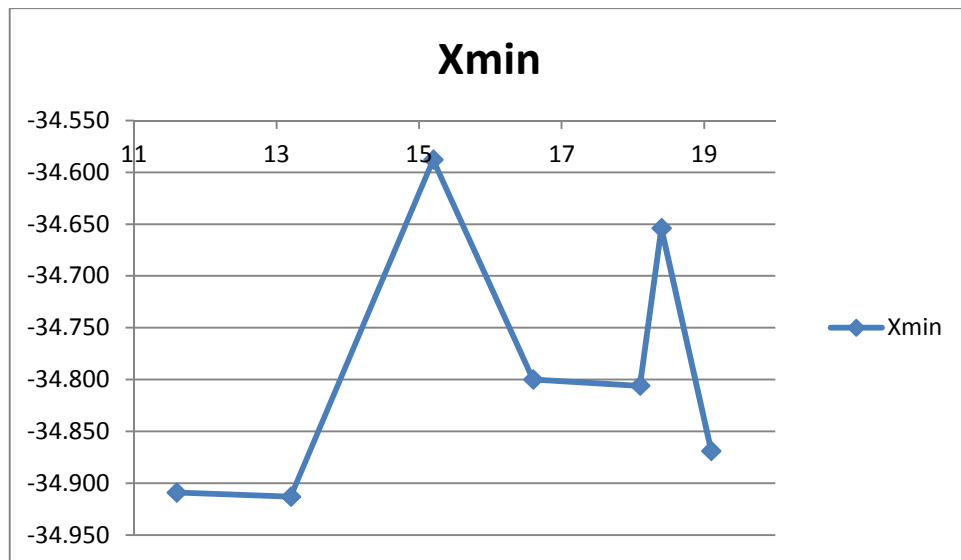


Figura 5.4.12. Coordenada X del mínimo obtenido por Matlab, US1137.

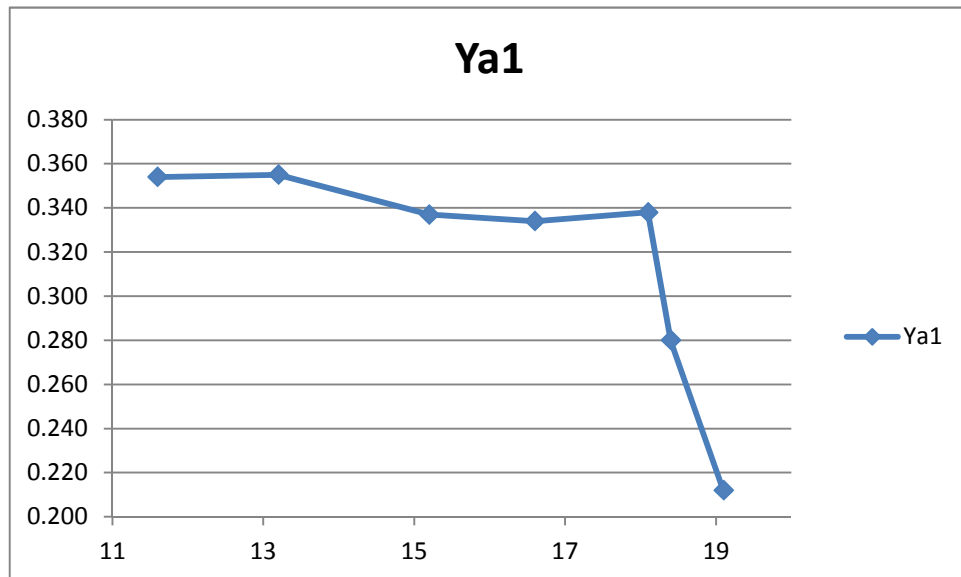


Figura 5.4. 13. Coordenada Y del agujero 1, US1137.

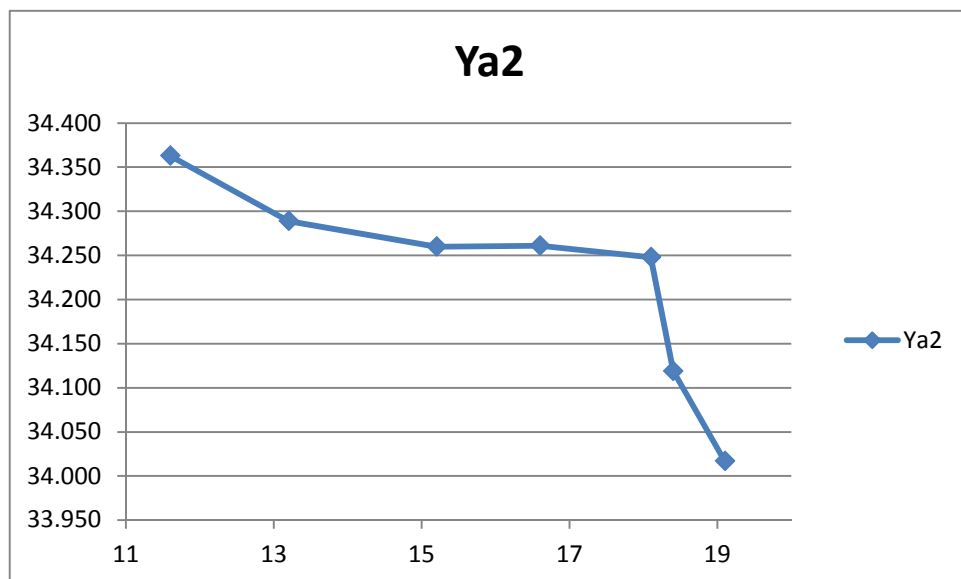


Figura 5.4.14. Coordenada Y del agujero 2, US1137.

## 5 Verificación de la ganancia idónea del sistema de medición sin contacto

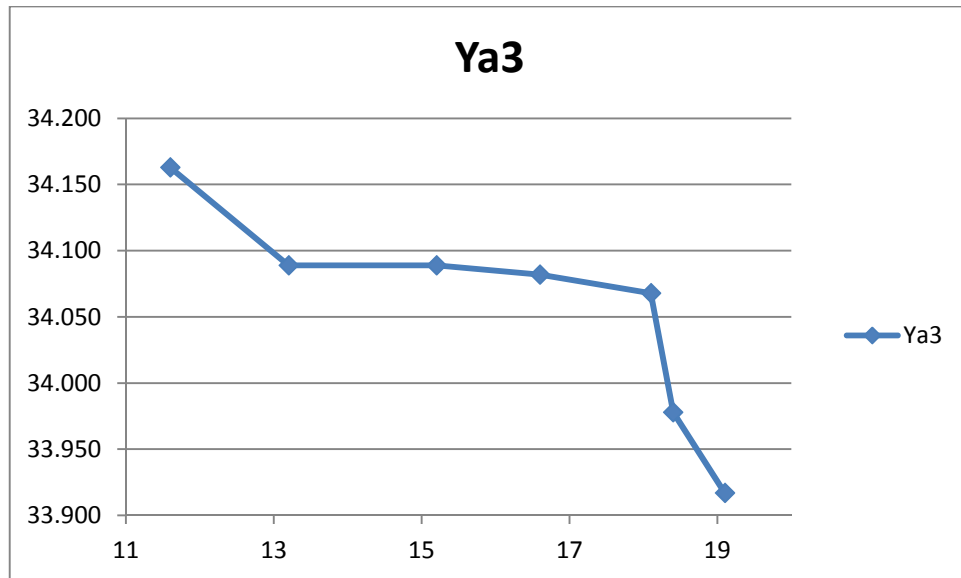


Figura 5.4.15. Coordenada Y del agujero 3, US1137.

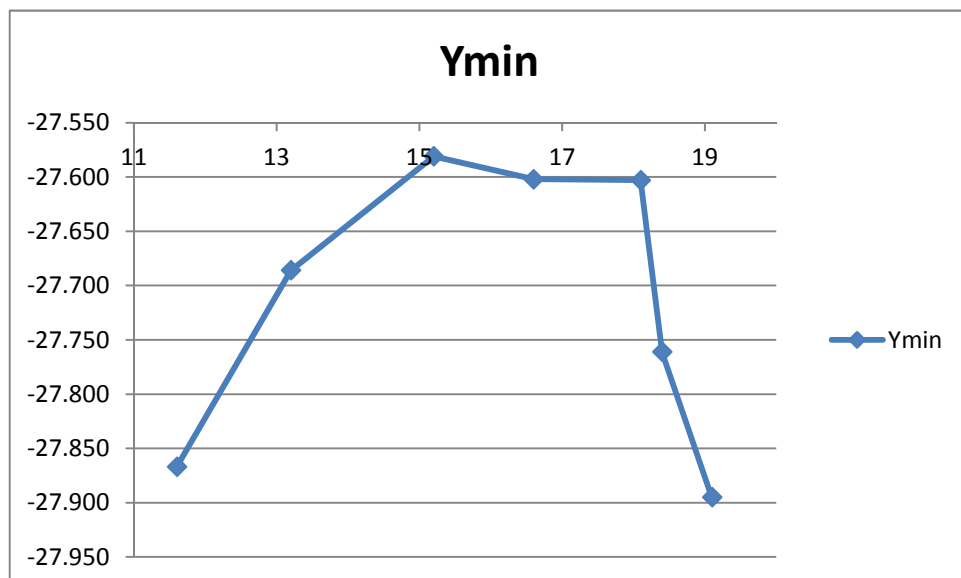


Figura 5.4.16. Coordenada Y del mínimo obtenido por Matlab, US1137.

Mirando las gráficas, se puede observar que la traslación de las coordenadas del mínimo a ganancias bajas no tiene la misma tendencia que la traslación de las coordenadas de los agujeros. Esto es debido a que a ganancias bajas se produce un mal alineamiento.

### 5.4.3 Zona 3

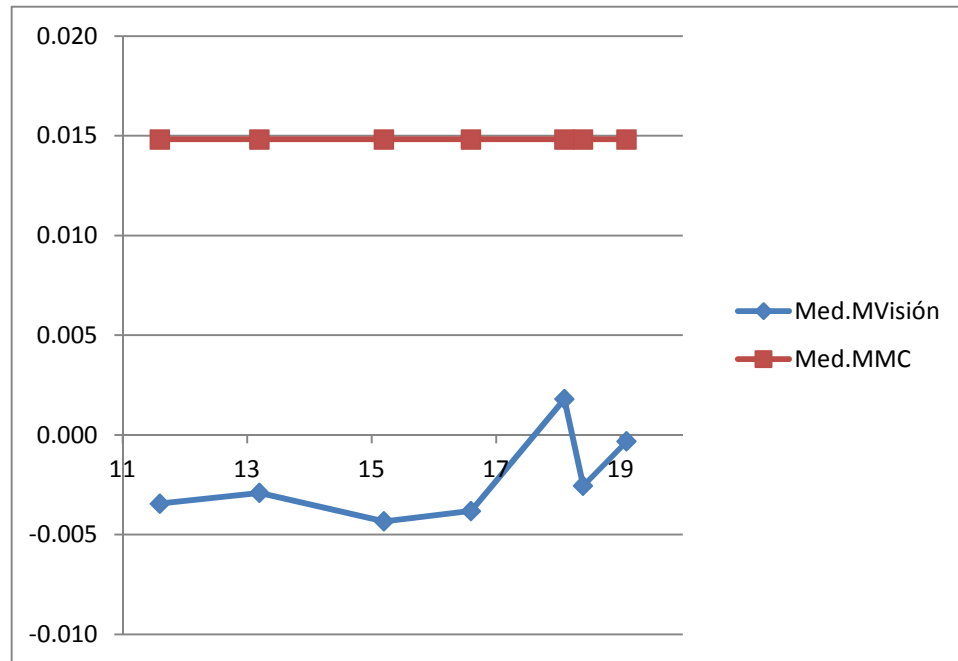
Seguimos ahora con el estudio de las zonas. La siguiente zona será uno de los agujeros producidos por el desgaste del intercambiador de calor. En esta zona realizaremos el mismo estudio que en la zona del mínimo y asimismo veremos cómo varía el perfil de planitud a lo largo del agujero.

Los resultados que obtenemos para la zona interior del agujero son los siguientes:

## 5 Verificación de la ganancia idónea del sistema de medición sin contacto

Ganancia	Media	Desv Estand	Max	Min	Recorrido	Xmax	Ymax
19.1	0.000	0.005	0.018	-0.014	0.032	122.280	63.554
18.4	-0.003	0.003	0.005	-0.012	0.018	122.190	64.141
18.1	0.002	0.004	0.009	-0.012	0.021	122.410	61.226
16.6	-0.004	0.004	0.006	-0.016	0.022	122.240	61.116
15.2	-0.004	0.004	0.003	-0.015	0.018	122.460	62.086
13.2	-0.003	0.003	0.005	-0.015	0.019	122.700	62.072
11.6	-0.003	0.003	0.004	-0.014	0.018	122.350	62.142
MMC	0.015	0.004	0.020	0.001	0.019	121.090	62.213

*Tabla 5.4.4. Resultados obtenidos de la parte interna de la zona 3.*



*Figura 5.4.17. Media zona interior del agujero US1137.*

Vemos que se vuelve a repetir el mismo patrón que se había dado para la zona del mínimo. Este patrón además se vuelve a repetir en las otras dos piezas.

A continuación, se muestran los perfiles de planitud del interior del agujero tanto para la MMV como para la MMC. Para ver mejor los datos, agregamos una línea de tendencia polinomial de grado 6.

## 5 Verificación de la ganancia idónea del sistema de medición sin contacto

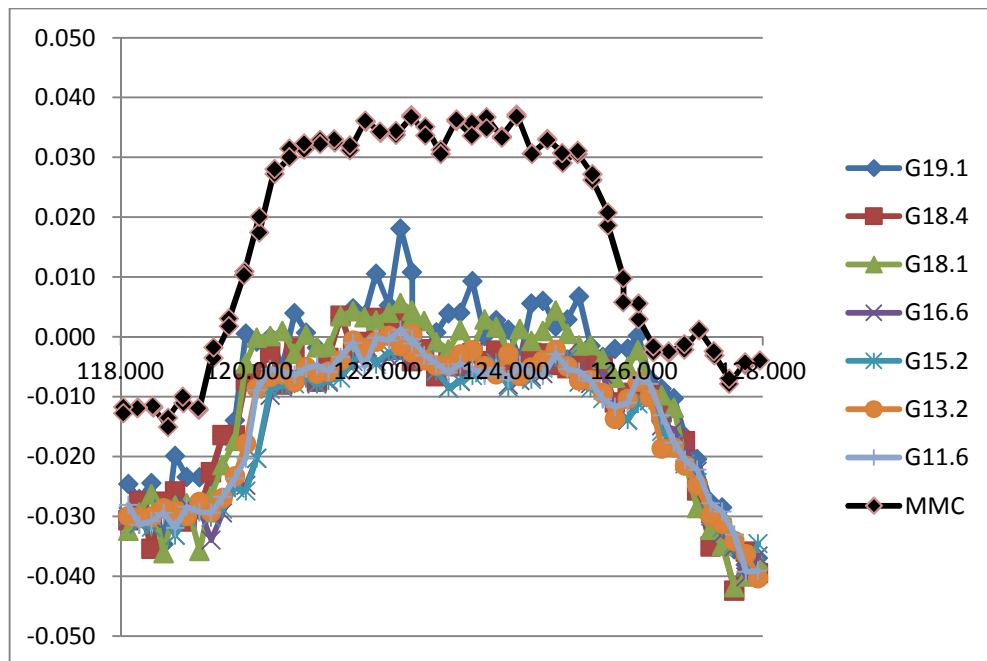


Figura 5.4.18. Perfil de la zona 3 US1137.

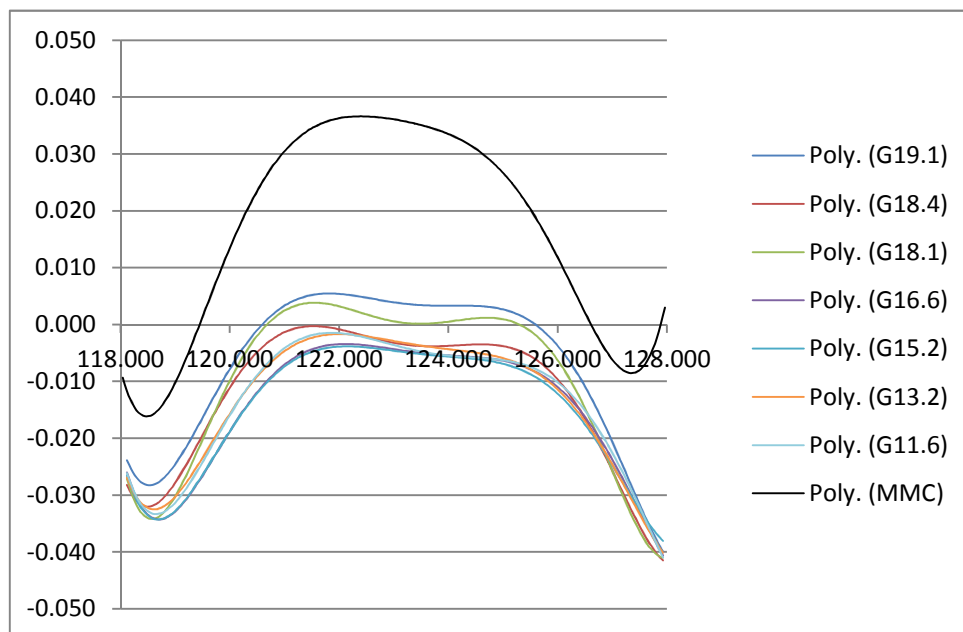


Figura 5.4.19. Línea de tendencia de la zona 3, US1137.

Con estas gráficas podemos ver cuál es el perfil de esta zona. Se observa que, aunque tienen la misma forma, la línea obtenida con la MMC se encuentra desplazada. Esto ocurre igual con el resto de las piezas.

Cabe destacar que en el sistema de medición viene implementado el quitar a los puntos 0,015 mm para eliminar ruido producido en la medición.

#### 5.4.4 Zona 4

Finalmente, puesto que el perfil obtenido es de una zona pequeña, se estudia el de otra zona más grande, en nuestro caso la zona 4 en la cual aparte de un agujero, se pretende ver también la zona del intercambiador de calor.

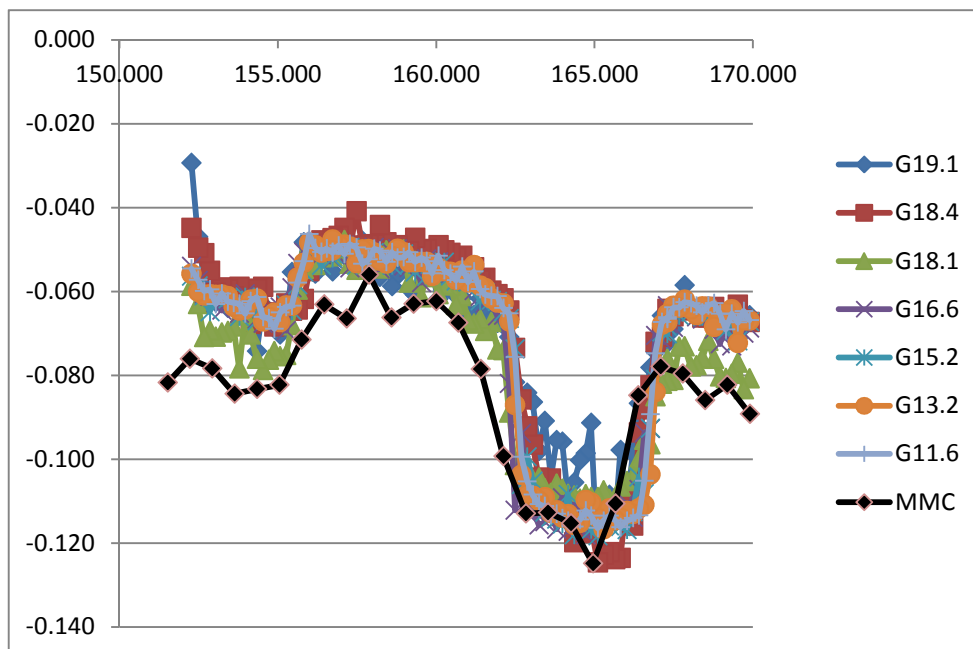


Figura 5.4.20. Perfil de la zona 4, US1137.

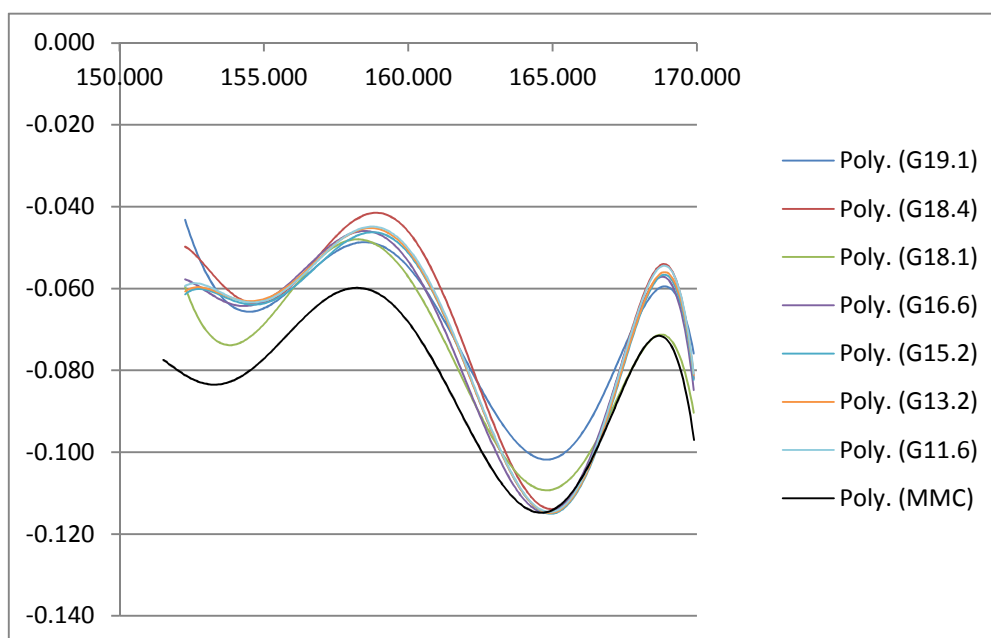


Figura 5.4.21. Línea de tendencia de la zona 4, US1137.

En este caso se aprecia que la línea obtenida con la MMC se aproxima a la obtenida con la ganancia 18,1. Esto ocurre también con la segunda pieza, pero no así con la tercera.

A la vista de todos los resultados obtenidos, en un principio podríamos considerar como ganancia idónea la de 18'1, ya que como hemos visto, en los mapeados completos de las piezas

## 5 Verificación de la ganancia idónea del sistema de medición sin contacto

es la ganancia que más se parece. Además, en las gráficas de la media de planitud en función de la ganancia, la que más se aproxima es siempre la de 18'1 siguiendo siempre el mismo patrón.

De los resultados de los perfiles de determinadas zonas, pese a que se reproduce el perfil existente, no se puede determinar cuál es la ganancia que más se aproxima. Cabe destacar que en los perfiles más largos sí que parece que se aproxima a la de 18,1.

Por todo ello y teniendo en cuenta que a ganancias bajas se producen reflejos que falsean los resultados y además se produce un mal alineamiento, la ganancia que se considera como idónea es la de 18,1.

## 6 Calibración del equipo de medición por visión 3D

Finalmente, se va a proceder a calibrar el equipo de medición sin contacto con la ayuda de la MMC. Primero debemos obtener la incertidumbre del patrón  $I_0$ , que en nuestro caso es la MMC. Posteriormente, habiendo obtenido este valor, procedemos a la calibración del sistema de medición por visión.

### 6.1 Obtención de la incertidumbre por el método habitual.

Para la obtención de la incertidumbre de la MMC utilizaremos dos métodos. En primer lugar, obtenemos 10 medidas de planitud de una región de la mesa de la MMC similar a las piezas medidas y con estas medidas sacamos la incertidumbre mediante la aplicación de las fórmulas tradicionales.

Los programas Matlab que se utilizan para tratar los resultados, se encuentran en el Anexo V.

$$I_0 = k_0 \sqrt{\left(\frac{I_{0mmc}}{k_{0mmc}}\right)^2 + \frac{Sc^2}{nc} + \frac{Sc^2}{1} + \frac{\Delta x^2}{3}}$$

$$Sc = \sqrt{\frac{(\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}}$$

Siendo:

- $I_{0mmc}$  igual a 0,  $k_0$  y  $k_{0mmc} = 2$
- $Sc^2$  varianza de las 10 mediciones del valor de planitud.
- $nc$  igual a 10 por ser 10 mediciones.
- $\Delta x$  el promedio de las 10 mediciones del valor de planitud.
- $\bar{x}$  media de las 10 mediciones del valor de planitud.
- $x_i$  el valor de planitud de cada una de las 10 mediciones y es igual a la distancia máxima menos la mínima ( $d_{max} - d_{min}$ )

Los resultados que obtenemos son los siguientes:

Medida	$x = d_{max} - d_{min}$ (mm)
1	0.00427
2	0.00463
3	0.00439
4	0.00430
5	0.00321
6	0.00369
7	0.00451

## 6 Calibración del equipo de medición por visión 3D

8	0.00443
9	0.00467
10	0.00469
Sc^2	2.25233E-07
$\Delta x$	0.00427955
lo	0.005040875
lo sin corrección	0.000995503

*Tabla 6.1. Medidas planitud y resultados incertidumbre MMC.*

En los resultados que aparecen se distingue entre  $l_0$  e  $l_0$  sin corrección. La que se obtiene de la fórmula anterior es la que sí lleva corrección. Para calibrar el equipo se utilizará la que tiene corrección. La que no lleva corrección se utilizará para comparar los resultados obtenidos con los que obtendremos a continuación con el método Monte Carlo.

### 6.2 Obtención de la incertidumbre por el método Monte Carlo.

El segundo método de obtención de la incertidumbre de la MMC será mediante la aplicación del método de Monte Carlo.

El método de Monte Carlo es un procedimiento de simulación basado en la utilización de números aleatorios, que permite realizar la propagación de distribuciones de forma sencilla y de ese modo estimar de manera aproximada la incertidumbre de la MMC.

La estructura de cálculo tiene la forma de un proceso estocástico, entendiendo como tal una secuencia de estados cuya evolución está determinada por sucesos aleatorios.

El cálculo consistirá en obtener el defecto de planitud ( $D=d_{\max}-d_{\min}$ ) de  $n$  planos simulados a partir del plano inicial teniendo en cuenta la incertidumbre típica de las cotas. A partir de los  $n$  resultados obtenidos se podrá obtener los intervalos de cobertura de los cuales sacaremos la incertidumbre de la MMC.

Para poder sacar la incertidumbre de la MMC nos basta con una de las 10 mediciones de planitud de la mesa tomadas anteriormente. Con los datos obtenidos de esta medición aplicaremos el método Monte Carlo. Los programas necesarios para ello se explican en el Anexo V.

Puesto que no conocemos la incertidumbre de palpado en Z, simularemos el proceso para valores de incertidumbre de palpado en Z comprendidos entre 1 y 5  $\mu\text{m}$ . De este modo la incertidumbre que sea igual que la obtenida con el proceso anterior nos dará cual será la incertidumbre de palpado en Z.

Los resultados que se obtienen son los siguientes

uh	0.00050	0.00100	0.00150	0.00200	0.00250
l0	0.00078	0.00101	0.00144	0.00190	0.00236
u0	0.00039	0.00051	0.00072	0.00095	0.00118

*Tabla 6.2. Resultados Monte Carlo.*



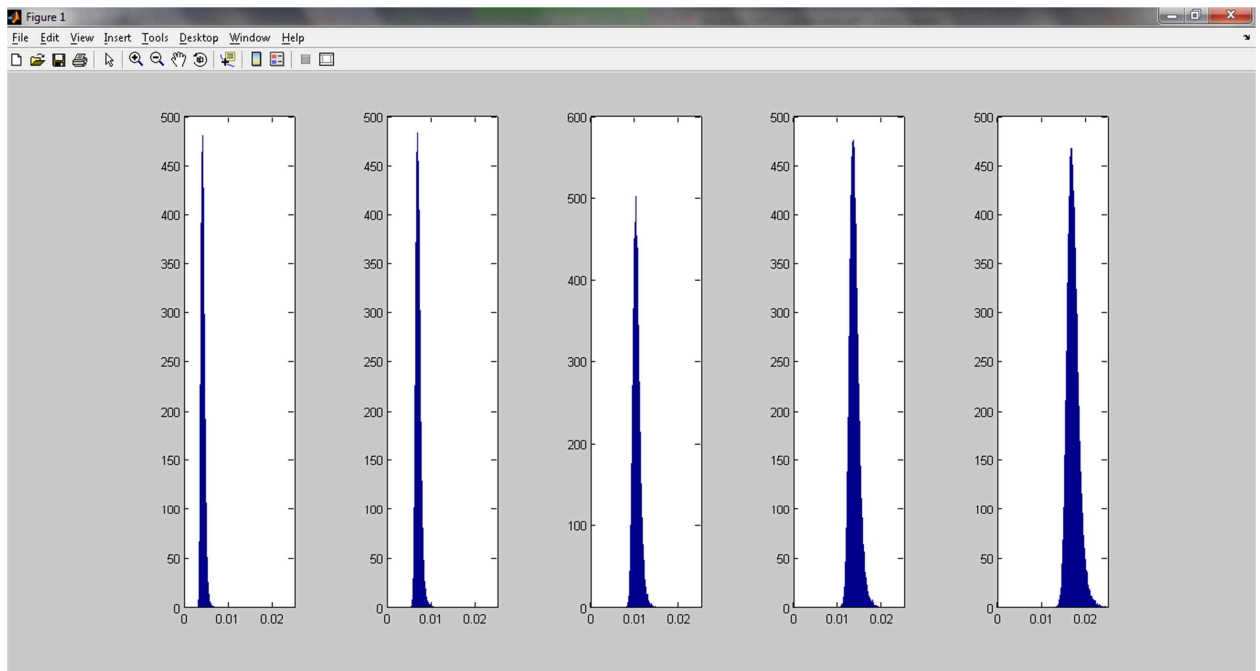


Figura 6. 1. Resultados para cada uh.

Comparando los resultados vemos que la incertidumbre que se corresponde con la obtenida con las 10 mediciones es la que tiene una incertidumbre de palpado de 2  $\mu\text{m}$ .

### 6.3 Calibración del equipo

Una vez hemos obtenido la incertidumbre de la MMC por los métodos y comparado los resultados entre ellos, pasamos a la calibración del equipo. Para ello cogeremos la incertidumbre obtenida a partir de las 10 mediciones, la que ya lleva la corrección incluida en ella ( $I_0=0.005040875 \text{ mm}$ ).

Para calibrar el equipo, obtendremos 10 medidas con la MMV de una de las piezas y de los resultados sacaremos el valor de planitud como  $x_i = d_{\text{max}} - d_{\text{min}}$ . Habiendo obtenido los 10 valores aplicamos las siguientes formulas.

$$Im = km \sqrt{\left(\frac{I_0}{k_0}\right)^2 + \frac{Sc^2}{nc} + \frac{Sc^2}{1}}$$

$$Sc = \sqrt{\frac{(\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}}$$

$$\Delta x = \bar{x} - x_0$$

Siendo:

- $I_0$  el valor de la incertidumbre de la MMC obtenido anteriormente.
- $k_0 = 2$ .
- $Sc^2$  varianza de las 10 medidas de planitud de la pieza.

## 6 Calibración del equipo de medición por visión 3D

- $n_c$  igual a 10 por las 10 medidas realizadas.
- $\bar{x}$  media de las 10 mediciones del valor de planitud de la pieza.
- $x_i$  es el valor de planitud de cada una de las 10 mediciones y es igual a la distancia máxima menos la mínima ( $d_{\max}-d_{\min}$ )
- $x_0$  el valor de planitud de la pieza obtenido con la MMC.

Los resultados que obtenemos son los siguientes:

Medida	dmax (mm)	dmin (mm)	x=dmax-dmin (mm)
1	0.291	-0.320	0.611
2	0.289	-0.318	0.607
3	0.290	-0.318	0.608
4	0.292	-0.322	0.614
5	0.285	-0.320	0.605
6	0.293	-0.319	0.612
7	0.308	-0.319	0.627
8	0.281	-0.319	0.600
9	0.283	-0.320	0.603
10	0.284	-0.319	0.603
MMC	0.234	-0.269	0.504

Tabla 6.3. Datos Máquina de visión y MMC.

x	0.609
Sc^2	5.95556E-05
$\Delta x$	-0.105
lo	0.005
lc	0.017

Tabla6. 4. Resultados de calibración.

El equipo estaría finalmente calibrado, siendo la corrección a aplicar -0.105 mm y la incertidumbre 0.017 mm.

## **7 Conclusiones y trabajo futuro**

---

### **Conclusiones**

En la primera parte, se definen los pasos a seguir en la realización de los ficheros así como los procedimientos para medir las piezas con los dos sistemas:MMV y MMC.

De la parte de medición con el sistema de visión 3D queda de manifiesto la necesidad de estandarizar un método de posicionamiento inicial de las piezas, ya que el que se usa actualmente resulta caótico.

En la parte de medición con la MMC, la selección de los parámetros de medición se ha realizado por ensayo y error hasta conseguir un mallado de puntos muy similar al de las piezas obtenidas, ya que al intentarlo se daban problemas de falta de memoria en el ordenador de la MMC y se perdían los puntos medidos. Sería necesario estudiar qué parámetros se deben introducir a la hora de creación de la malla para conseguir un mallado y una cantidad de puntos similares al de la MMV.

De la parte de verificación de la ganancia idónea a utilizar en la medición de los útiles de soldadura se concluye que la ganancia a utilizar será 18,1 ya que se observa que es la ganancia que da resultados más próximos a los obtenidos con la MMC. Además se ve que a ganancias bajas se producen reflejos y un mal alineamiento de las piezas.

En la comparación de los métodos de obtención de la incertidumbre de MMC, se concluye que la incertidumbre de palpado en Z de la MMC es de 0.002 mm.

Finalmente en la parte de calibración se ha concluido que la corrección a aplicar en el sistema de visión en la medición de piezas futuras será -0.105 mm y la incertidumbre 0.017 mm.

### **Trabajo futuro**

Como se ha comentado, sería conveniente en un futuro estandarizar un método de posicionamiento inicial de las piezas en el robot. Además, se parte de los programas de las piezas ya implementados en el robot, por lo que sería conveniente en un futuro desarrollar el procedimiento de programación del robot para cada pieza que se fuese a medir.

De la parte de medición con la MMC, se debería estudiar cómo modificar los parámetros a introducir en la creación de la malla para obtener una cantidad de puntos similares a la de la MMV.

Puesto que la calibración realizada es para los utillajes de soldadura, se debería repetir el proceso para cada pieza que se fuese a medir.

## 7 Conclusiones y trabajo futuro

## Bibliografía

---

- [1] Solid Edge ST. Tradicional y Síncrono. Autores: Gutierrez Olivar, Rafael; Esteban Viñado, Lidia; Pascual Albarracin; Esther. Editorial Ra-Ma.
- [2] Manual Matlab.  
<http://mat21.etsii.upm.es/ayudainf/aprendainf/Matlab70/matlab70primero.pdf>
- [3] Manual Calypso. Software de medición optimizado bajo sistema Windows.
- [4] KUKA Robot Group Controller. KR C2 sr Instrucciones de servicio. KUKA Roboter GmbH.
- [5] Manual KUKA Programación por el usuario. KUKA System Software (KSS). KUKA Roboter GmbH
- [6] Documentación comunicación IRENE con autómatas vía RS-232. Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación. E.I.N.A., Zaragoza.
- [7] Sistema de visión 3D Manual de Hardware. Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación. E.I.N.A., Zaragoza.
- [8] Manual de usuario IRENE, (versión 1.00). Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación. E.I.N.A., Zaragoza.
- [9] Manual de gestión e ingeniería de la calidad. Autores: Tilo Pfeifer, Fernando Torres. Editorial Mira.
- [10] Uncertainty of the Density of Moist Air: Gum x Monte Carlo. Brazilian archives of biology and technology.
- [11] Evaluation of measurement uncertainty and its numerical calculation by a Monte Carlo method, Gerd Wübbeler, Michael Krystek and Clemens Elster.
- [12] Propagation of distributions by a Monte Carlo method. Maurice Cox. National Physical Laboratory, UK.
- [13] Uncertainty evaluation using a Monte Carlo method. Walter Bich.

## Bibliografía

## Anexos

---





# Anexo I: Procedimiento de generación de plantillas, ficheros CAD y ficheros de configuración

## Plantillas y ficheros CAD

Inicialmente se va a detallar el proceso de creación de los ficheros CAD que utilizaremos para la MMC y las plantillas que se utilizarán en el sistema de medición por visión. Posteriormente, se explicarán los ficheros necesarios a introducir en el programa IRENE para la medición mediante el sistema de visión.

En primer lugar, realizaremos de manera simultánea tanto los ficheros CAD como las plantillas de los útiles de soldadura; para ello utilizaremos el programa Solid Edge.

Partimos de los planos iniciales, los cuales están guardados en formatos .dwg y .bak. Para poder abrirlos con el Solid Edge deberemos poner todos los ficheros con extensión .dwg. Una vez hecho esto, ya los podremos abrir.

Iniciamos Solid Edge y abrimos el archivo deseado. Puede ser que al abrir el documento aparezca en blanco; esto es debido a que no está ajustado a la pantalla. Para ver el plano deberemos dar al botón de ajustar y ya lo tendremos cuadrado en la pantalla. También es posible que nos encontremos que las medidas que nos proporciona el plano estén en pulgadas y deberemos modificar la configuración del Solid Edge para tenerlas en milímetros.

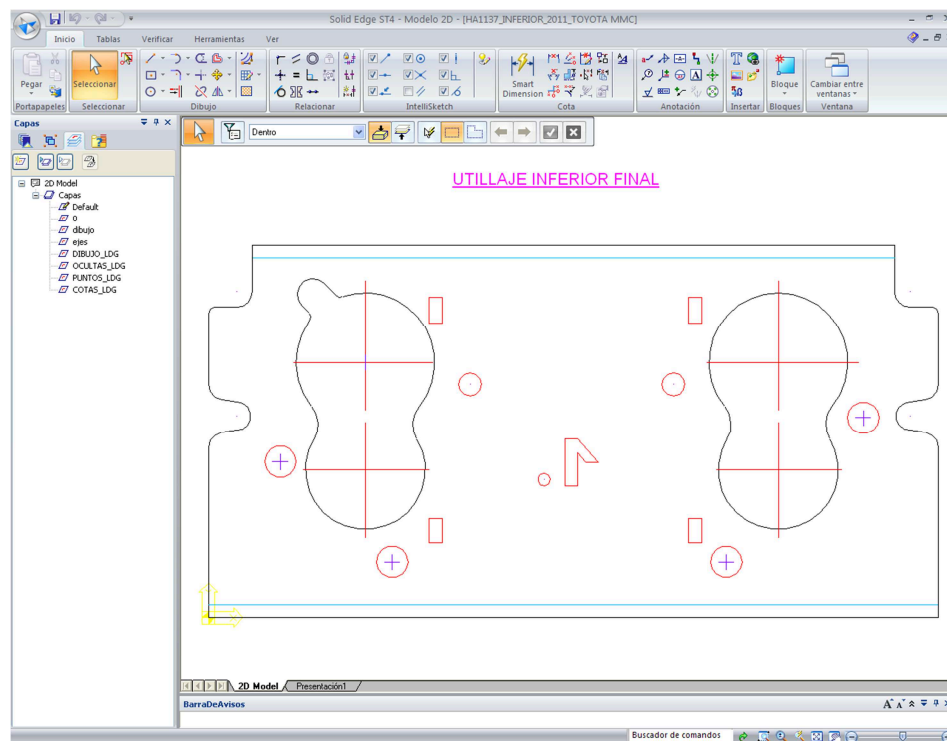


Figura 1 Anexo I. Plano de la plantilla.

En este ejemplo podemos apreciar el útil de soldadura del cual vamos a realizar tanto la plantilla como el fichero CAD. Cabe destacar que es posible que la numeración que lleva no se corresponda con la del utillaje real y además la posición de esta numeración puede que varíe

## Anexo I

respecto al utillaje real. Por lo tanto, antes de proceder a realizar la plantilla y el fichero CAD, deberemos comprobar con un pie de rey sobre la pieza real que las medidas proporcionadas por el plano son correctas, así como la posición tanto de la numeración como de los agujeros.

En el caso en el que nos encontramos, vemos que no todos los círculos son agujeros reales en la pieza, sino que se corresponden con los agujeros del intercambiador de calor, por lo tanto no los tendremos en cuenta a la hora de realizar las plantillas y ficheros CAD.

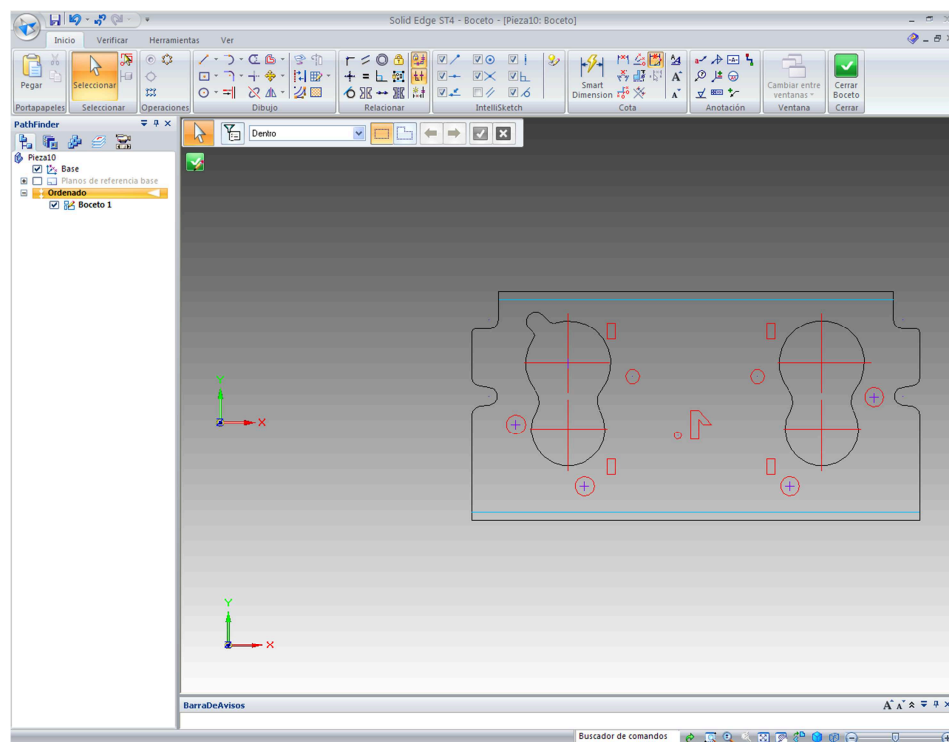
El siguiente paso será abrir un nuevo documento metric.par para crear tanto la pieza CAD como la plantilla.

Antes de nada, cambiamos el modo de trabajo de síncrono a ordenado.

Una vez abramos el nuevo documento, el primer paso será crear un nuevo boceto en el cual pegaremos el plano de la plantilla.

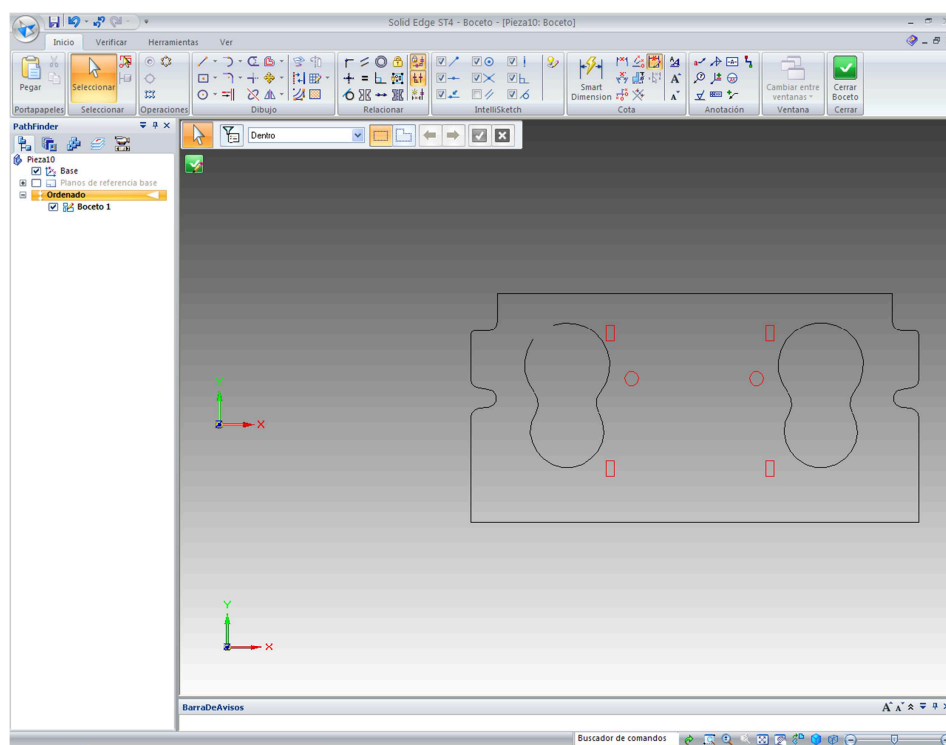
Por lo tanto, antes seleccionaremos y copiaremos la plantilla del archivo abierto inicialmente.

Una vez hecho esto, abrimos el documento .par y en él creamos un boceto en plano coincidente sobre el plano XY y pegamos lo copiado anteriormente.



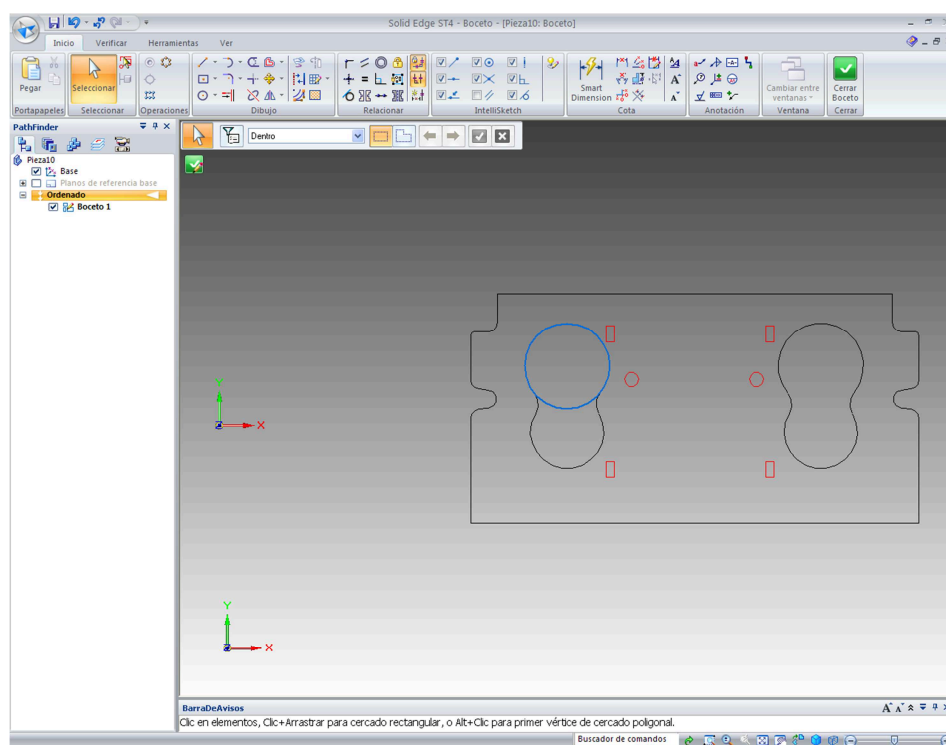
*Figura 2 Anexo I. Boceto inicial.*

El siguiente paso es eliminar todo lo que nos sobra y poner todo el dibujo con el mismo color.



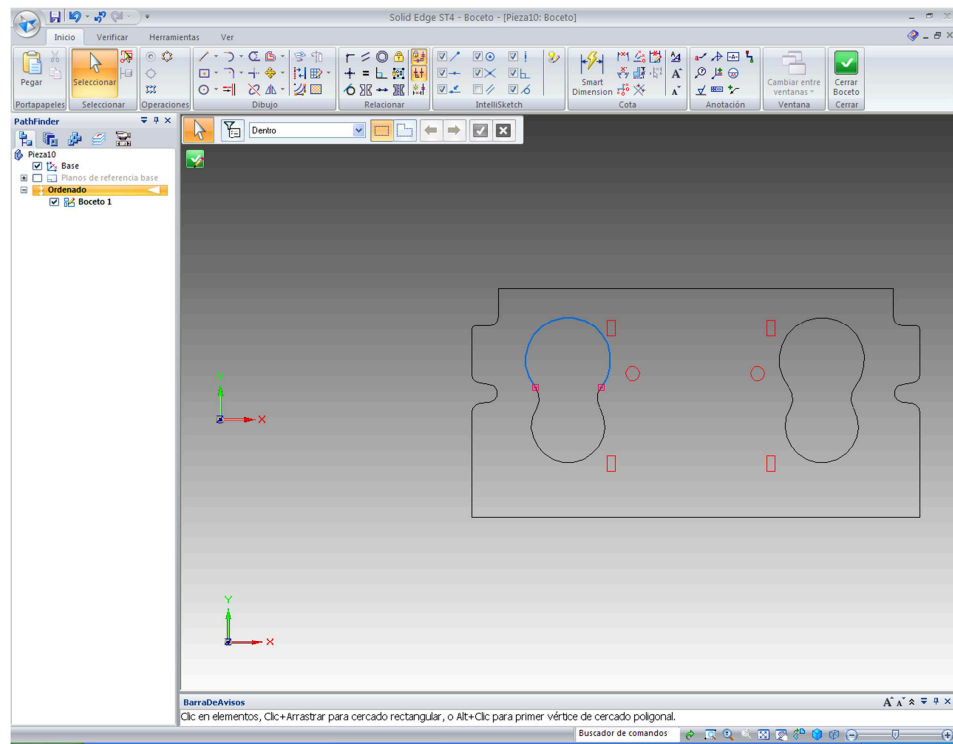
*Figura 3 Anexo I. Eliminación de las partes que sobran.*

En la imagen anterior podemos ver la pieza sin los elementos que le hemos quitado. Es posible que los agujeros y curvas vengan con el centro dibujado, que también deberemos borrar. En el círculo superior de la izquierda también le hemos quitado la parte superior que no aparece en la pieza real. Lo siguiente que deberemos hacer es completar el agujero que se nos queda incompleto y recortar la parte que nos sobra. Primero borramos el agujero inicial y creamos un nuevo círculo.



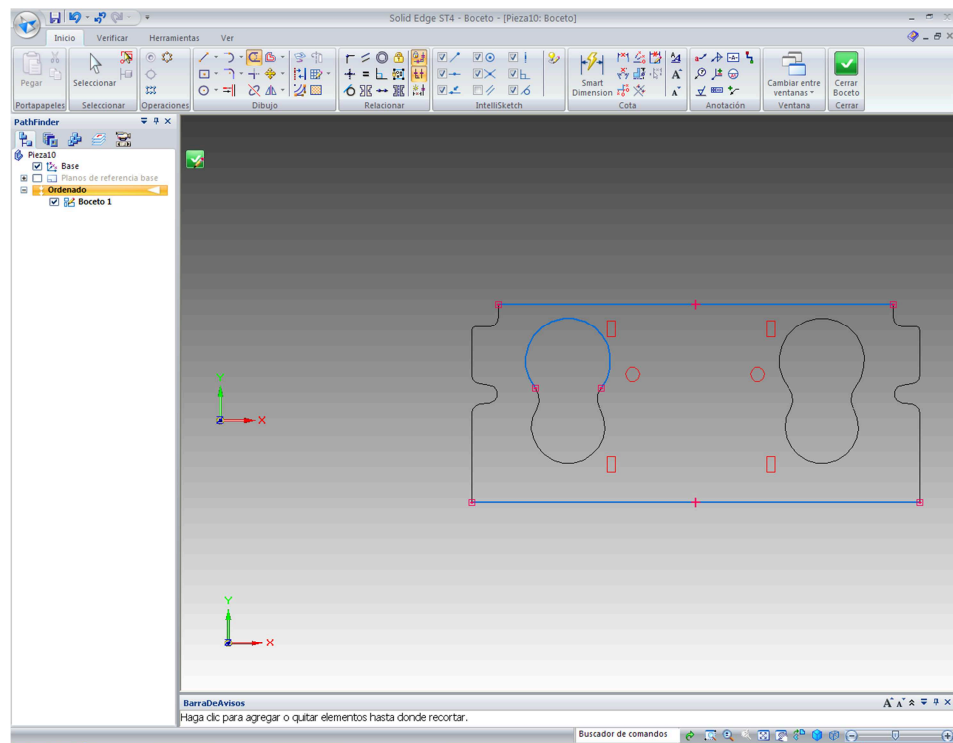
*Figura 4 Anexo I. Reconstrucción de las partes que faltan.*

Posteriormente recortamos la parte que nos sobra.



*Figura 5 Anexo I. Reconstrucción del agujero.*

Al plano que tenemos actualmente, le tendremos que quitar, de las partes superior e inferior, la parte correspondiente al radio de donde se curva la pieza ya que dicha parte queda fuera del análisis. En este caso, el radio de curvatura es de 8 mm, por lo tanto le recortaremos 8 mm tanto en la parte superior como en la inferior.

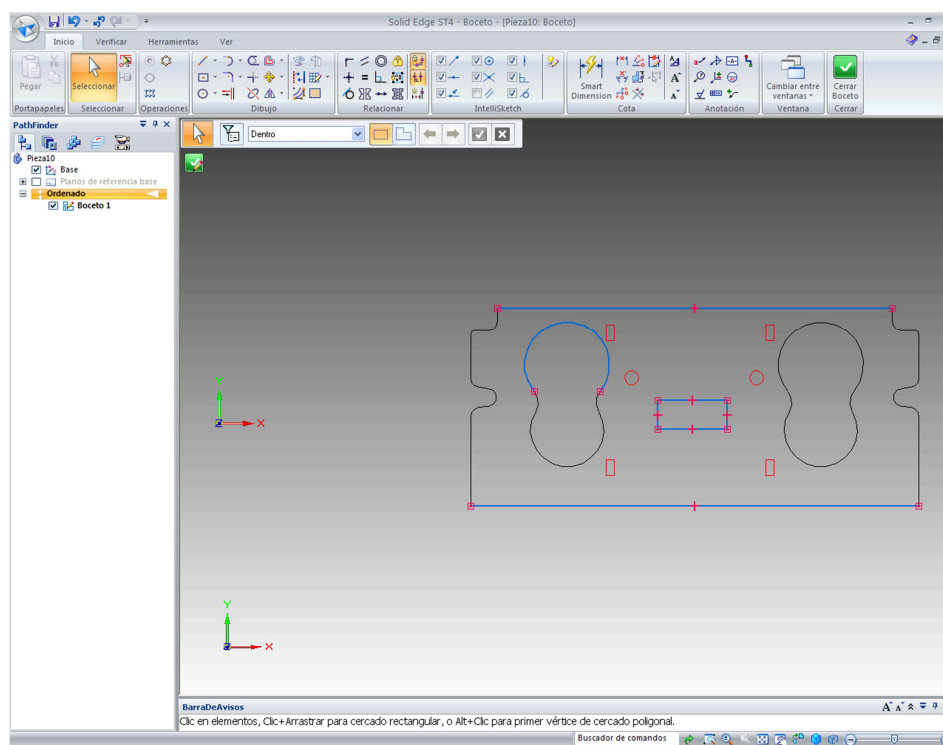


*Figura 6 Anexo I. Pieza sin los redondeos.*

El siguiente paso es crear un rectángulo que abarque la numeración del útil de soldadura. Como ya se ha comentado antes, las medidas y posiciones de los números proporcionadas por el plano puede que no se correspondan con las de la pieza real. Por lo tanto mediremos con un

calibre sobre la pieza real tanto la anchura y altura de los números como la posición de estos sobre el útil.

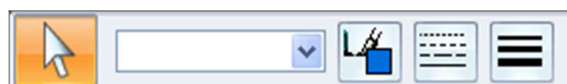
Una vez medidos, dibujaremos el rectángulo sobre el plano.



*Figura 7 Anexo I. Creación del rectángulo de la numeración.*

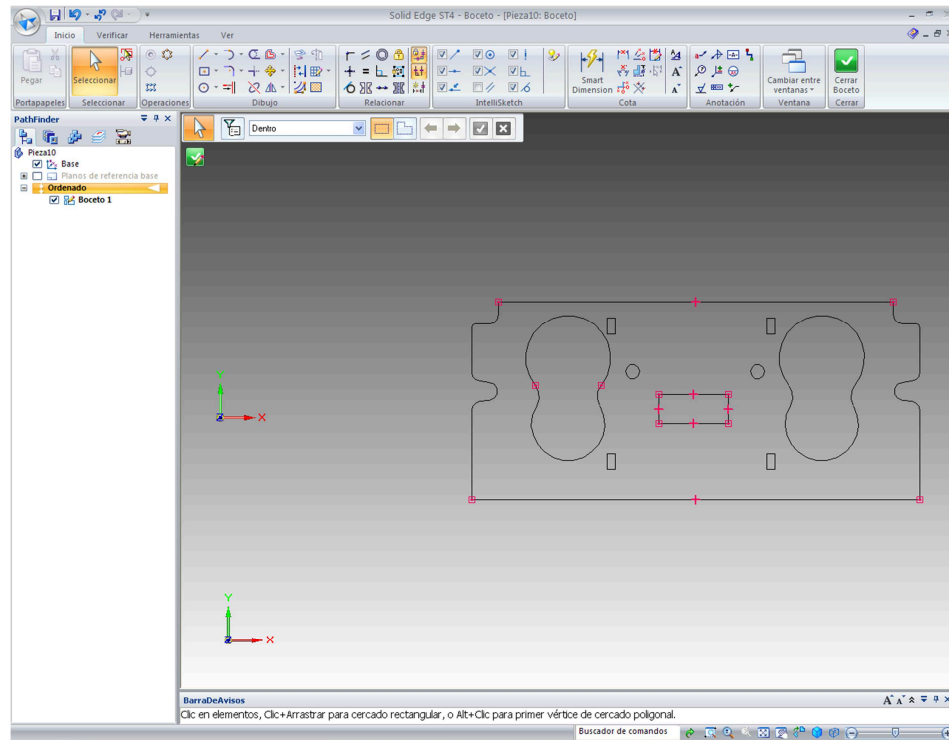
Ya tenemos dibujada la pieza con las medidas correctas. Lo que deberemos hacer después, es poner todo del mismo color y poner las líneas del grosor más pequeño posible.

Seleccionamos todo y desde el cuadro que nos aparece ya podremos cambiar tanto el color como el grosor de las líneas.



*Figura 8 Anexo I. Cuadro de comandos de las líneas.*

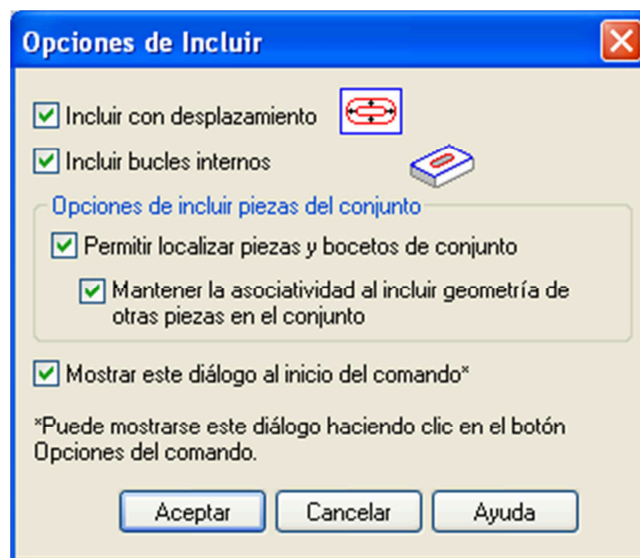
Ponemos todo a color negro y con un grosor de 0,13 mm (el más pequeño posible).



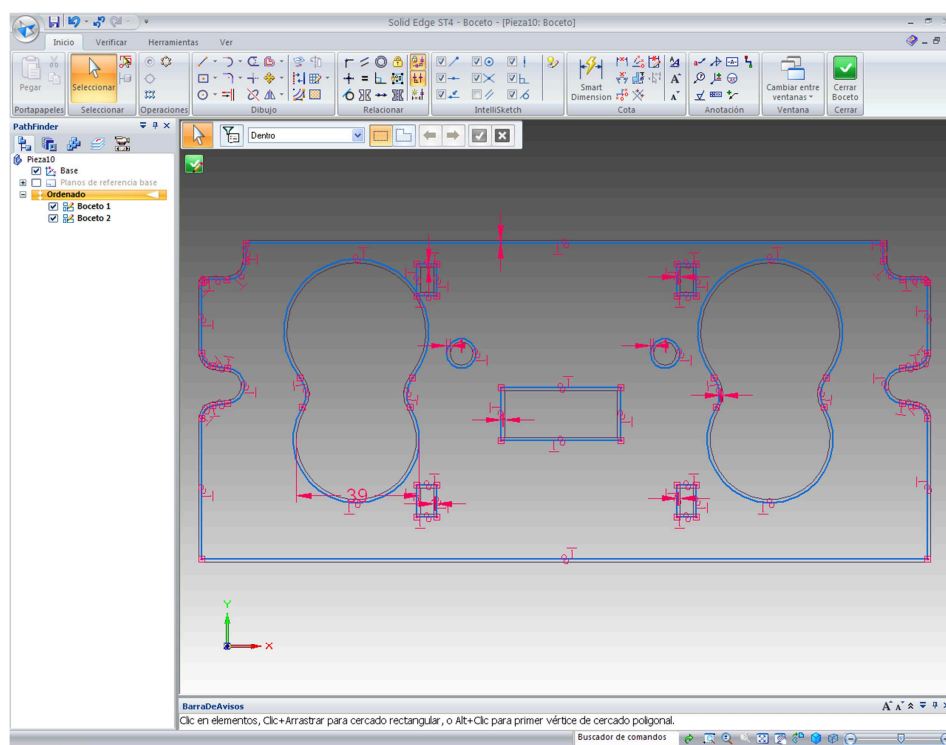
*Figura 9 Anexo I. Pieza en negro con líneas de grosor mínimo.*

Ahora ya tenemos la superficie del plano que vamos a medir.

El siguiente paso será el crear un margen de seguridad de 1 mm en toda la pieza ya que es un parámetro fijado con el usuario. Para ello utilizaremos el comando “incluir”, el cual lo haremos con desplazamiento y será de 1 mm. Para poder hacer esta operación, la haremos creándonos un nuevo boceto también sobre el plano XY.



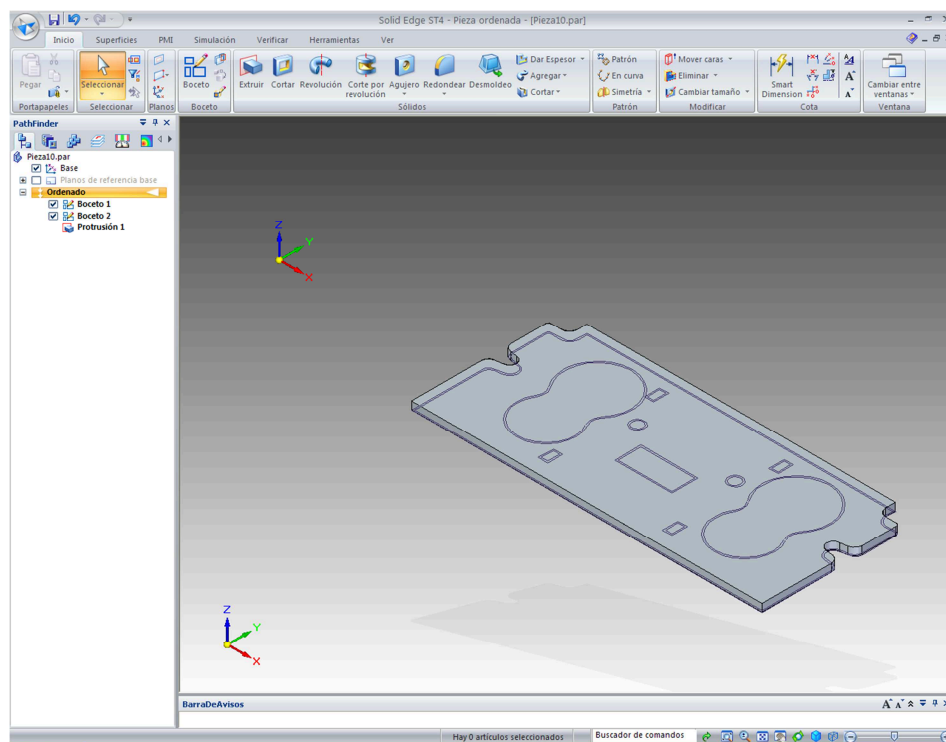
*Figura 10 Anexo I. Menú del comando incluir.*



*Figura 11 Anexo I. Pieza con espesor de seguridad.*

Como hemos hecho anteriormente, deberemos cambiar el grosor de las nuevas líneas creadas, que también serán de 0,13 mm.

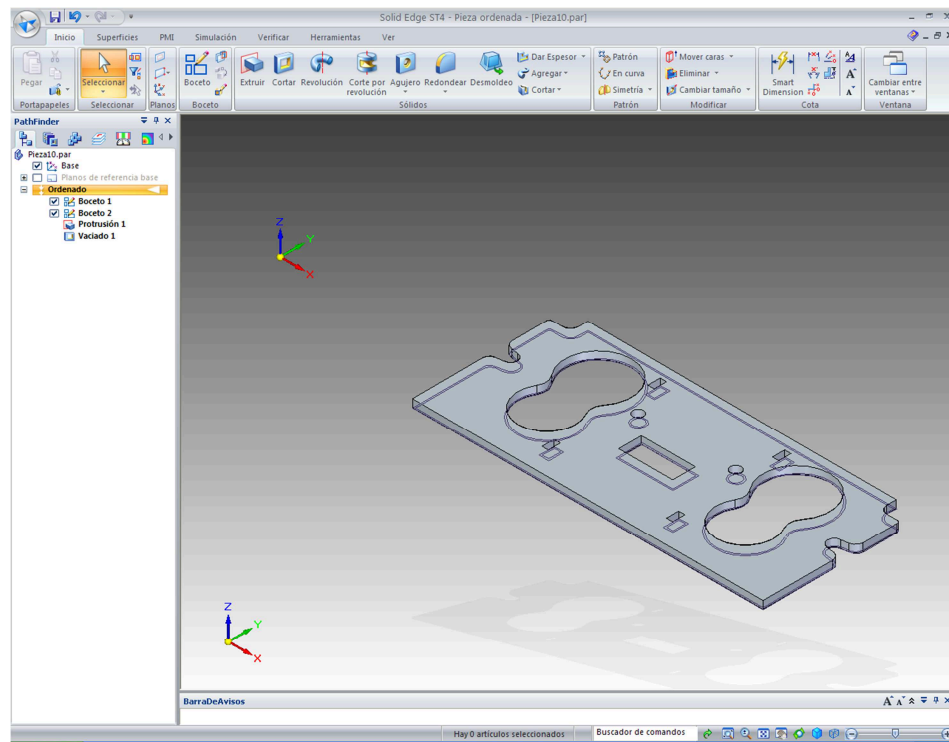
Lo siguiente que tenemos que hacer es extruir el contorno exterior de la pieza, y le daremos un grosor simbólico de 5 mm en el eje Z.



*Figura 12 Anexo I. Pieza extruida.*

Y ahora vaciamos de la pieza los agujeros correspondientes.

## Anexo I



*Figura 13 Anexo I. Pieza CAD final.*

Ahora ya tenemos el modelo CAD de la pieza que queremos medir.

Para poder medir posteriormente la planitud de la pieza en la MMC, lo guardaremos en formato .sat y en opciones pondremos la versión 10.

Una vez tenemos ya el modelo CAD, lo siguiente que tendremos que hacer es realizar la plantilla que utilizaremos en la MMV.

Antes de nada, debemos orientar la pieza correctamente. Esto lo haremos con el comando “rotar” situado en el menú “ver”.

Una vez la tengamos bien orientada ajustaremos lo máximo posible la pieza a la pantalla y suprimiremos las operaciones de extrusión y vaciado.



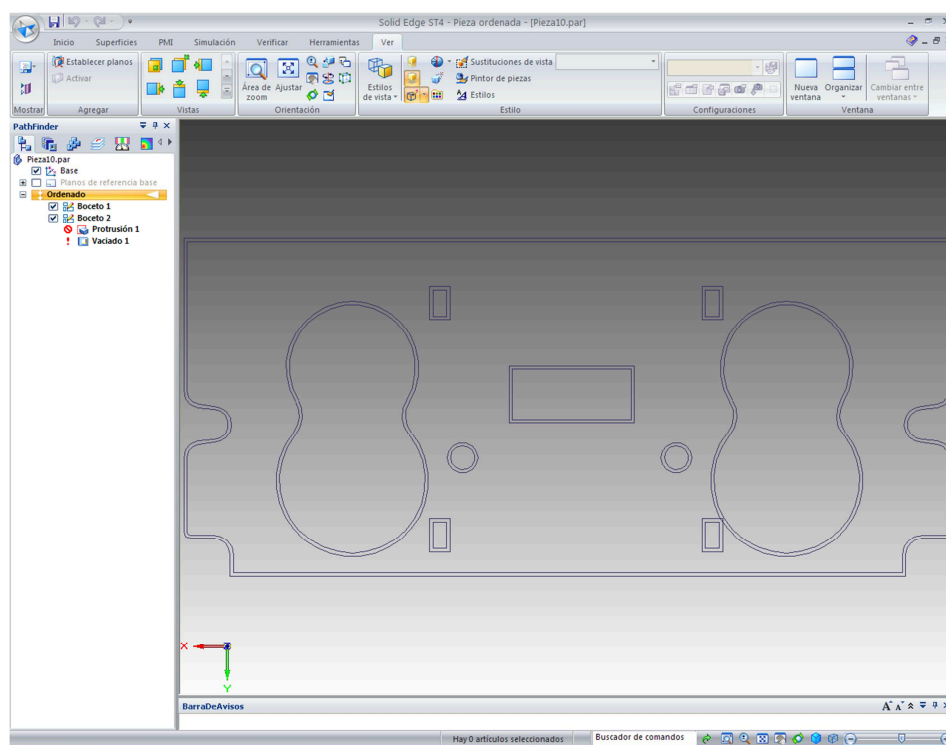


Figura 14 Anexo I. Encuadre de la plantilla.

Ya la tenemos perfectamente cuadrada, y lo que tenemos que hacer después es poner el fondo blanco, cambiar la nitidez a la más fina posible y poner el color de las líneas todas a negro.

El fondo lo cambiamos desde sustituciones de vista en el menú ver

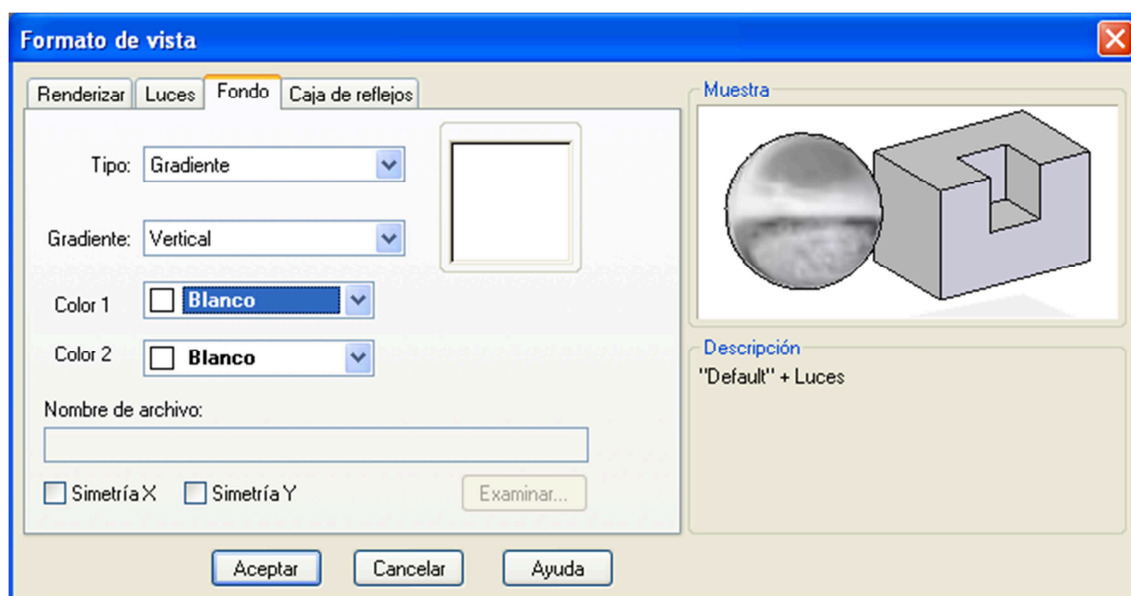


Figura 15 Anexo I. Menú del formato de vista.

Para cambiar la nitidez lo haremos desde el comando situado a la izquierda del anterior, y pondremos la nitidez nº 5 que es la más detallada.

El color lo cambiamos desde el administrador de colores también situado en el menú "ver". Ponemos todos los colores a negro.

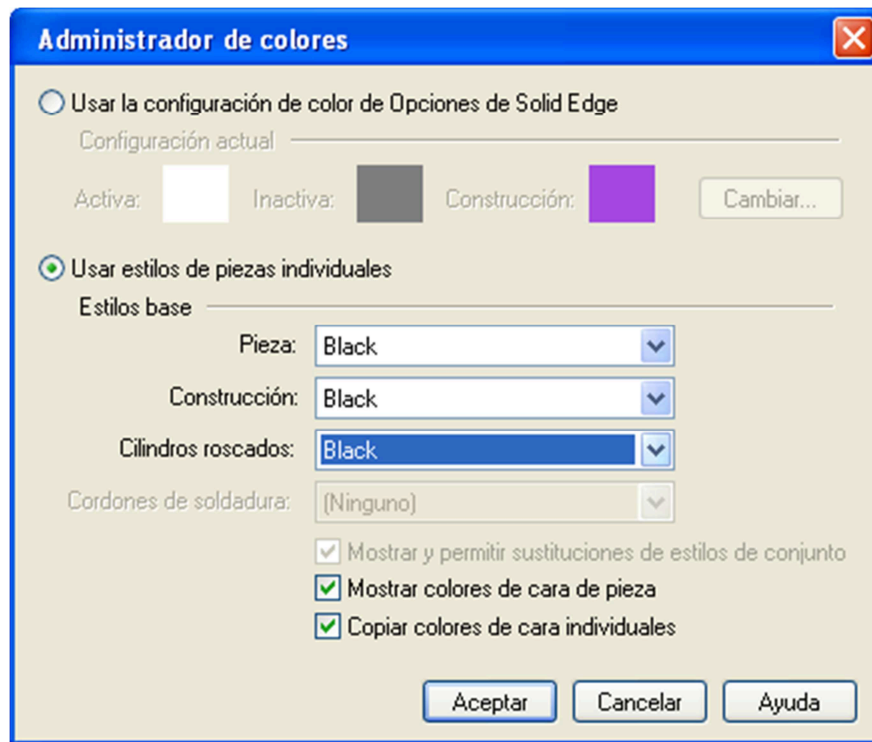


Figura 16 Anexo I. Menú del administrador de colores.

Por último, para poder medir posteriormente la longitud entre agujeros, dibujaremos en el segundo boceto círculos lo suficientemente pequeños para que posteriormente, al guardar la pieza, el centro de los agujeros quede registrado como 1 pixel.

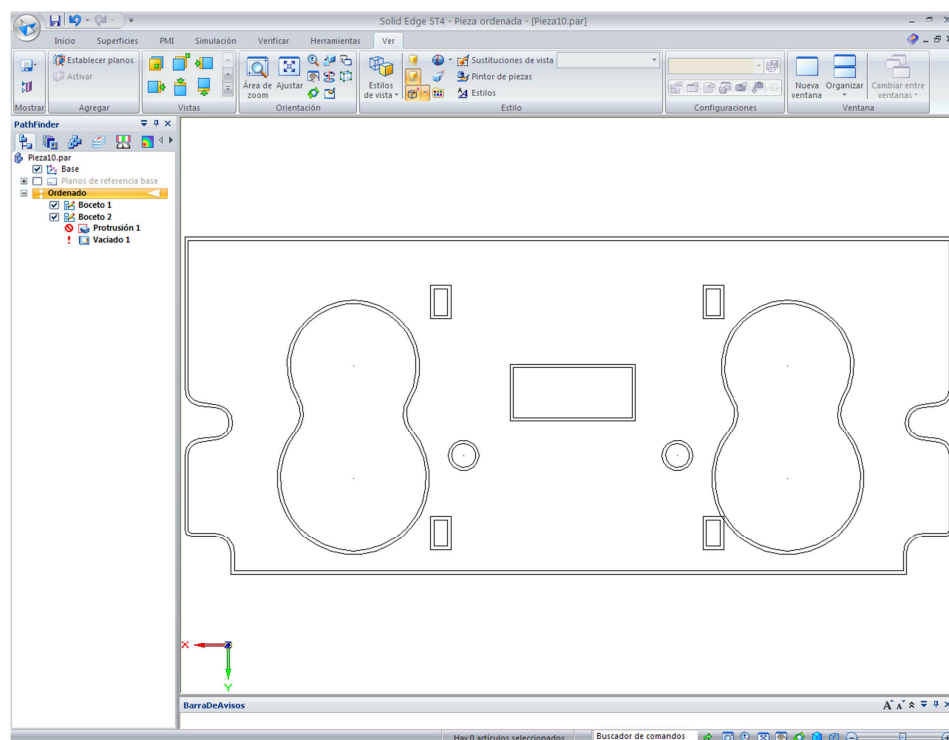


Figura 17 Anexo I. Pieza final para plantilla.

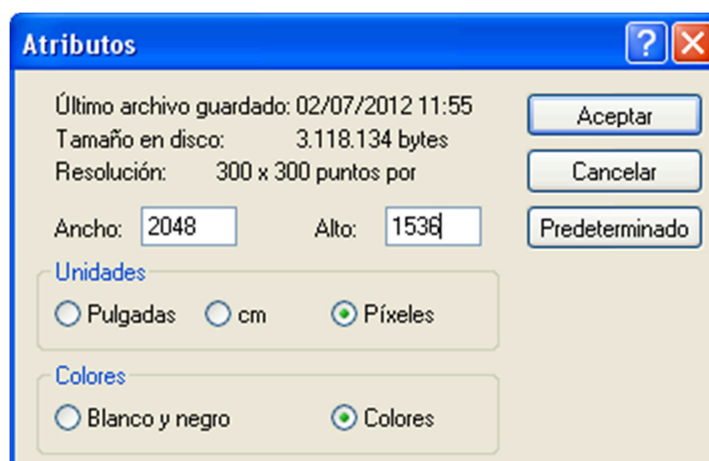
Ya tenemos la pieza terminada. El siguiente paso será dibujarla con el paint. Para ello debemos guardar la pieza como imagen .bmp y le pondremos los siguientes atributos.



*Figura 18 Anexo I. Opciones de imagen al guardar la plantilla.*

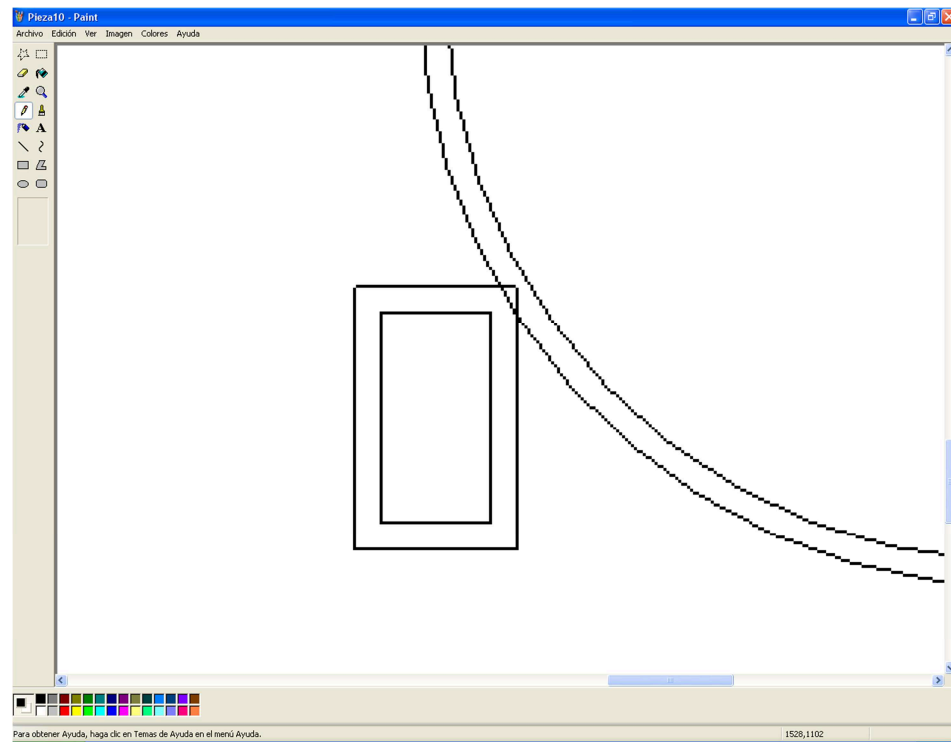
La imagen debe de ser 2048x1536, pero la guardaremos con 2048x1522 para no distorsionar la pieza.

Abrimos en el paint la pieza que hemos guardado y lo primero que haremos será modificar en imagen/atributos la altura del dibujo.

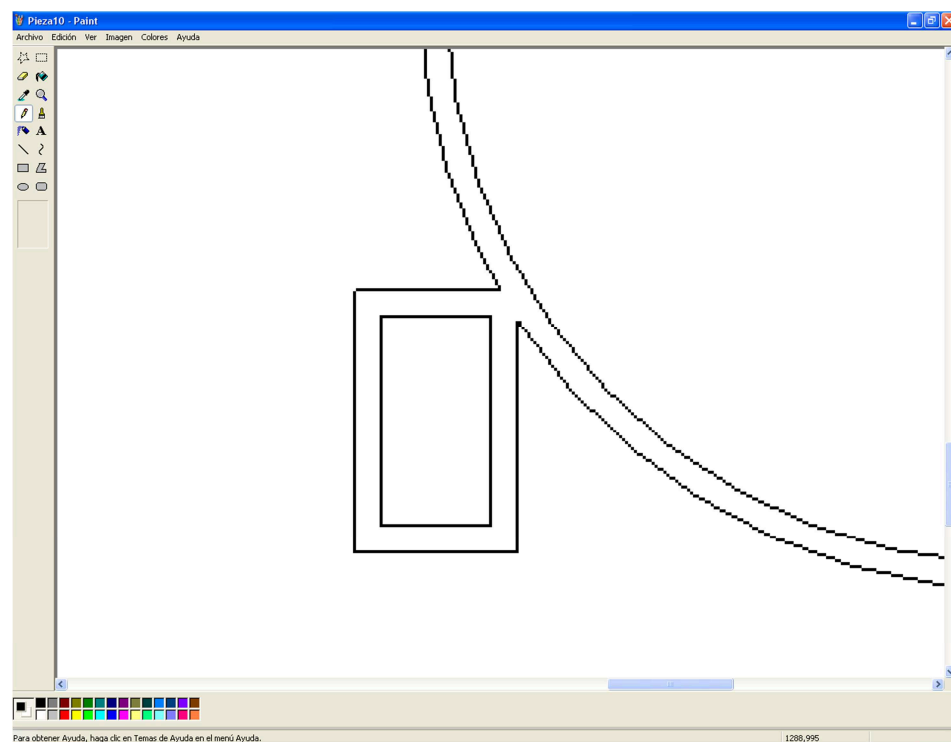


*Figura 19 Anexo I. Menú de atributos para la imagen con el programa Paint.*

Una vez tenemos la pieza con el tamaño correcto, pasamos a dibujar la pieza. En nuestro caso, vemos que hay una zona donde se cortan varias líneas, por lo tanto, utilizando la goma de borrar, arreglaremos la pieza.



*Figura 20 Anexo I. Muestra de líneas que se cortan.*

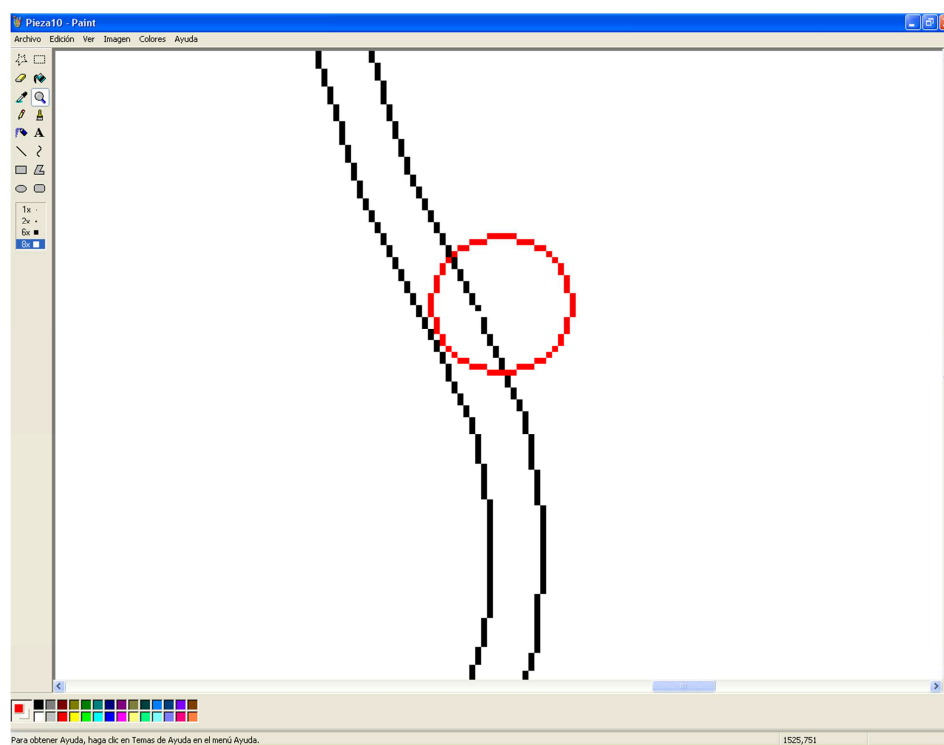


*Figura 21 Anexo I. Solución a las líneas que se cortan.*

Los centros de los círculos deben de ir en blanco, pero mientras tanto los pintamos de un color auxiliar.

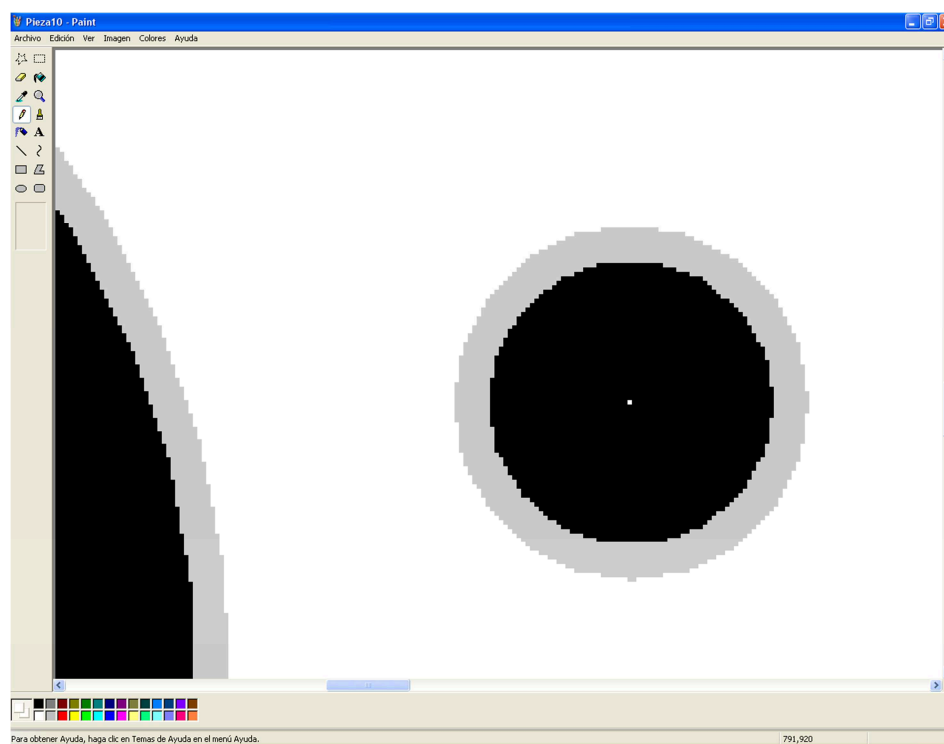
Rellenamos ya la plantilla, y utilizaremos el negro tanto para el exterior como para el interior de los agujeros, blanco para la zona de la pieza de la cual se va a medir la planitud y el gris (el más claro que aparece en la zona de colores) en la zona de 1mm que hemos dejado en todo el contorno de la pieza.

Es posible que en algunas zonas, las líneas no se cierren completamente. Por ello repasaremos antes de nada que todas estas líneas se cierran con la herramienta lápiz.

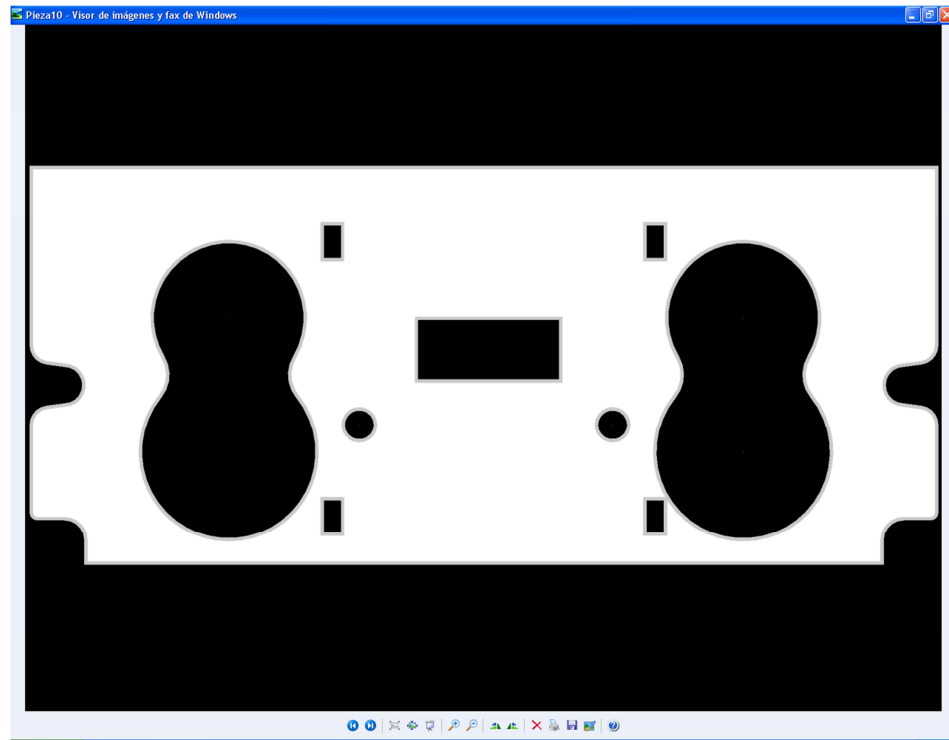


*Figura 22 Anexo I. Muestra de línea que no se cierra.*

Una vez rellenadas de color todas las zonas, volvemos a pintar el centro de los círculos de blanco y ya tendremos finalizada nuestra plantilla.



*Figura 23 Anexo I. Muestra del centro de uno de los agujeros.*



*Figura 24 Anexo I. Plantilla finalizada.*

Una vez tenemos terminada nuestra plantilla, debemos abrirla con el programa XnView y convertir la imagen a escala de grises de 256 tonalidades. A modo de comprobación miramos que el blanco se corresponde con 255, el gris con 204 y el negro con 0.

Para guardar la imagen utilizaremos la siguiente notación: US.....-S1-Plantilla.bmp

## **Ficheros de configuración**

A continuación vamos a detallar cuales son los ficheros de configuración que deberemos tener para cada plantilla.

- Calibrado.bin

Estos archivos son los resultantes de la calibración correspondiente al equipo y no se deben modificar.

- Plantilla.bmp

Es la plantilla que hemos explicado anteriormente, específica de cada pieza.

- Plantilla.txt

El fichero consta únicamente de dos líneas, en las cuales se especifica lo siguiente.

- Línea 1: En ella se especifica el número de píxeles que corresponden por mm tanto en la dirección X como en la Y.
- Línea 2: Indica las coordenadas del origen en píxeles.

El archivo se deberá llamar de la siguiente manera: US.....-S1-Plantilla.txt

- Planitud.txt

El nombre del fichero tiene la estructura US.....-S1-Planitud.txt

El fichero está configurado en líneas, en las cuales se recoge distintos parámetros.

- Línea 1: Recoge 3 parámetros:
    1. Nombre del modelo.
    2. Número mínimo de puntos que debe capturar el equipo procesar el cálculo de la planitud.
    3. Modo de trabajo.
  - Línea 2: Recoge 7 tres parámetros:
    1. Ganancia con la que se configura la operación de la cámara en el equipo y que se mostrará en la interfaz.
    2. Densidad de columna que se aplica en el cálculo del 2D.
    3. Número de imágenes a capturar.
    4. R.O.I. (Región de interés).
    5. Velocidad a la que se realiza el barrido.
    6. Posición inicial del carro de las cámaras.
    7. Posición final del carro de las cámaras.
  - Línea 3: Indica cuantas planitudes se van a calcular.
  - Línea 4 y sucesivas: Por cada línea se ajustará un plano y se calculará una planitud. Los diversos parámetros que tenemos indican lo siguiente:
    1. Orden (la última línea de éstas debe tener este parámetro igual al de la línea 3).
    2. Distancia perpendicular máxima fijada por un lado del plano (se toma positiva), a partir de la cual un punto medido se considerará como fuera de tolerancia.
    3. Distancia perpendicular máxima fijada por el otro lado del plano (se toma negativa), a partir de la cual un punto medido se considerará como fuera de tolerancia.
    - 4-12. Corresponde con el color en RGB de los puntos que se encuentran dentro de tolerancia o fuera de ella, tanto en un lado del plano como por el otro.
    13. Porcentaje de rechazo seleccionado expresado en tanto por uno.
  - Agujeros.txt: Debe existir un fichero de este tipo para cada superficie que contenga agujeros. El nombre para este tipo de archivos tiene la estructura US....-S1-Agujeros.txt
- El fichero está organizado por líneas. Cada una de las cuales recoge diferentes parámetros.
- Línea 1: Recoge el número de agujeros que existen en la superficie. A continuación tendremos tantas líneas como agujeros existen.
  - Línea 2 y sucesivas: Los parámetros de los que consta son los siguientes:
    1. Coordenada X.
    2. Coordenada Y.

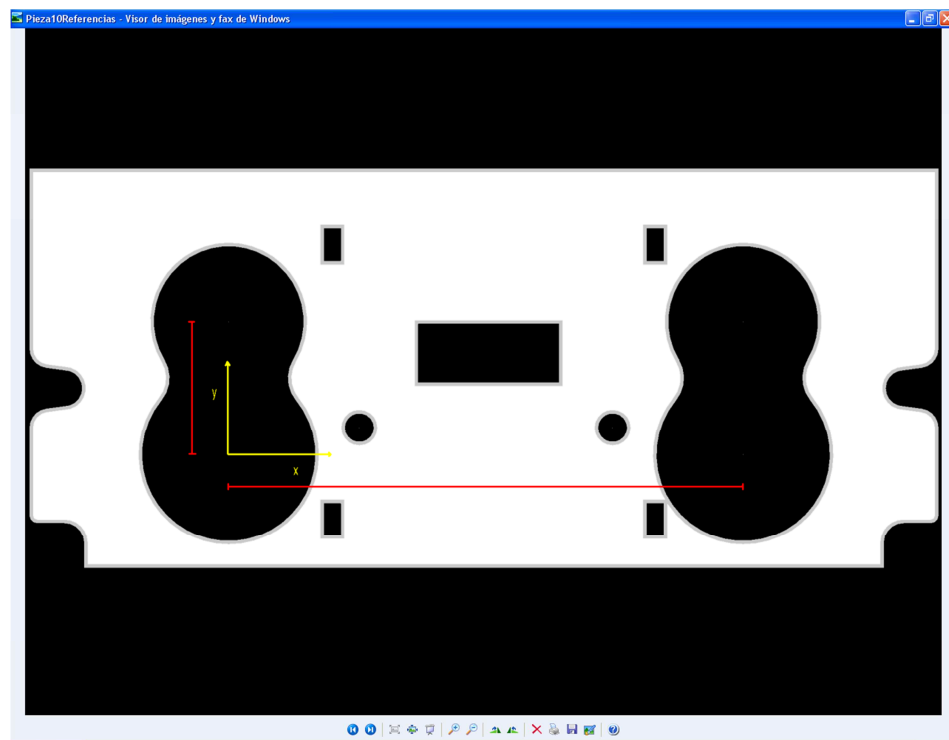
3. Diámetro del agujero.
4. Valor de la tolerancia asociado a la coordenada X en positivo.
5. Valor de la tolerancia asociado a la coordenada X en negativo.
6. Valor de la tolerancia asociado a la coordenada Y en positivo.
7. Valor de la tolerancia asociado a la coordenada Y en negativo.
8. Valor de la tolerancia asociado al diámetro en positivo.
9. Valor de la tolerancia asociado al diámetro en negativo.
10. Parámetro de ordenación. Hace referencia al orden en que aparecerá el agujero durante el barrido. Hay que tener en cuenta que si la pieza no es simétrica, este orden da igual.

Vamos a realizar los ficheros de configuración para el caso que estamos realizando.

El primer fichero es el de plantilla.

Abrimos el XnView para poder obtener los píxeles correspondientes al origen de la pieza y también el número de píxeles/mm que se corresponden tanto en el eje X como en el eje Y.

Antes de nada, debemos fijar cuál será el origen de la pieza y las distancias que mediremos. En nuestro caso cogemos las siguientes.



*Figura 25 Anexo I. Elección de origen, ejes y distancias de referencia.*

Con el XnView medimos el origen de la pieza y vemos que es X:454 píxeles e Y:954 píxeles. Ahora, para calcular las distancias obtenemos los valores de los centros de los otros círculos y calculamos la diferencia. Para el caso horizontal tenemos  $1604 - 454 = 1150$  píxeles y para el vertical  $954 - 655 = 299$  píxeles. Para poder saber cuántos píxeles se corresponden a cada mm, debemos medir en el plano del Solid Edge cuánto miden las dos distancias que hemos tomado



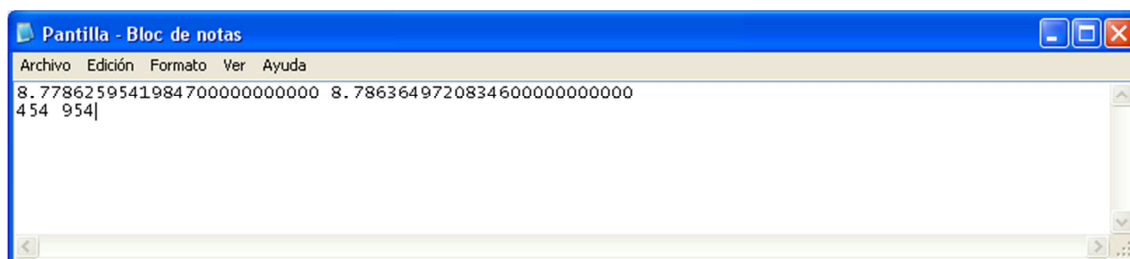
como referencia. En nuestro caso tenemos 131 mm para la distancia horizontal y 34.03 mm para la vertical.

Una vez tenemos estos datos, rellenamos la siguiente tabla en el Excel.

Versión	1	2012
	x	y
Origen	<b>454</b>	<b>954</b>
mm	131	34,03
Pixeles	1150	299
	<b>8,77862595419847000000000000</b>	<b>8,78636497208346000000000000</b>
Valor a copiar	8,7786259541985	8,7863649720835
Diferencia	0,00000000000000000000000000	0,00000000000000000000000000

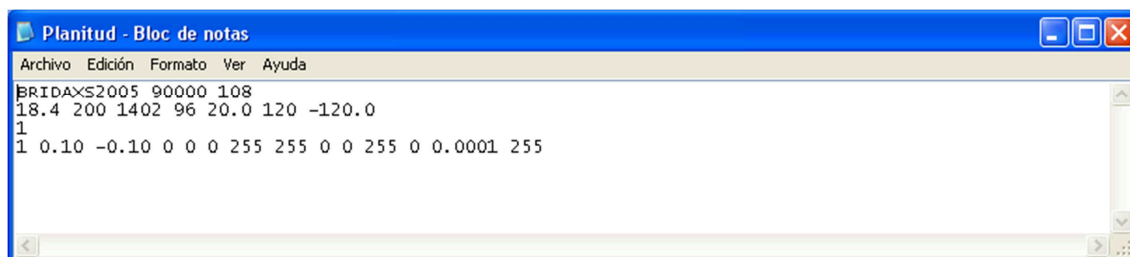
*Tabla 1 Anexo I. Valores a introducir en el fichero plantilla.*

Los valores que introduciremos en el fichero de texto plantilla serán los que están marcados en negrita. Hay que tener cuidado al copiarlos en el fichero texto, pues no debemos tener separados los datos con tabulador, sino con espacio, ya que si no el programa de medir por visión nos dará error. Además sustituiremos la coma por punto.



*Figura 26 Anexo I. Fichero plantilla del ejemplo.*

El siguiente fichero será el de planitud. En nuestro caso utilizaremos para todos los archivos el mismo fichero de planitud poniéndole a cada uno el nombre correspondiente.



*Figura 27 Anexo I. Fichero planitud del ejemplo.*

Finalmente el último fichero será el de agujeros, el cual sirve para centrar la pieza.

## Anexo I

**Agujeros - Bloc de notas**

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda								
0.000	0.000	44.000	0	-0	0	-0	0	-0	3	0	0	0
0.000	34.03	38.000	0	-0	0	-0	0.5	-0	4	0	0	0
131.00	0.000	44.000	0	-0	0	-0	0.5	-0	1	0	0	0
131.00	34.03	38.000	0	-0	0	-0	0.5	-0	2	0	0	0

*Figura 28 Anexo I. Fichero agujeros del ejemplo.*

No hace falta que pongamos todos los agujeros de la pieza. Con cuatro agujeros puede resultar suficiente para tener centrada la pieza.

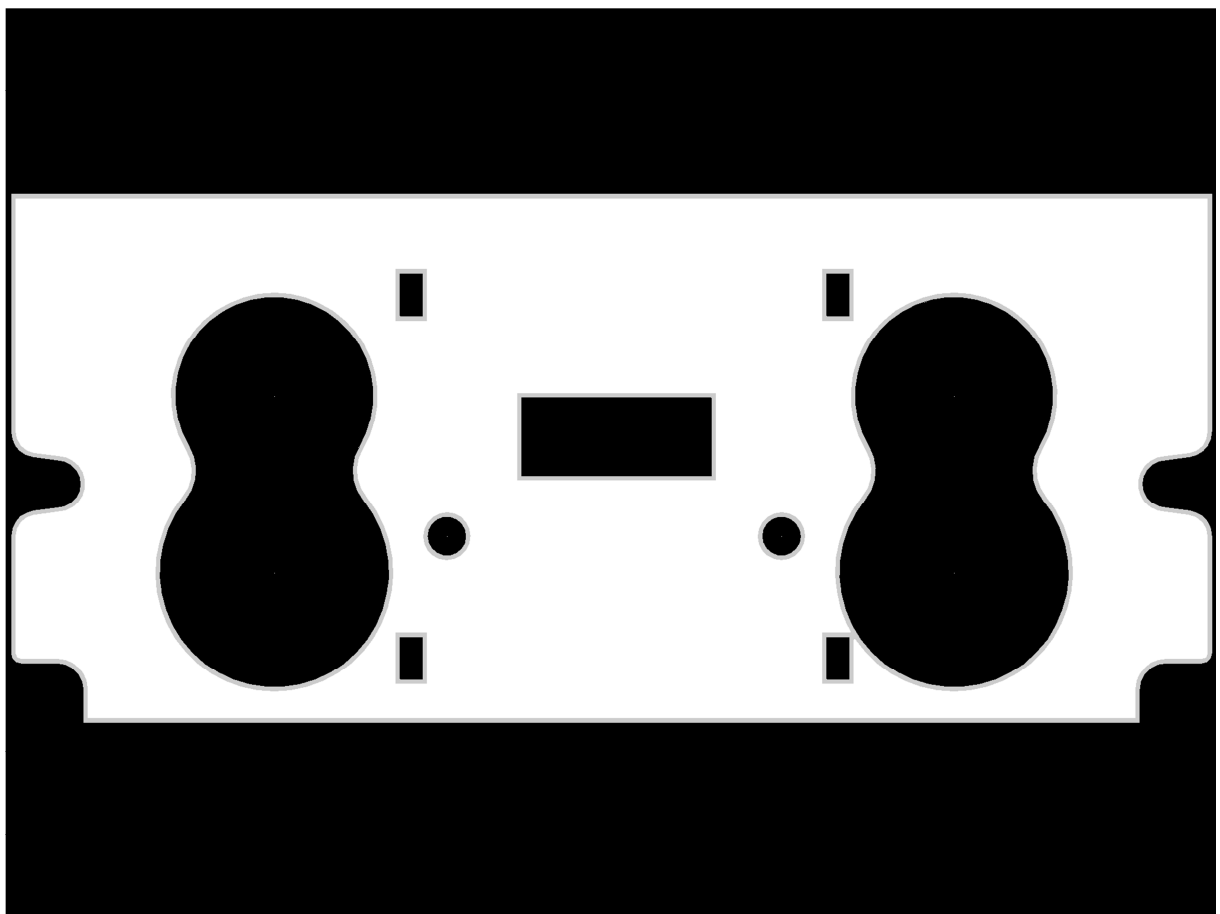
## Anexo II: Plantillas y ficheros de los útiles de soldadura

En el presente anexo se va a adjuntar las plantillas y ficheros de configuración de cada una de las piezas realizadas, tanto las que son sometidas a estudio para la realización del proyecto, como las piezas realizadas adicionalmente.

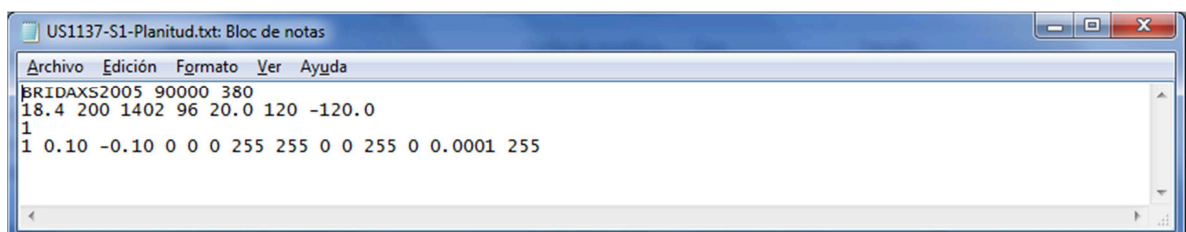
En primer lugar se muestran las piezas sometidas estudio, las cuales son US1137, US2003 y US2010. Posteriormente se incluyen las de las piezas US2023, US2007 y US2009 .

Además, aparte de los útiles de soldadura, se han medido distintas piezas cuyas plantillas y ficheros de configuración ya estaban implementadas dentro del programa.

### US1137



*Figura 1 Anexo II. Plantilla US1137.*



*Figura 2 Anexo II. Fichero Planitud, US1137.*

Anexo II

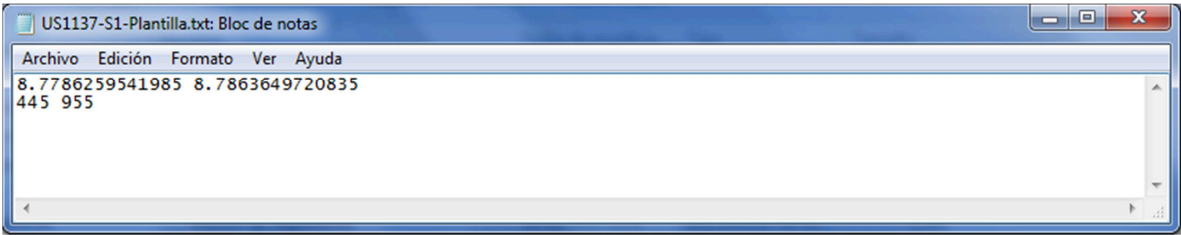


Figura 3 Anexo II. Fichero Plantilla, US1137.

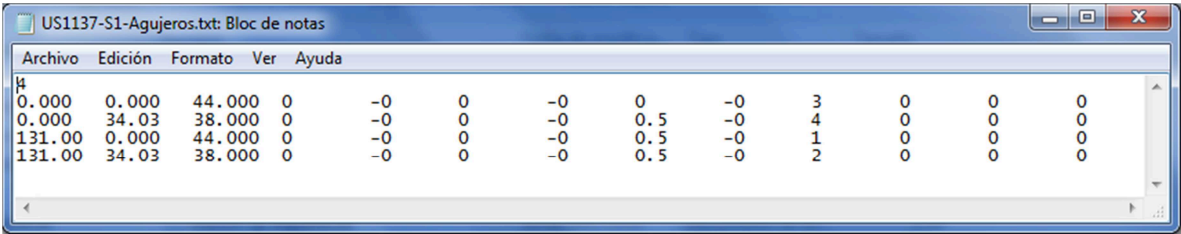


Figura 4 Anexo II. Fichero Agujeros, US1137.

US2003

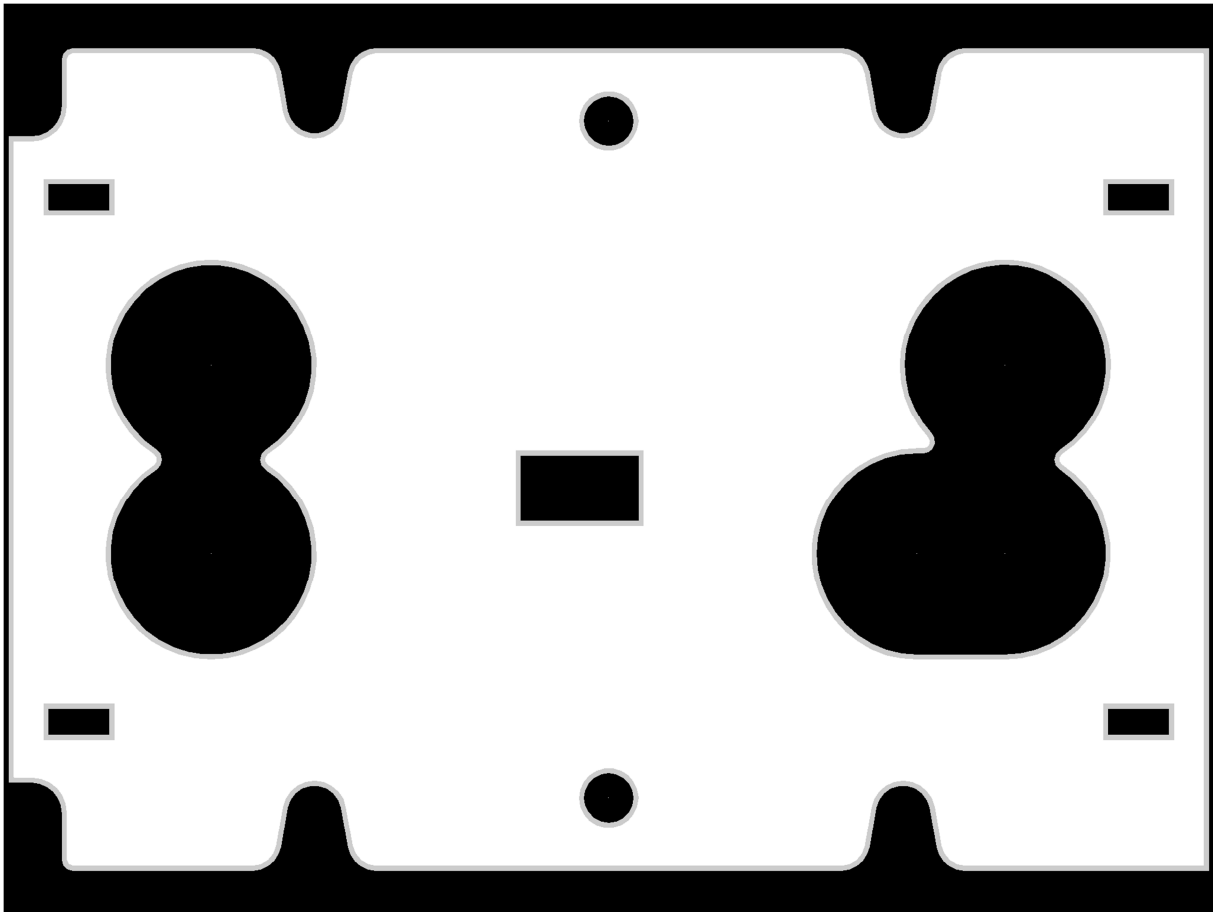


Figura 5 Anexo II. Plantilla US2003.

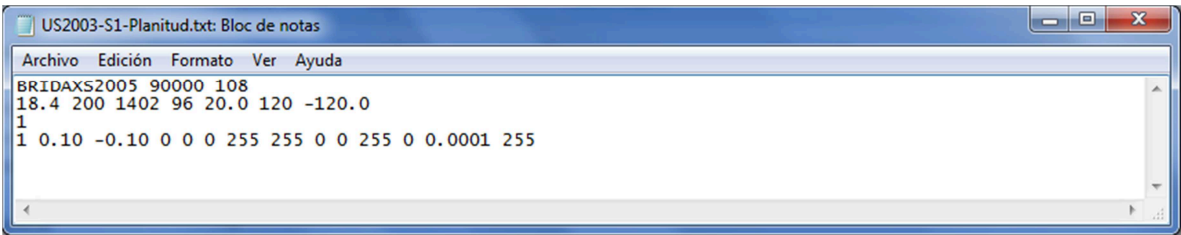


Figura 6 Anexo II. Fichero Planitud, US2003.

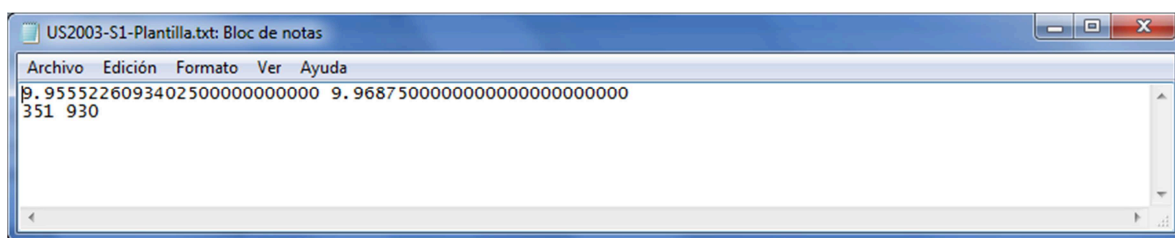


Figura 7 Anexo II. Fichero Plantilla, US2003.

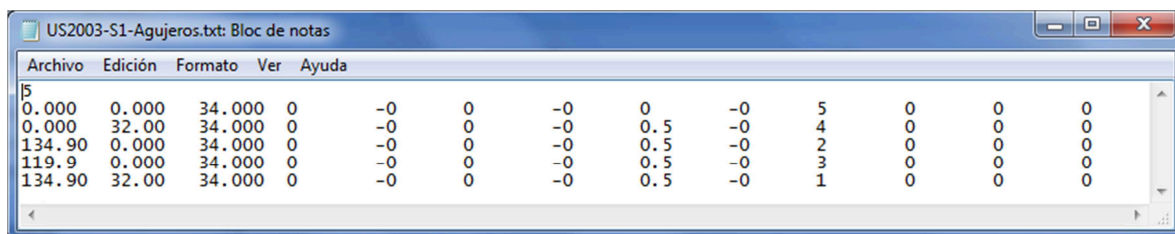


Figura 8 Anexo II. Fichero Agujeros, US2003.

## US2010

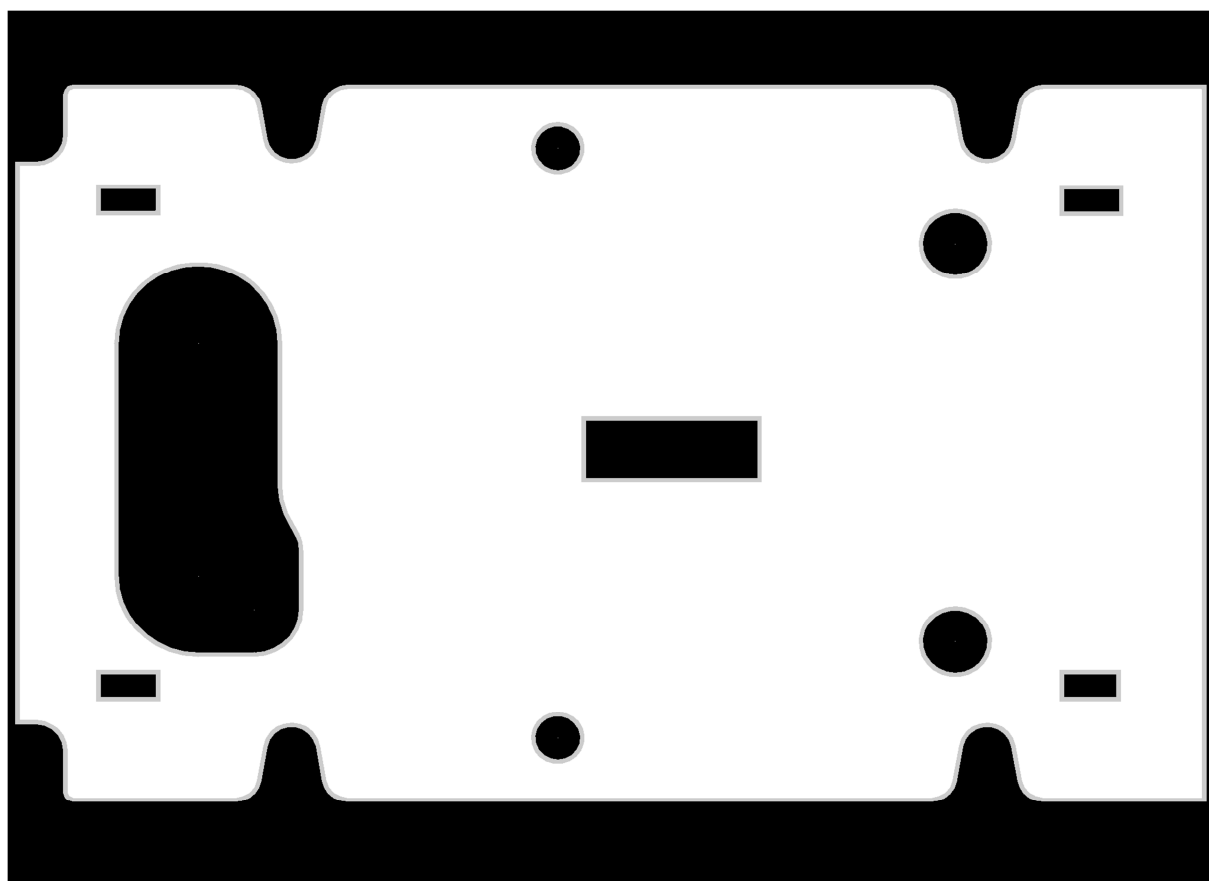


Figura 9 Anexo II. Plantilla US2010.

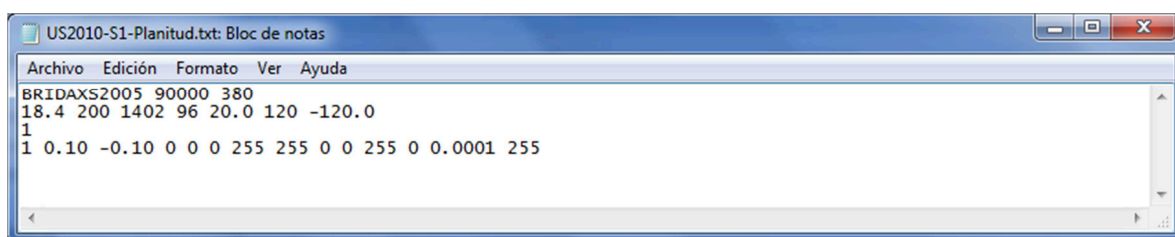


Figura 10 Anexo II. Fichero Planitud, US2010.

Anexo II

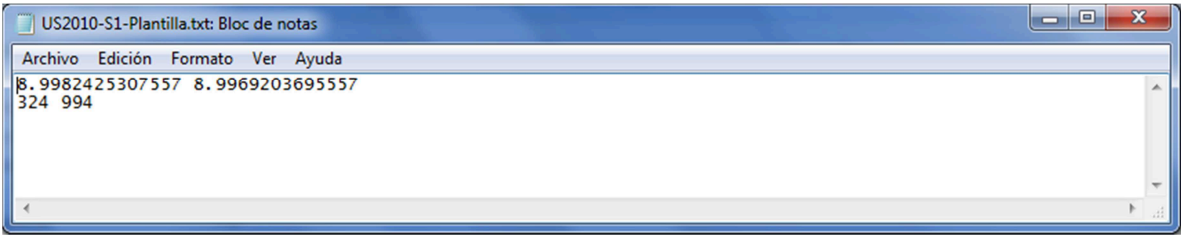


Figura 11 Anexo II. Fichero Plantilla, US2010.

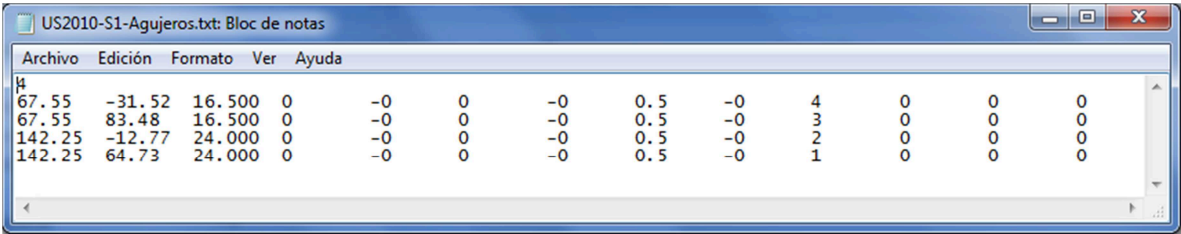


Figura 12 Anexo II. Fichero Agujeros, US2010.

US2022

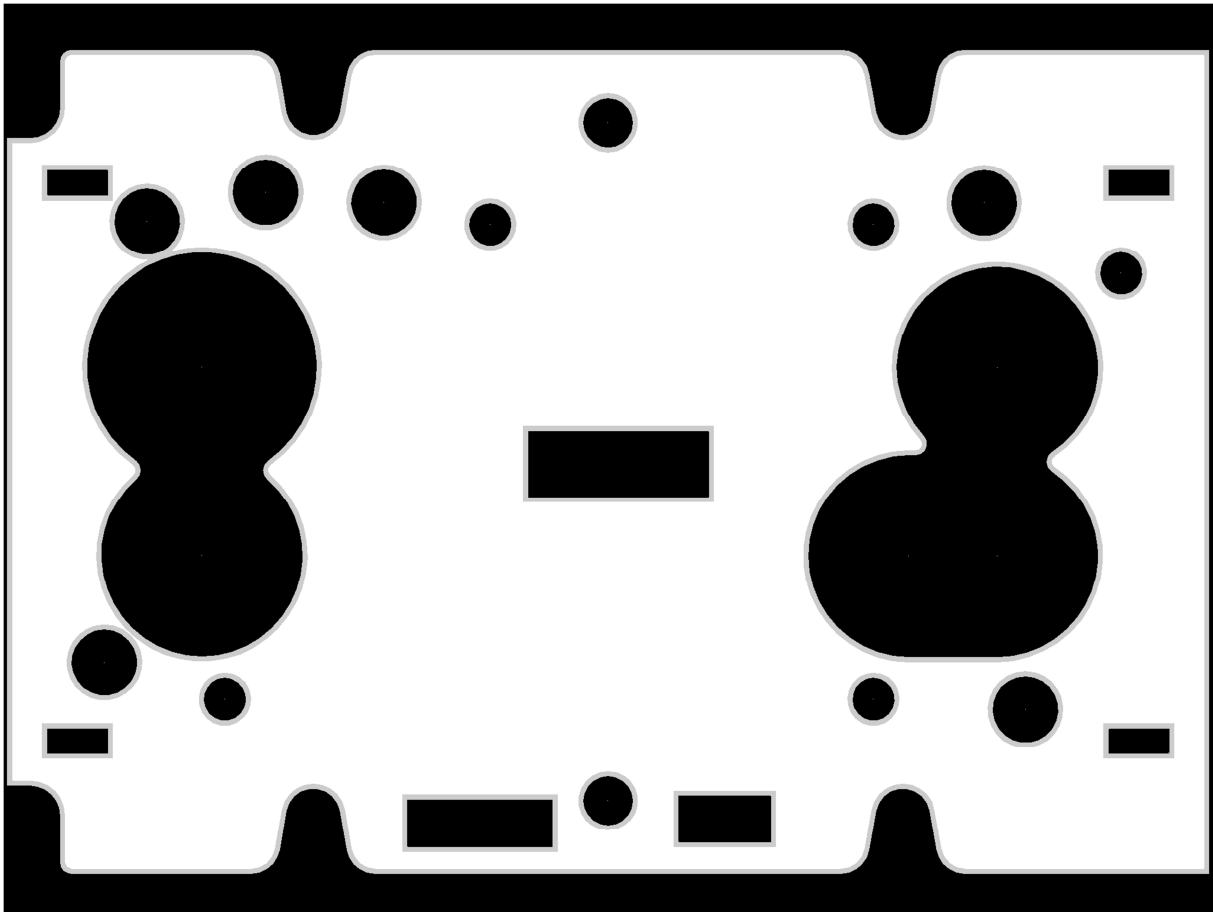


Figura 13 Anexo II. Plantilla US2022.

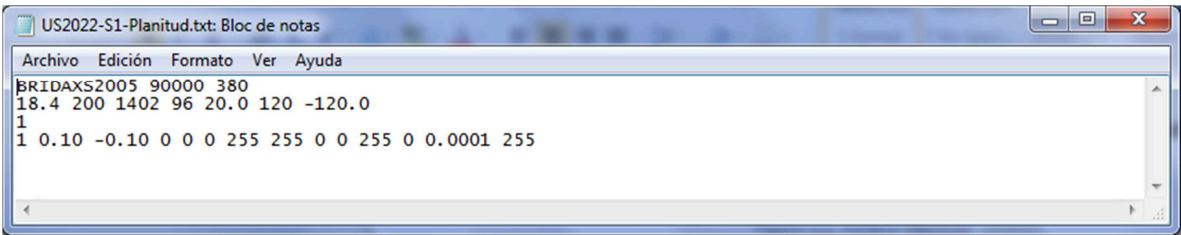


Figura 14 Anexo II. Fichero Planitud, US2022.

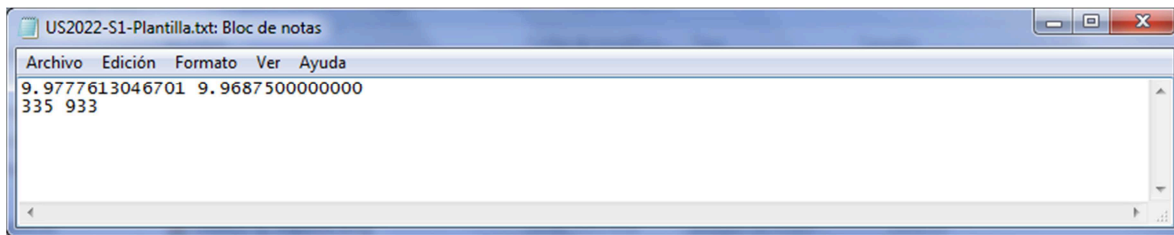


Figura 15 Anexo II. Fichero Plantilla, US2022.

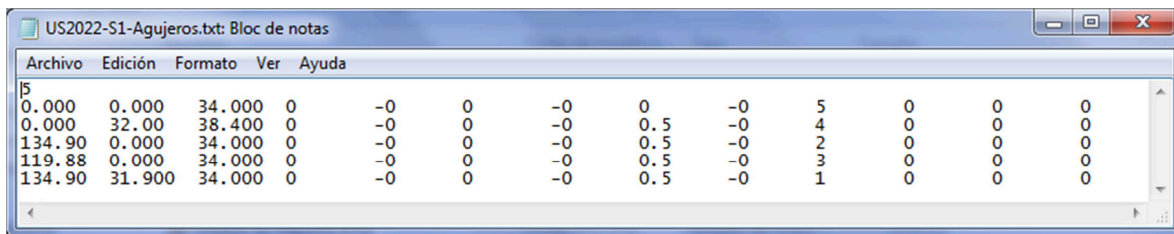


Figura 16 Anexo II. Fichero Agujeros, US2022.

## US2007

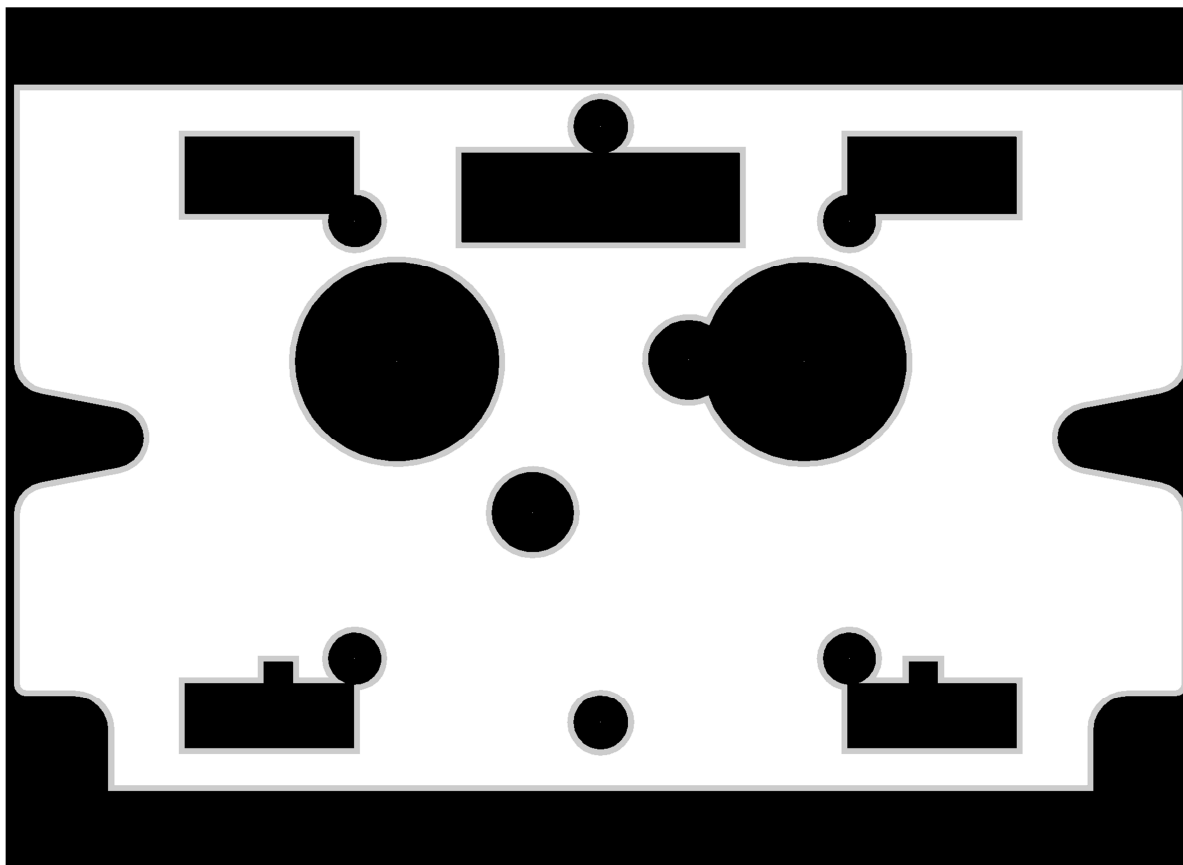


Figura 17 Anexo II. Plantilla US2007.

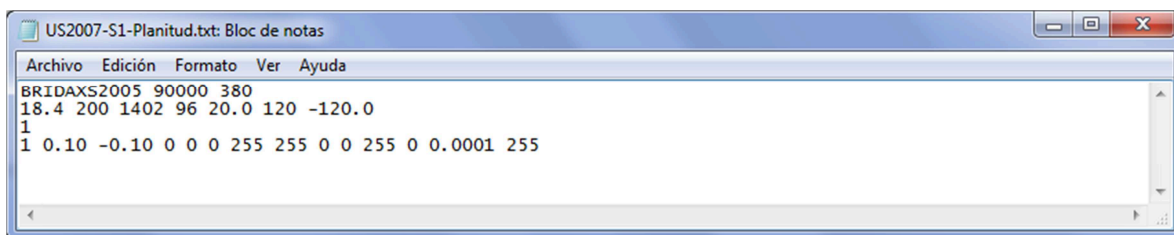


Figura 18 Anexo II. Fichero Planitud, US2007.

Anexo II

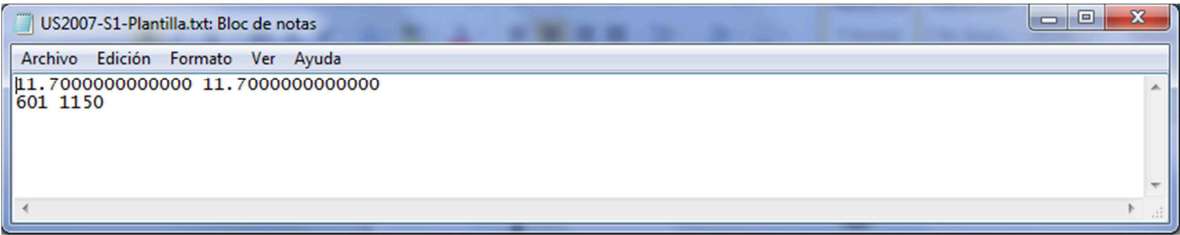


Figura 19 Anexo II. Fichero Plantilla, US2007.

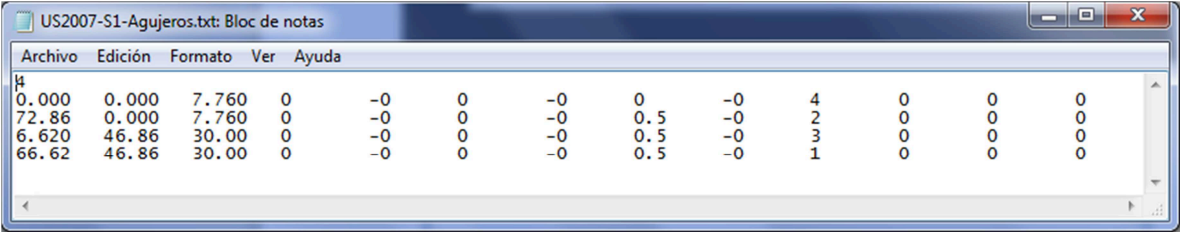


Figura 20 Anexo II. Fichero Agujeros, US2007.

US2009

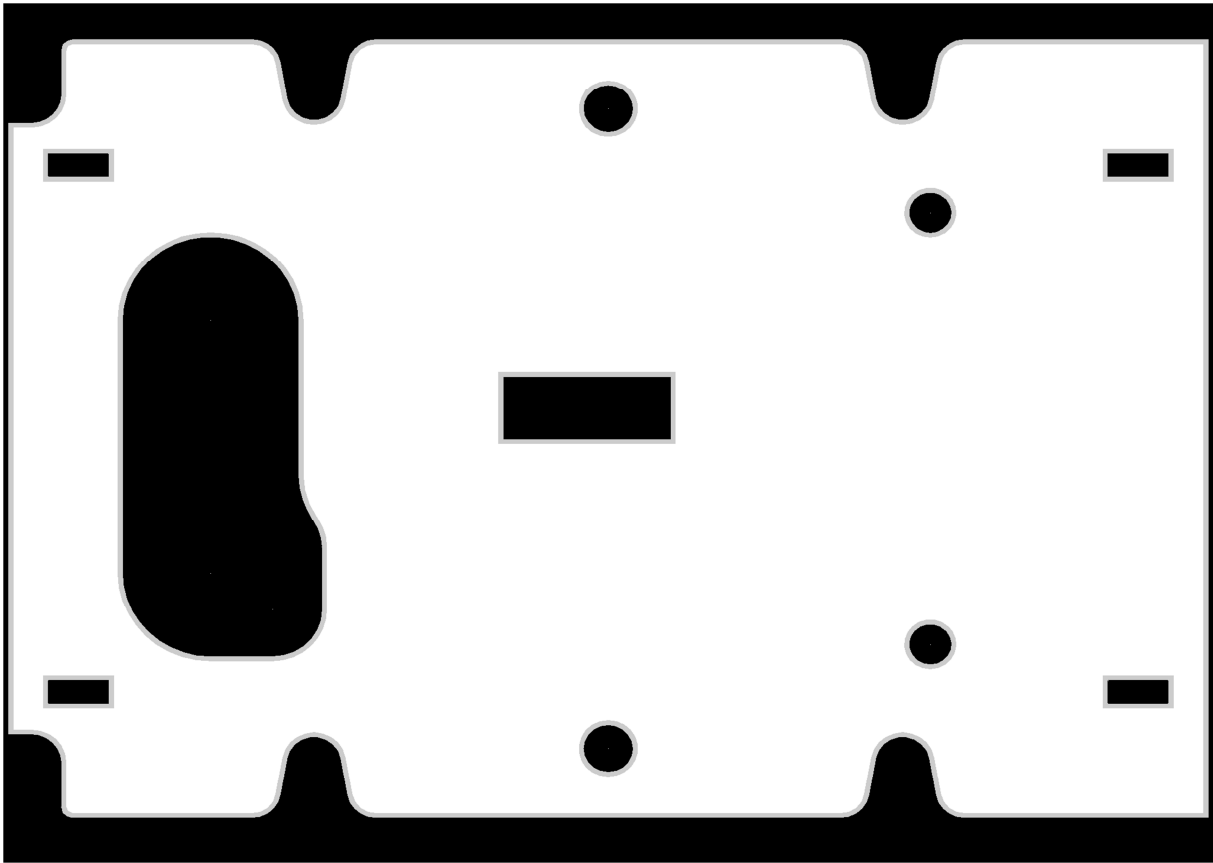


Figura 21 Anexo II. Plantilla US2009.

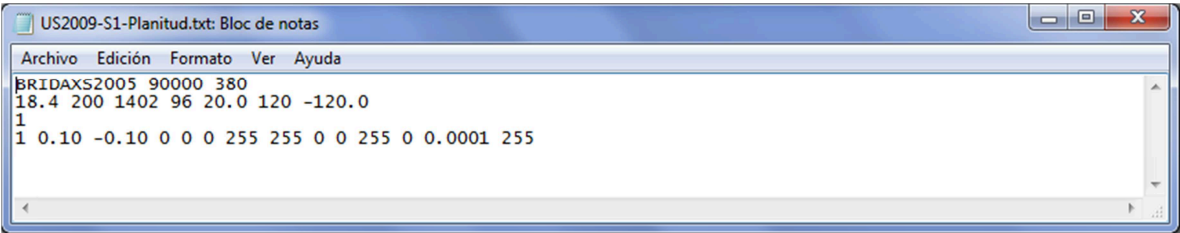
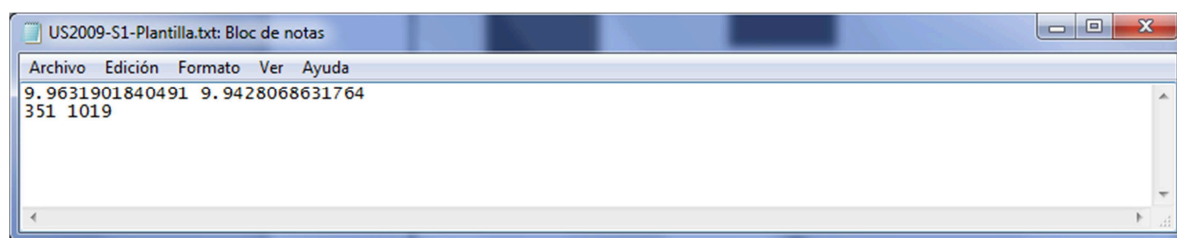
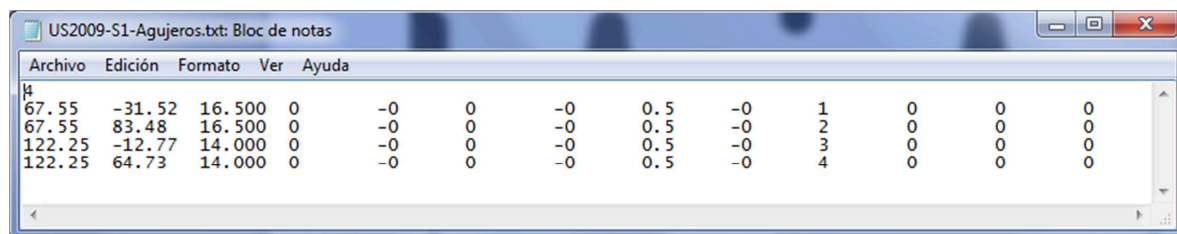


Figura 22 Anexo II. Fichero Planitud, US2009.





*Figura 23 Anexo II. Fichero Plantilla, US2009.*



*Figura 24 Anexo II. Fichero Agujeros, US2009.*



## Anexo III: Procedimiento de medición: Máquina de medición por visión 3D

---

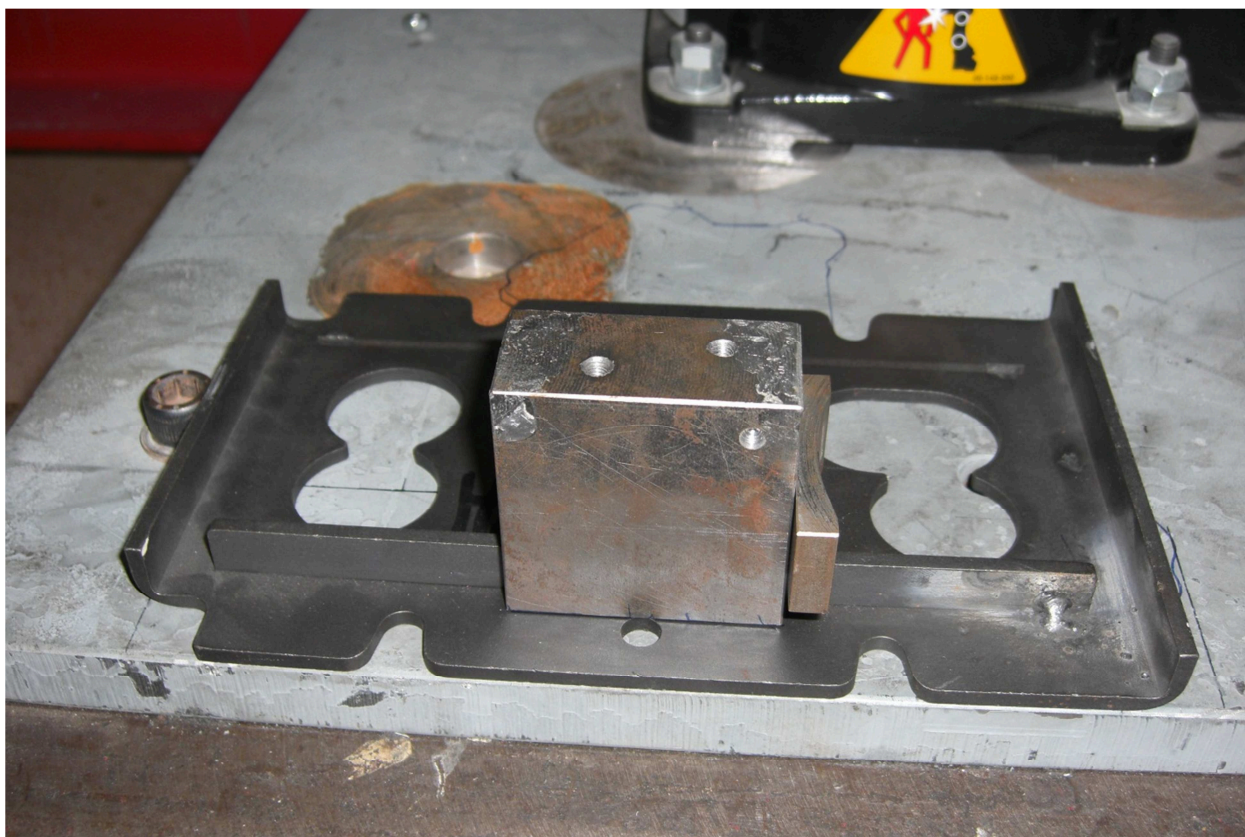
A continuación se van a detallar los pasos necesarios para poder realizar las mediciones con el programa informático IRENE.

En primer lugar se explicará cómo se maneja el robot KUKA necesario para poder posicionar la pieza en el lugar de medición. Posteriormente se mostrará cuál ha sido la posición inicial de las piezas medidas, lo que deja de manifiesto la necesidad de estandarizar un método alternativo de posicionamiento inicial de las piezas.

Finalmente se detallarán los pasos a seguir para poder medir la pieza con la MMV y el programa IRENE.

### Manejo del robot

El primer paso para poder medir la pieza con la MMV es posicionar correctamente la pieza encima de la cámara. Para realizarlo utilizaremos el brazo robótico, en el que debemos implementar un programa que realice los siguientes movimientos. En primer lugar el brazo debe ir a buscar la pieza a la posición inicial, posteriormente se coge la pieza y finalmente se coloca la pieza en la posición final la cual será donde se medirá. Esta posición final será encima de la cámara de manera longitudinal, alineada y paralela al equipo de medición.



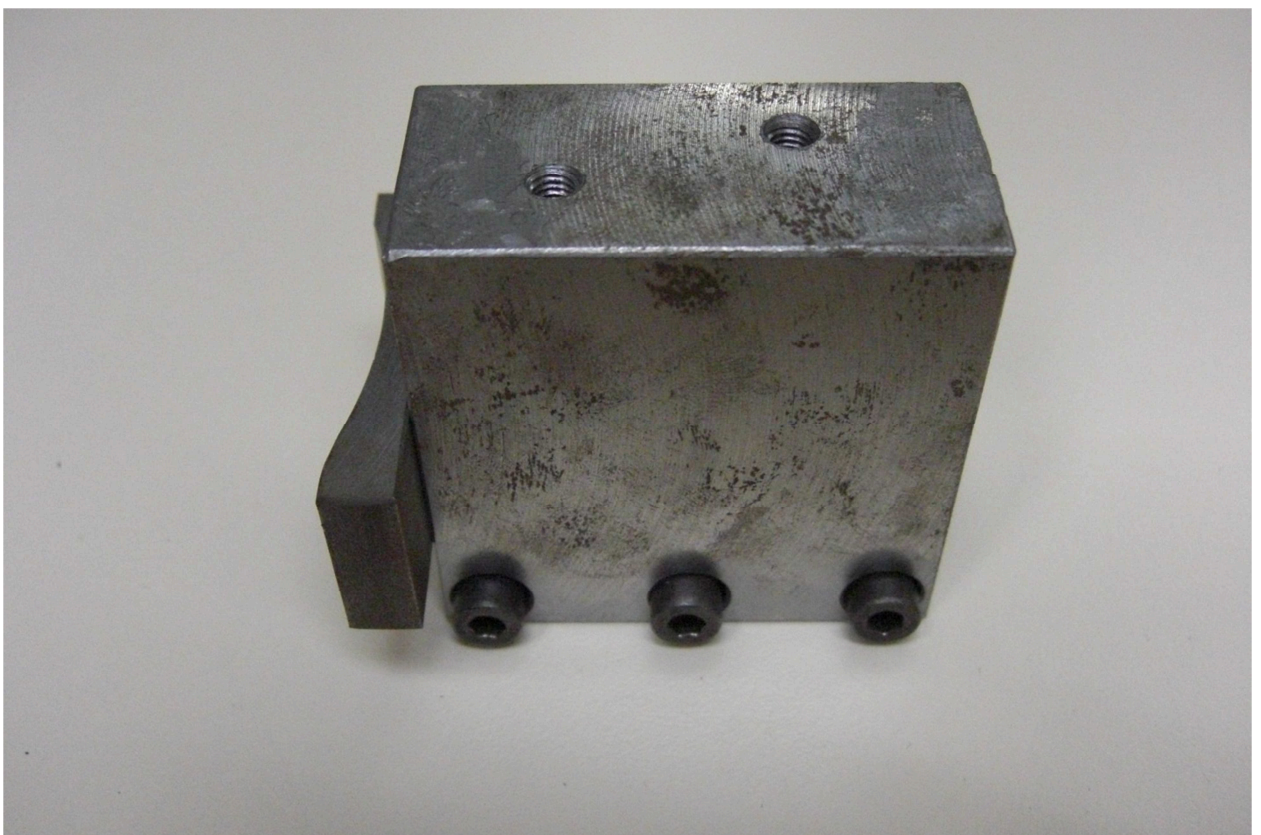
*Figura 1 Anexo III. Posición inicial de la pieza.*





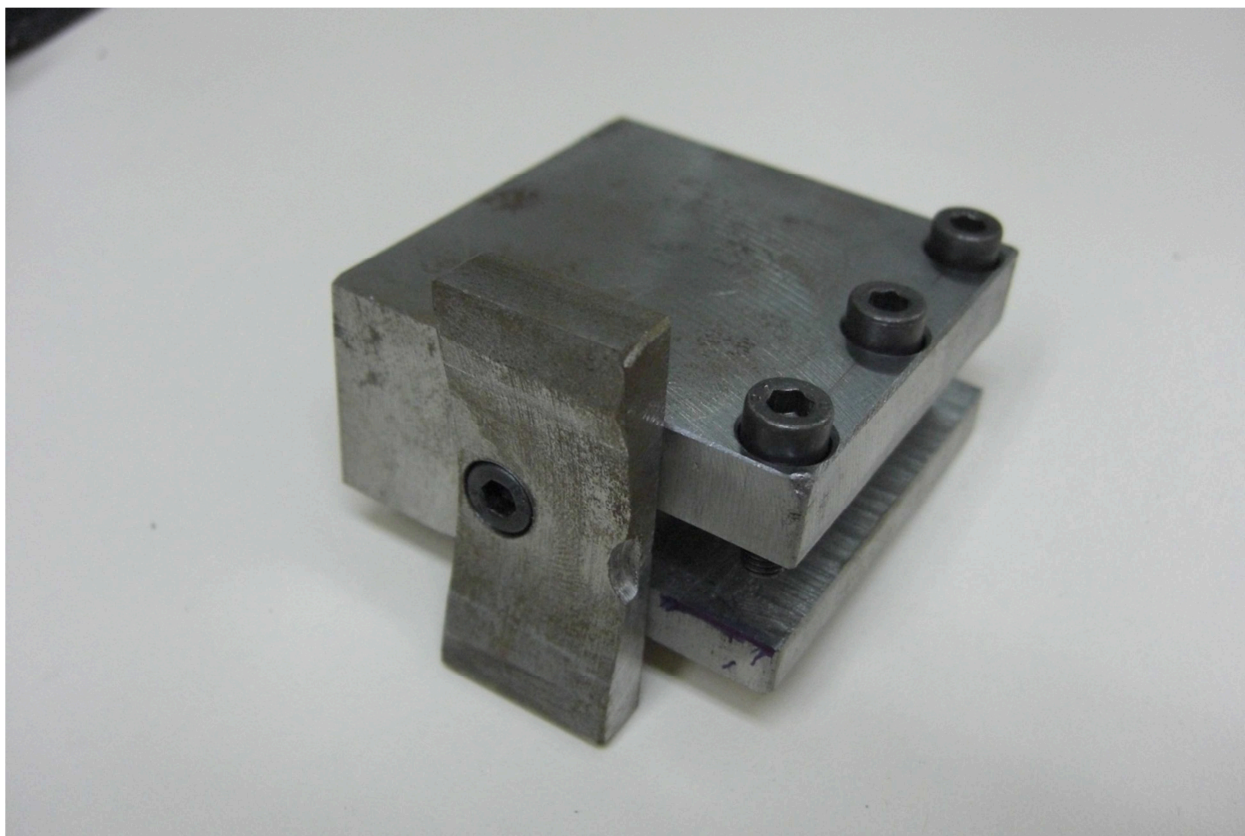
*Figura 2 Anexo III. Posición final de la pieza.*

Para poder agarrar la pieza, nos ayudaremos del siguiente útil.



*Figura 3 Anexo III. Útil de sujeción de la pieza, vista 1.*

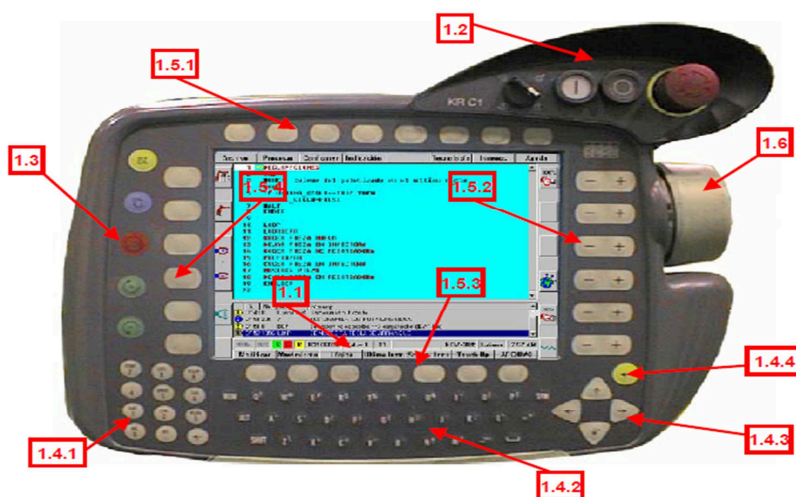




*Figura 4 Anexo III. Útil de sujeción de la pieza, vista 2.*

En nuestro caso ya partimos con los programas para cada pieza realizados, por lo tanto, a continuación, se explica cómo manejar el mando del robot para poder ejecutar los programas de cada una de las piezas.

Antes de explicar cómo se ejecutan los programas, se va a explicar cómo está distribuido el mando del robot.



*Figura 5 Anexo III. Mando del robot.*

- 1.1 Barra de estado.
- 1.2 Accionamientos arriba-derecha.
- 1.3 Teclas de la izquierda.
- 1.4 Parte inferior.

1.4.1 Campo numérico.

1.4.2 Teclado.

1.4.3 Teclas de cursor.

1.4.4 Tecla de entrada.

1.5 Teclas alrededor de la pantalla.

1.5.1 Teclas de grupos de menús.

1.5.2 Teclas de funciones de estado derecha.

1.5.3 Softkeys

1.5.4 Teclas de funciones de estado izquierda.

1.6 Space mouse-ratón.

### 1.1 Barra de estado.

Esta suministra información sobre los estados importantes de servicio. A continuación se muestran algunos ejemplos. De izquierda a derecha, esta muestra:

NUM	INS	S	I	R	R2106000	Satz= 11	T1		HOV=30%	Latierro	8:48 AM
NUM	INS	S	⊙	R	R2106000	Satz= 1	T1		HOV=30%	Latierro	7:52 AM
NUM	INS	S	I	R	R2106000	Satz= 1	AUT		POV=100%	Latierro	8:06 AM
NUM	INS	S	I	R	R2106000	Satz= 11	T1		POV=1%	Latierro	8:09 AM
NUM	INS	S	⊙	R	R2106000	Satz= 11	T1		POV=1%	Latierro	8:11 AM

*Figura 6 Anexo III. Barra de estado.*

**NUM** Están activos los números del teclado, no las funciones.

**INS** Está activo el modo de inserción de texto.

**S** (verde) El interpretador submit está en ejecución, siempre en verde, si estuviera en rojo, es porque se ha detenido voluntariamente la ejecución de este, y puede conllevar problemas graves de seguridad.

**I** (verde) Accionamientos conectados.

**R** (verde) Ejecutándose un programa.

(gris) No hay programa seleccionado.

(rojo) El programa seleccionado y arrancado ha sido detenido.

(Amarillo/negro) El puntero está sobre la primera/ultima línea de programa.

**PROG\_SEL** Se visualiza el nombre de programa en ejecución.

**Satz=5** Se visualiza el número de paso de la línea de programa en ejecución.

#### **MODO SERVICIO:**

**T1** Manual lento.

**T2** Manual rápido.

**AUT** Automático.

**EXT** Automático externo, cuando un ordenador o plc asume el control del robot.

? No se ha seleccionado ningún modo.

**PROG\_EDIT** Se visualiza el nombre de programa en edición.

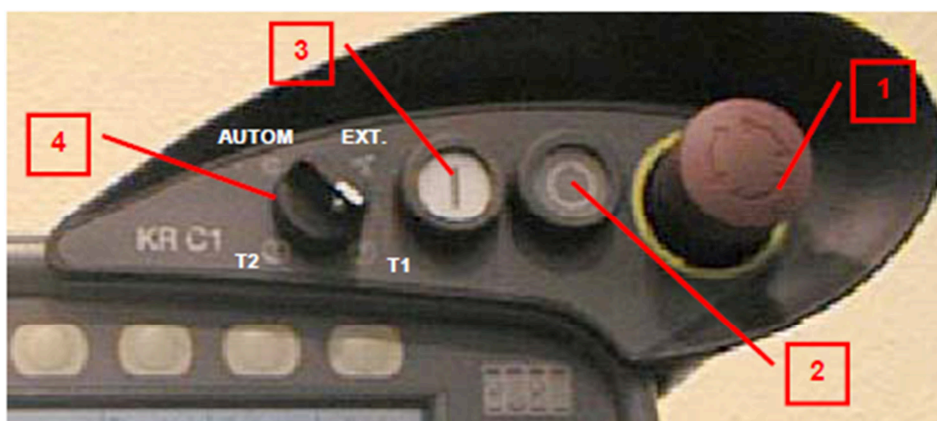
**POV/HOV** el % de la velocidad respecto a la de programa/manual.

**NOMBRE\_ROBOT** Se visualiza el nombre del programa.

**HORA** Hora actual del sistema.

## 1.2 Accionamientos (arriba-derecha)

De derecha a izquierda:



*Figura 7 Anexo III. Botones de accionamiento.*

### **1 PULSADOR DE PARADA DE EMERGENCIA.**

Representa el dispositivo de seguridad más importante, se acciona en los casos de peligro. Para que los accionamientos puedan volver a ser conectados es necesario desenclavar la tecla de parada de emergencia y confirmar el correspondiente mensaje en la ventana de mensajes.

### **2 ACCIONAMIENTOS DESCONECTADOS.**

Se utiliza cuando trabajamos en automático. En T1 o T2 los accionamientos se desconectan al soltar el hombre muerto.

### **3 ACCIONAMIENTOS CONECTADOS.**

Se utiliza cuando trabajamos en automático. En T1 o T2 los accionamientos se conectan al pulsar el hombre muerto.

### **4 SELECTOR MODO DE SERVICIO. Hay cuatro modos:**

**T1** Manual lento.

**T2** Manual rápido. Peligroso, no lo emplearemos nunca.

**AUT** Automático.

**EXT** Automático externo, cuando un ordenador o plc. asume el control del robot.

### 1.3 Teclas izquierda.



De arriba abajo:

- (amarillo) Para interrumpir la programación de una función o para cerrar menús abiertos accidentalmente.
- (azul) Tecla de selección de ventana, para conmutar entre ventanas abiertas.
- (rojo) Parada de programa.
- Arranque adelante (verde). Pulsando esta tecla se arranca un programa seleccionado. Para ejecutar un programa en modo T1 o T2 debe estar pulsado previamente el pulsador de hombre muerto.
- Arranque atrás (verde). No emplear nunca, es para moverse hacia atrás en el programa, es útil solo programando. Este solo está disponible en T1 y T2, y en modo paso a paso.

Figura 8 Anexo III. Teclas de la izquierda.

### 1.4 Parte inferior.

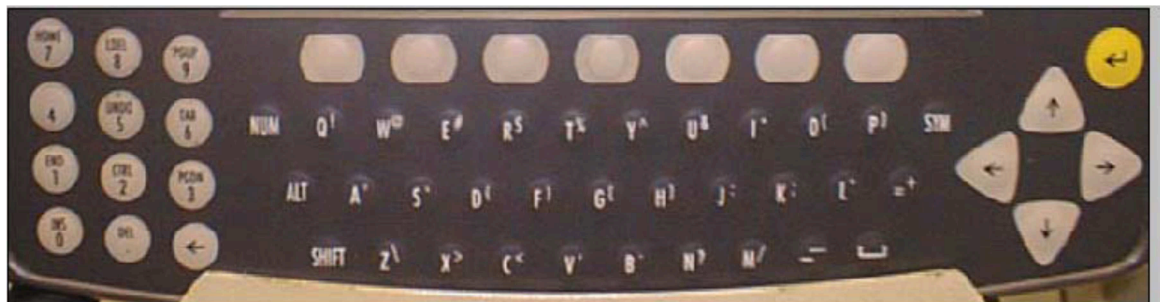


Figura 9 Anexo III. Parte inferior del mando.

De izquierda a derecha:

**Campo numérico.** A través de este se da entrada a cifras, y en un segundo nivel, conmutando mediante la tecla **NUM** se tiene acceso a unas funciones de mando del cursor que no emplearemos por no ser necesario (home, ldel, pgup, undo, tab, end, ctrl, pgdn, ins, del). Para evitar confusiones podemos optar por tener siempre activado el modo numérico (NUM en negro)

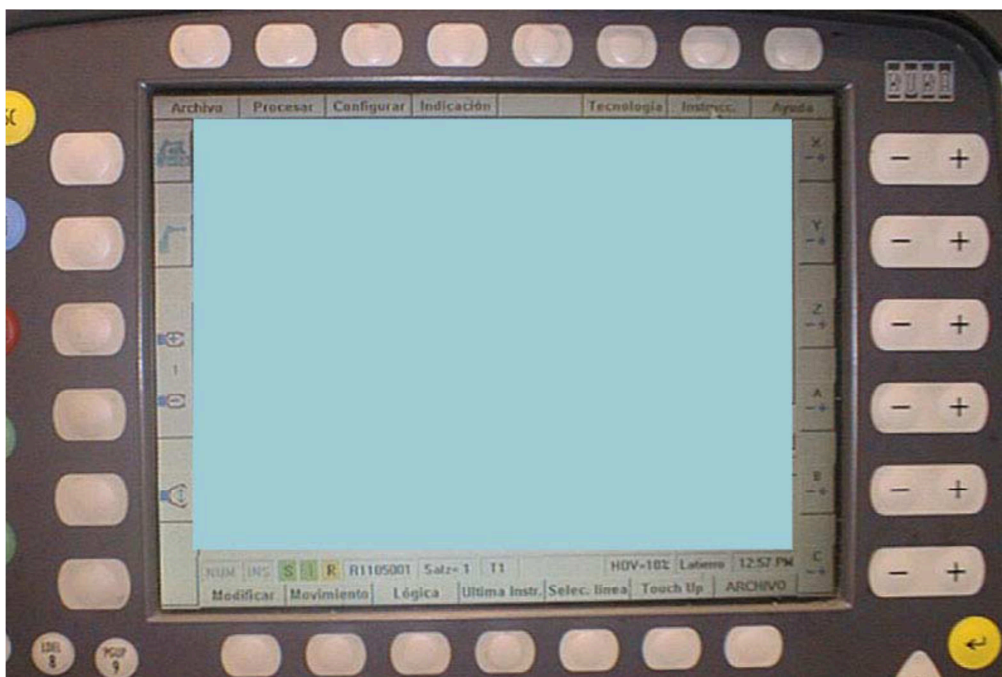
**Teclado.** Para insertar caracteres. Para insertar un carácter en mayúscula se efectúa con la tecla **SHIFT**, y para varios teniéndola pulsada. Se dispone de caracteres especiales en un segundo nivel, al que se accede al pulsarse la tecla **SYM**. La función de la tecla **ALT** es similar a la de un ordenador, nosotros apenas la emplearemos, quizá para abrir un menú desplegable pulsando ALT- flecha abajo.

**Teclas de cursor.** Sirven para modificar la posición del cursor de edición y para cambiar la posición entre los campos de los formularios inline y listas de parámetros.

**Tecla de entrada.** (amarillo) Es similar a la tecla "Enter" de un PC.



### 1.5 Teclas alrededor de la pantalla.



*Figura 10 Anexo III. Teclas alrededor de la pantalla.*

En sentido horario, empezando desde arriba:

**Teclas de grupos de menús.** Mediante estas teclas se abre un menú, por el que nos podemos mover con las teclas de cursor y accionar una función mediante la tecla enter.

**Teclas de funciones de estado derecha.** Sirven para la selección de opciones de servicio, para conmutar funciones individuales y para definir valores. Estas son:

- Teclas de movimiento manual con teclas (por ejes, por coordenadas) o por ratón.
- Teclas de velocidad e movimiento, manual y automático.
- Teclas de brillo y contraste de la pantalla.

**Softkeys.** Para seleccionar las funciones representadas y que se adaptan dinámicamente.

**Teclas de funciones de estado izquierda.** Sirven para la selección de opciones de servicio, para conmutar funciones individuales y para definir valores. Están:

- Tecla de selección de tipo de movimiento (teclas, ratón o no manual).
- Tecla de modo de ejecución de programa (paso a paso, continuo o instrucción a instrucción).
- Tecla de accionamiento de la pinza.

### 1.6 Space mouse-ratón.

**Space mouse-ratón.** Sirve para el movimiento en modo manual del robot, se desaconseja su uso por llevar mucho tiempo el acostumbrarse a su uso.



*Figura 11 Anexo III. Space mouse-ratón.*

### 1.7 Parte trasera del KCP.



*Figura 12 Anexo III. Parte trasera del KCP.*

Estos pulsadores sirven para mover al robot en modo manual (T1 o T2), para lo cual será necesario pulsar primeramente el hombre muerto para conectar los accionamientos, estos pulsadores de hombre muerto tienen tres posiciones.

- 1- Sin presionar Motores OFF**
- 2- Presionando primera posición Motores ON**
- 3- Presionando hasta tope Motores OFF.**

Seguidamente moverlo bien por coordenadas o por ejes pulsando la coordenada correspondiente o por programa pulsando la tecla de avance de programa.

A continuación se explica cómo seleccionar el programa correspondiente para cada pieza. Antes debemos asegurarnos de que el selector de modo de funcionamiento esté en T1/T2.

Para abrir un programa bastará con desplazarnos con las teclas del cursor y pulsar la tecla “enter” sobre el nombre del programa que queramos abrir. En nuestro caso, para las piezas del proyecto, encontraremos los programas de los útiles dentro de la carpeta US001

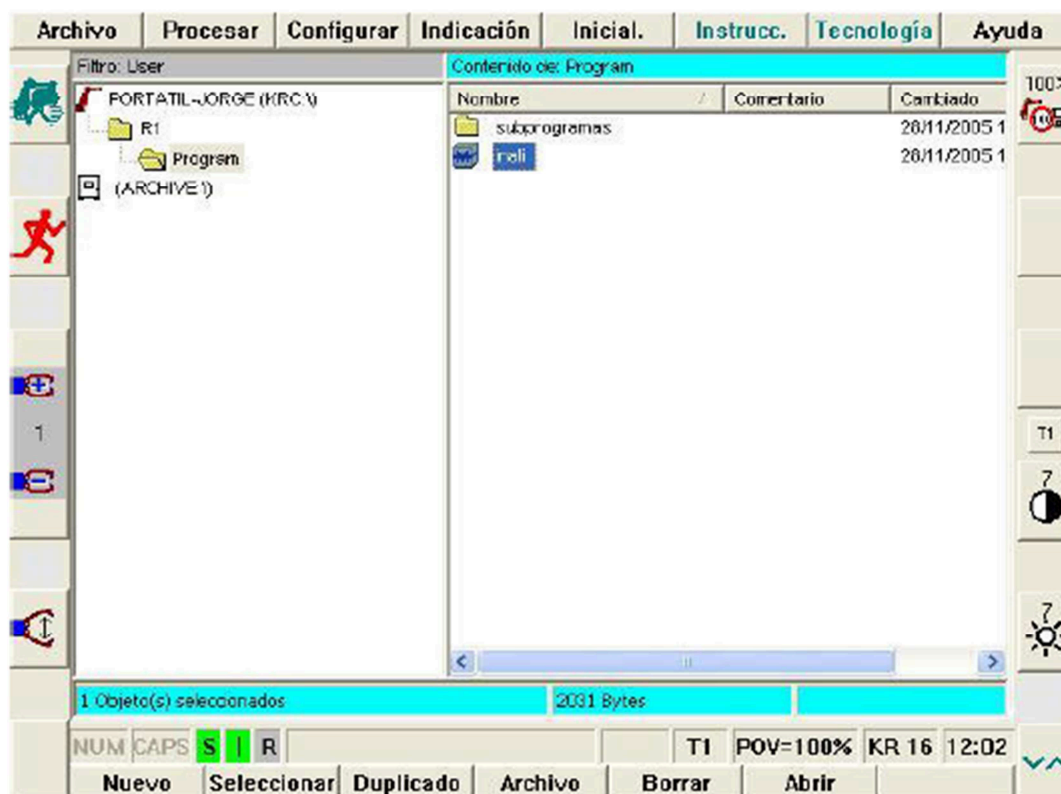


Figura 13 Anexo III. Pantalla de selección de programa.

En el caso de que tuviésemos ya un programa abierto y quisiéramos cerrar el actual, seleccionaríamos “CANCELAR PROGRAMA” desde el menú “PROCESAR”.



Figura 14 Anexo III. Cancelación de programa.

Otro modo alternativo sería volver hasta el navegador pulsando en NAVIGATOR y dándole a DESELECT.

Una vez tengamos seleccionado el programa, el robot ejecutará el programa cuando nosotros estemos pulsando el hombre muerto y le demos al botón de marcha, en caso contrario se interrumpe.



*Figura 15 Anexo III. Botones traseros del mando.*

El tipo de movimiento que debemos seleccionar será el de movimiento manual desactivado para poder ejecutar el programa.



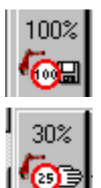
Cuando queramos movernos en manual fuera de los puntos del programa, activaremos el movimiento manual con teclas, lo que nos permitirá ejecutar el programa y también desplazarnos fuera de los puntos del programa.



El modo de ejecución del programa podremos elegir entre el modo continuo, en el que la ejecución del programa no se detiene hasta que no se suelte la tecla de marcha, o bien paso a paso, en el que la ejecución del programa se detiene en cada paso.



También podremos modificar la velocidad, tanto de ejecución del programa (POV) cómo la velocidad en manual fuera de programa (HOV) .



En el caso de querer ejecutar líneas de programa de forma individual, hay que distinguir entre el cursor de edición “ I ” y el puntero de programa (línea blanca con una flecha amarilla), que nos indica cuál es la línea de programa que se está ejecutando.

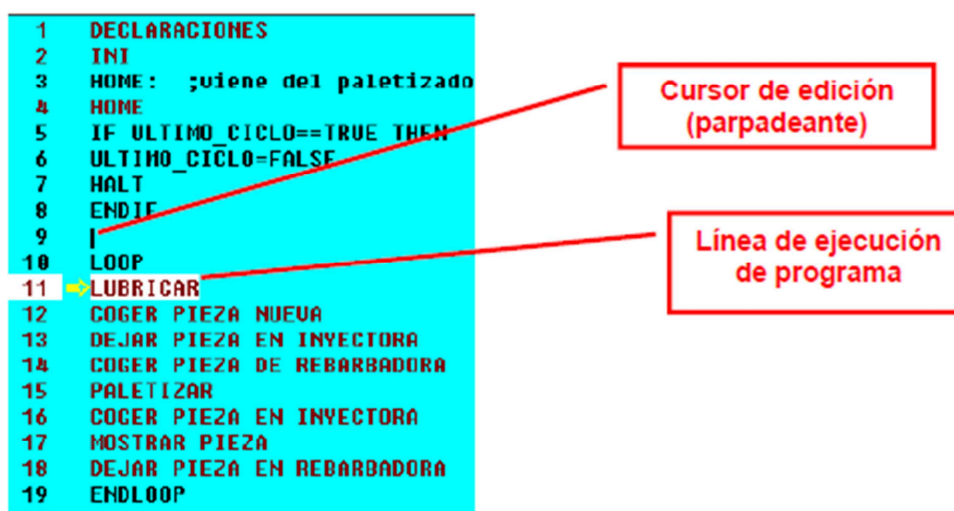


Figura 16 Anexo III. Líneas de programa.

Para moverse a otra línea de ejecución de programa, mover el cursor de edición, y pulsar la tecla de función de abajo donde pone Selec. Línea.

En un principio ya tendríamos posicionada la pieza, pero es posible que la pieza no esté alineada perfectamente; por ello deberemos colocarla correctamente con la ayuda del programa PixelINK.

Para centrarla correctamente realizamos los siguientes pasos:

- Encendemos el láser (el voltaje debe de estar aproximadamente entre 5 y 5.5 Voltios).
- Abrimos el programa PixelINK en el ordenador y pulsamos “play”.
- Encendemos la posicionadora y abrimos su programa de control ESP-Util.
- Dependiendo el tipo de conexión que estemos utilizando (GPIB o RS232), abrimos el puerto correspondiente con la opción “Open Port” y lo reseteamos.
- Habilitamos el puerto que hemos abierto desde el menú “HOME”.
- Mediante la opción “JOG” podremos mover la posicionadora.

Realizando los pasos anteriores, podremos ver la imagen del láser que se está captando con el programa PixelINK; por ello, si la pieza está ligeramente inclinada o descentrada, podremos corregir su posición con el robot hasta llegar a la posición correcta.



Figura 17 Anexo III. Imagen del láser descentrada.

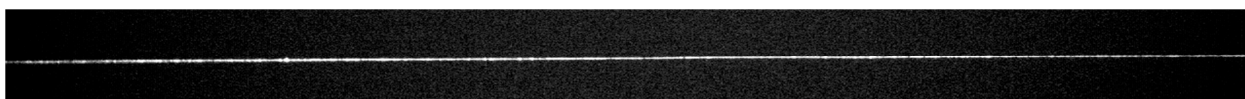


Figura 18 Anexo III. Imagen del láser centrada.

A continuación se muestra dónde están guardados cada uno de los programas de las distintas piezas.



/R1

/Program

/Planitud

/Irene

/Xs2005

/Xs2023

/Xs2026

/Us0001

/Us1137

/Us2003

/Us2010

/Us2007

/Us2023

/Us2009

/Us0001 (para pieza similar a Us1137)

/Spoc

/Toyota

/Toyota1 (para HA1137)

/Mh\_1 (para HA2025)

## Posición inicial de los útiles de soldadura

Ahora se muestran las posiciones iniciales de los tres útiles de soldadura sometidos a estudio.

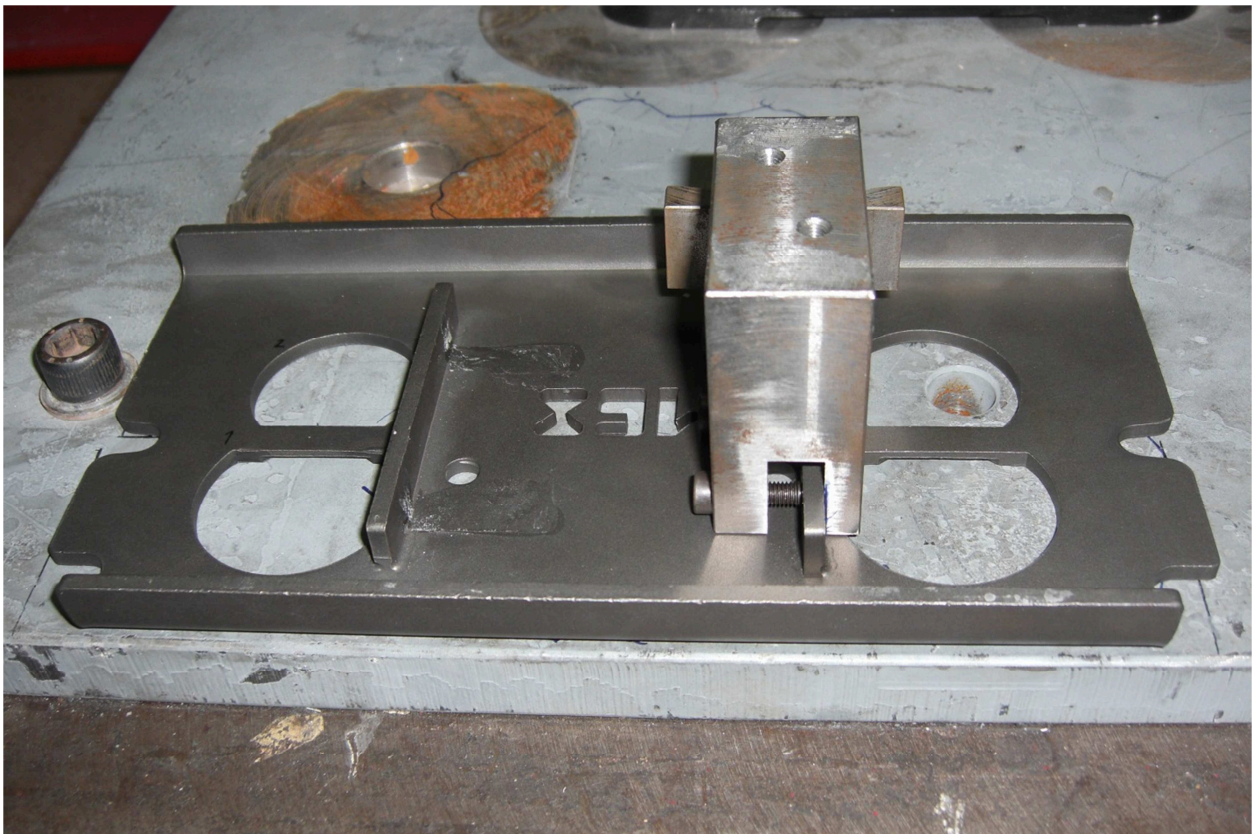


Figura 19 Anexo III. Posición inicial US1137.





*Figura 20 Anexo III. Posición inicial US2003.*



*Figura 21 Anexo III. Posición inicial US2010.*

Asimismo se muestra la posición inicial del resto de piezas medidas durante la realización del proyecto. El resto de los útiles de soldadura se colocan de manera similar a los anteriores.



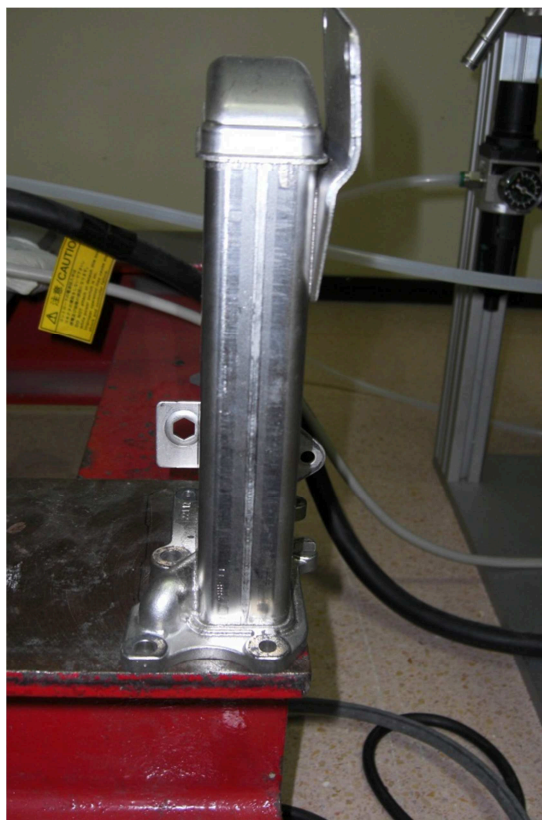


*Figura 22 Anexo III. Posición inicial XS2023.*



*Figura 23 Anexo III. Posición inicial XS2005.*

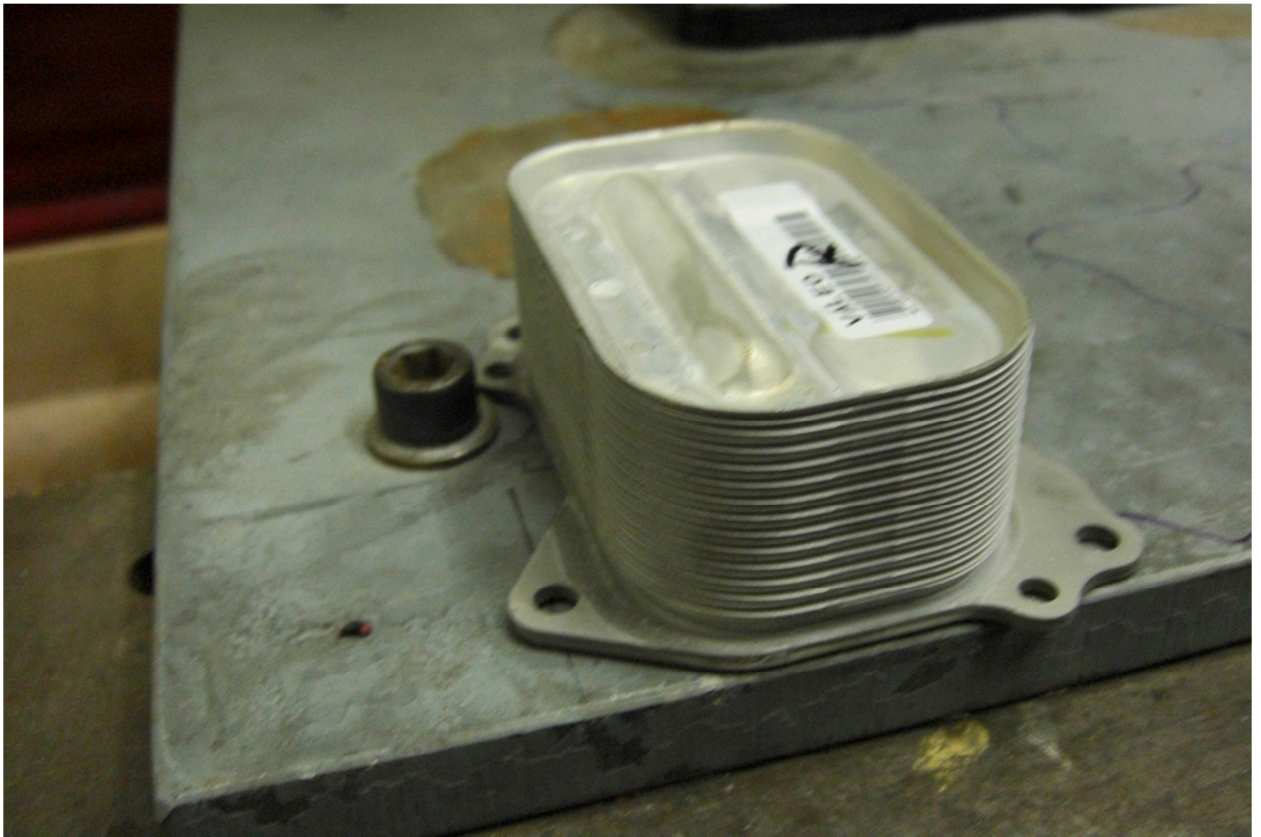




*Figura 24 Anexo III. Posición inicial XS2026.*



*Figura 25 Anexo III. Posición inicial HA1137.*

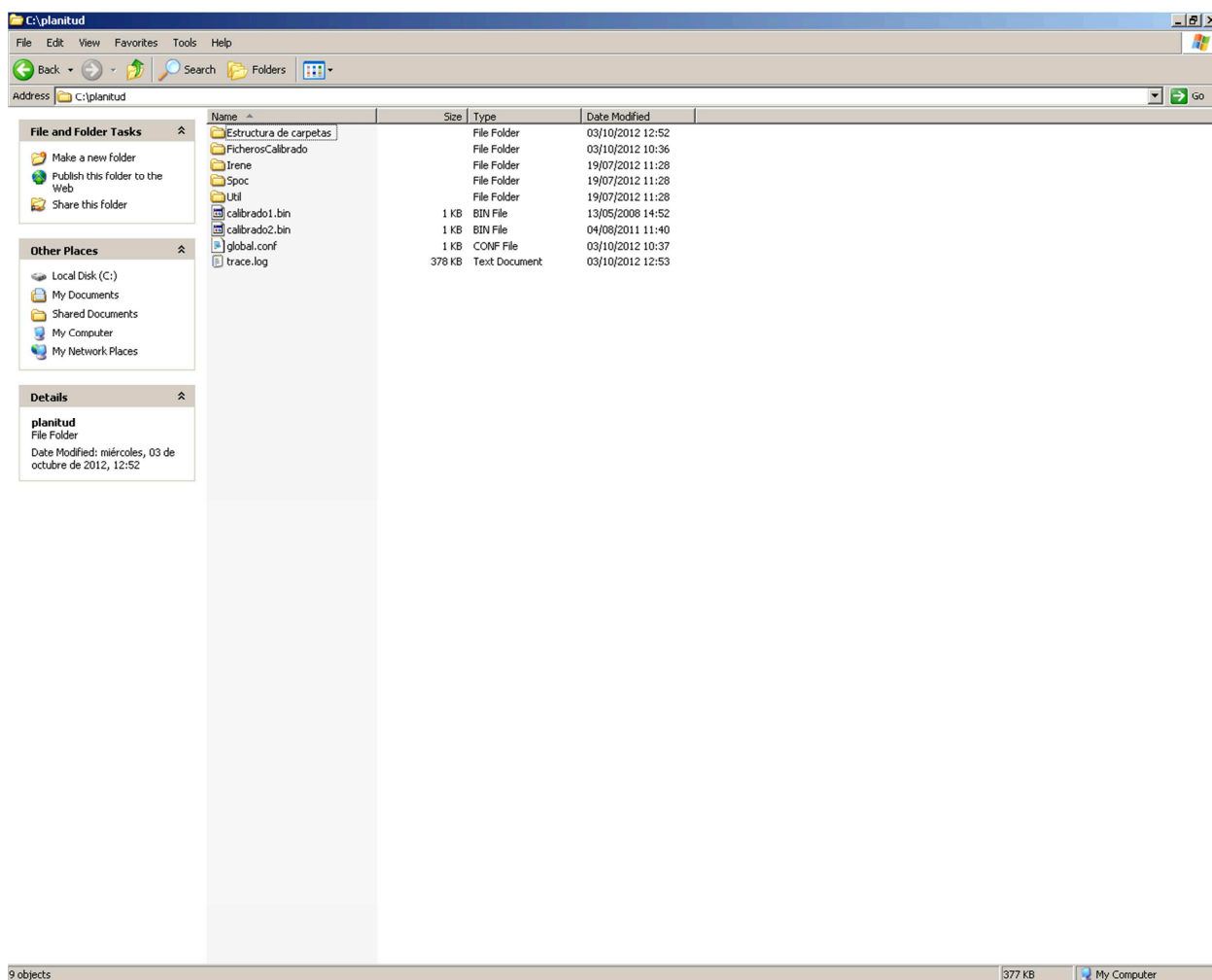


*Figura 26 Anexo III. Posición inicial HA2025.*

### **Medición con la máquina de visión 3D**

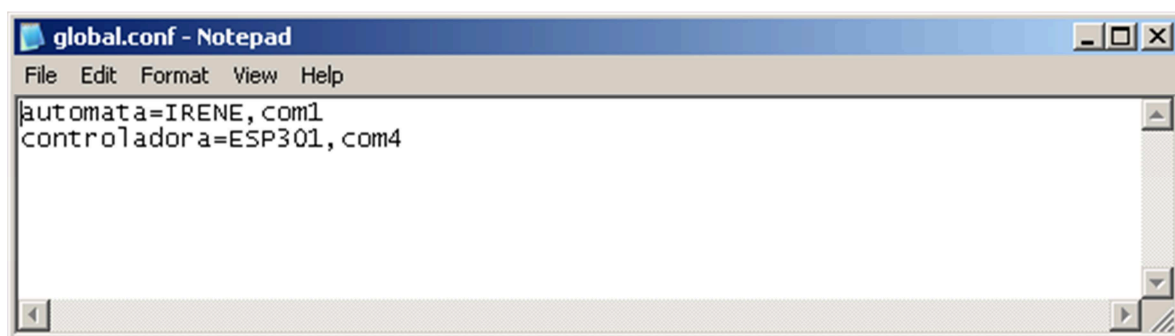
Una vez tenemos colocada la pieza en la posición correcta, encendido el láser y el controlador de la posicionadora, pasamos a la medición de los útiles de soldadura.

Antes de poder medir, tenemos que tener introducidos los ficheros de configuración en la carpeta correspondiente, que en nuestro caso será c: planitud/útil/US\_\_\_\_\_.



*Figura 27 Anexo III. Ubicación archivo planitud.*

Hay que tener en cuenta que con dicho sistema de medición no solo se miden útiles de soldadura. Por ello hay un archivo en la carpeta planitud llamado global.conf, en el cual se especifica con qué tipo de autómatas vamos a medir (IRENE o SPOC) y qué tipo de conexión tenemos (GPIB o RS232). En nuestro caso utilizaremos IRENE, y el tipo de conexión que utilizemos nos será indiferente.



*Figura 28 Anexo III. Fichero global.conf.*

El siguiente paso será abrir el ejecutable del controlador del autómatas y en él introduciremos el nombre del útil que queramos medir.

## Anexo III

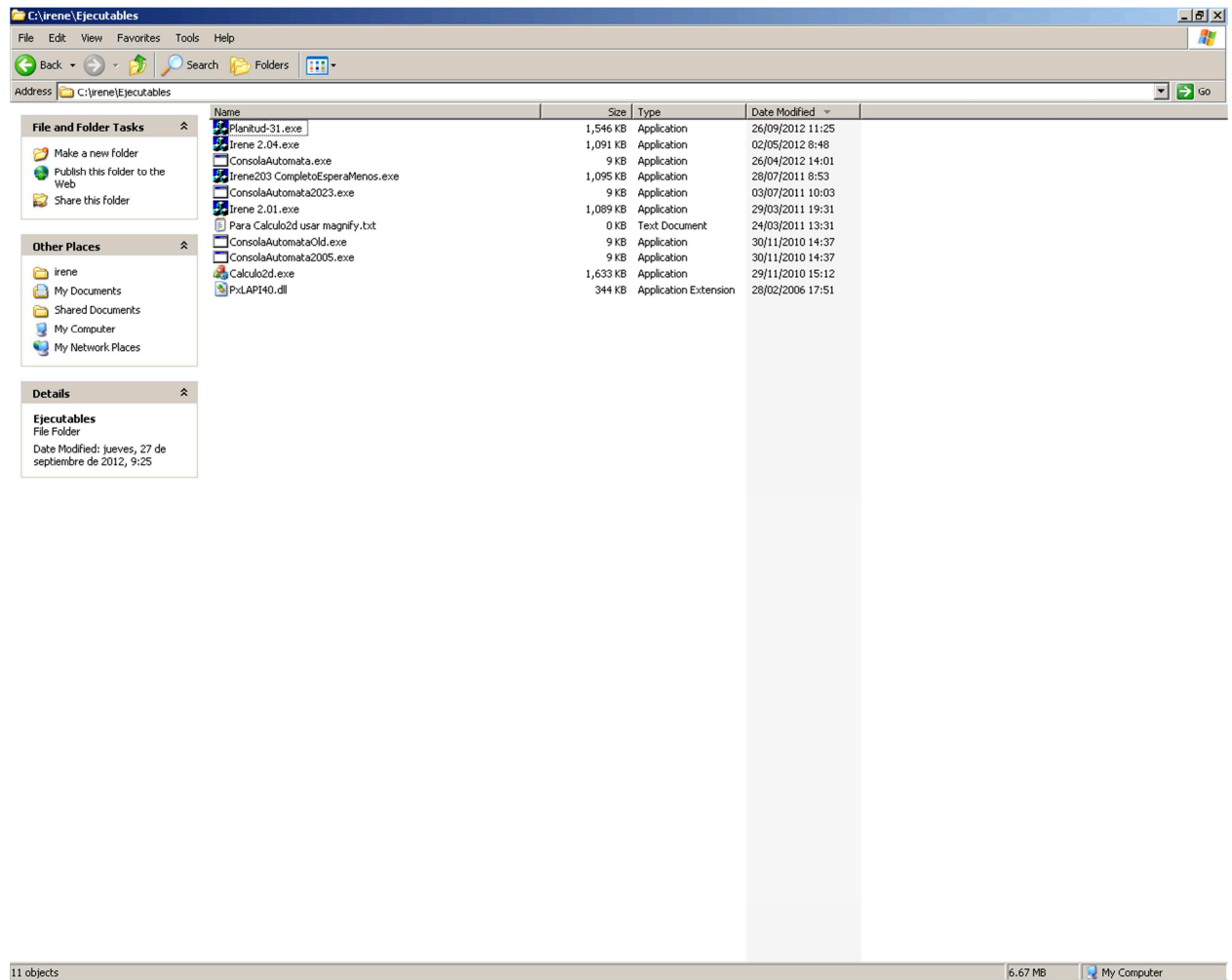


Figura 29 Anexo III. Ubicación del autómata.

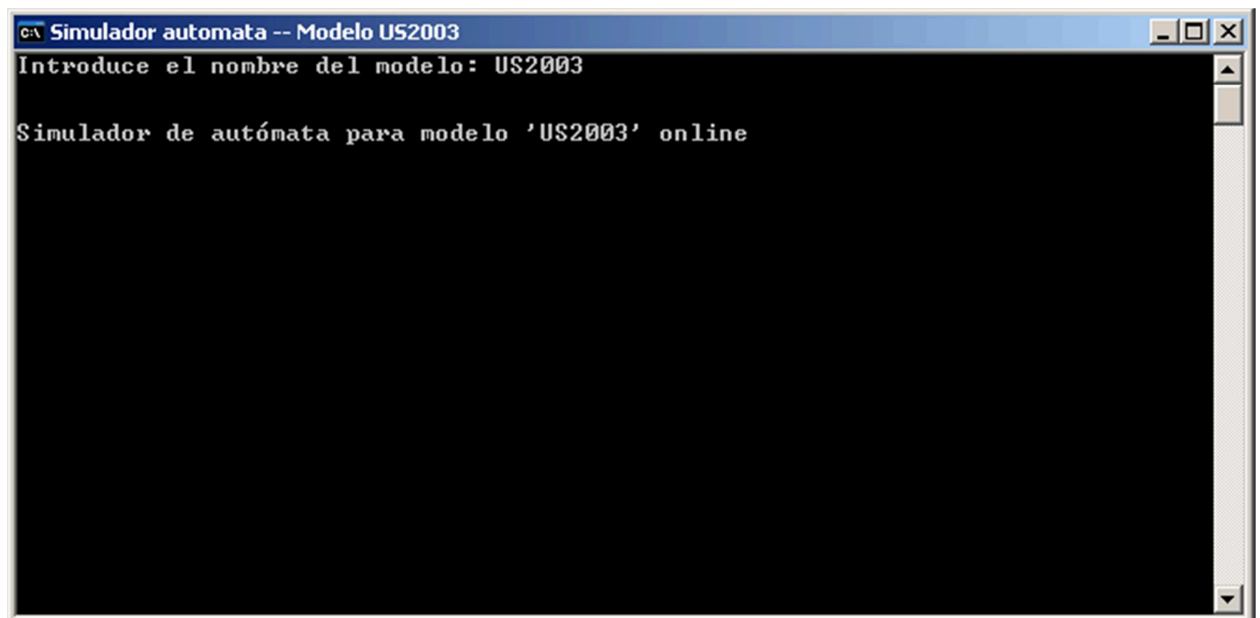


Figura 30 Anexo III. Autómata.

Una vez abierto el controlador, se abre el programa IRENE y se selecciona el útil que se desea medir.



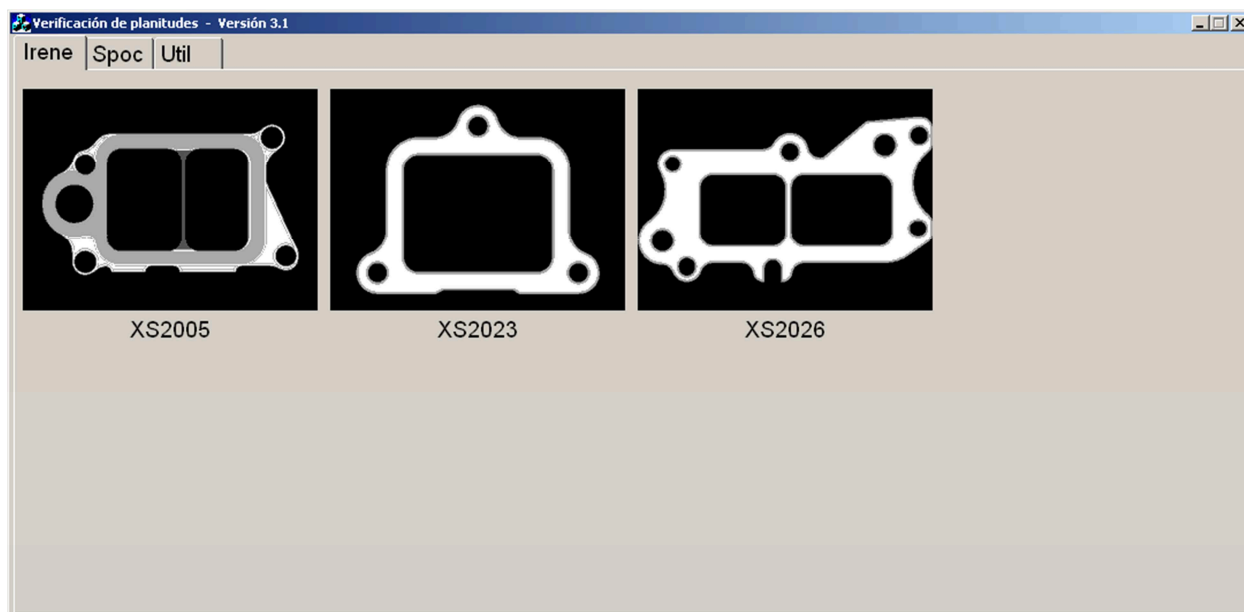


Figura 31 Anexo III. Selección de pieza.

Finalmente, para poder medir con la máquina, esperamos a que nos pida la instrucción M000 y la introducimos mediante el ejecutable del controlador del autómat. Seguidamente nos pedirá la instrucción M001 y la introducimos de igual modo. Si estuviésemos midiendo con SPOC, simplemente tendríamos que ir introduciendo los comandos que nos fuese pidiendo.

Una vez hemos medido la pieza, podremos seleccionar la opción “mapeado”, mediante la cual nos mostrará el mapeado de la planitud de la pieza.

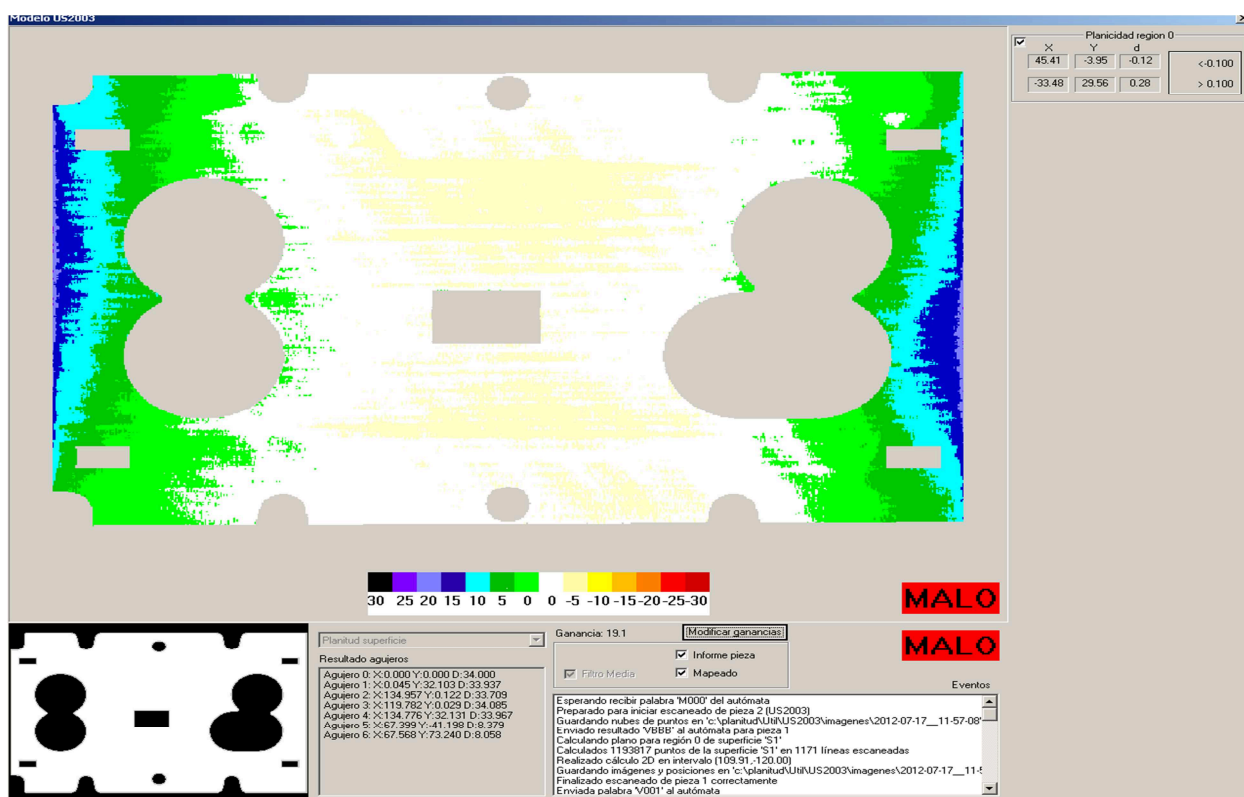


Figura 32 Anexo III. Resultados obtenidos.

Cabe destacar que se puede modificar el archivo planitud para cambiar el modo de trabajo, dependiendo de lo que queramos obtener. Las diversas opciones se encuentran en el manual del programa.

### Anexo III

Para poder tratar los datos posteriormente modificamos el archivo “planitud” para guardar las imágenes de lo que se está capturando.

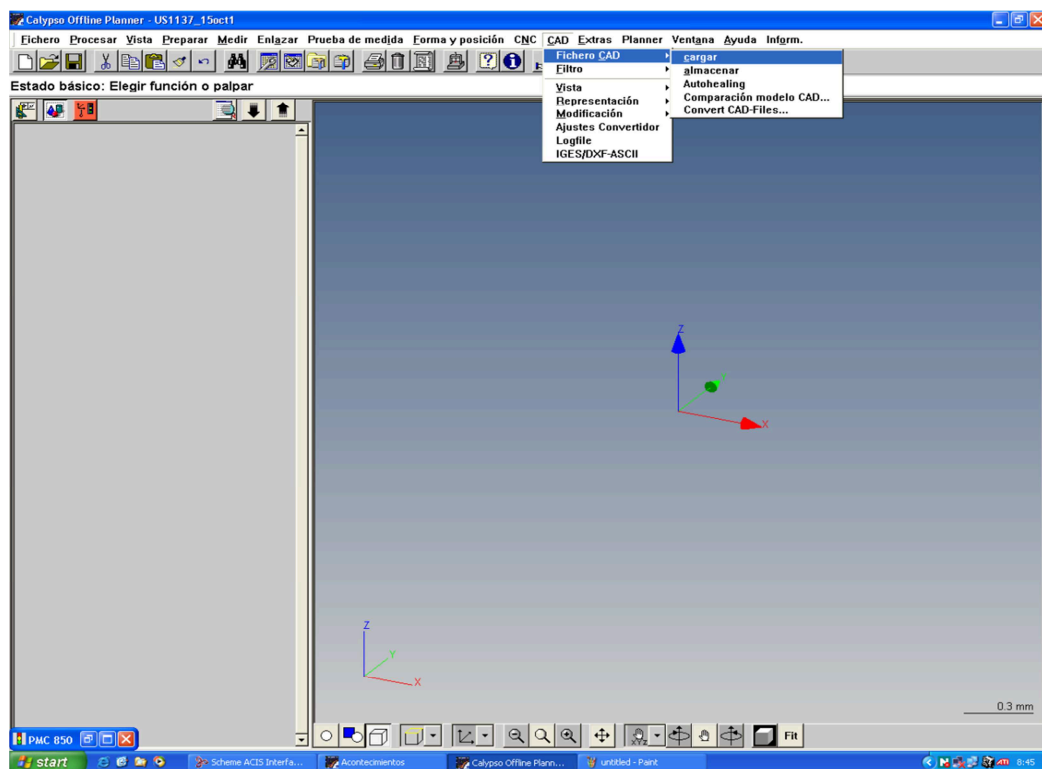
## Anexo IV: Procedimiento de medición: Máquina de medición por coordenadas

En un principio, para poder medir la pieza debemos posicionarla inicialmente en la MMC y fijarla a la mesa. Para hacerlo correctamente, deberemos tener en cuenta no colocar la pieza fuera del rango de medida de la MMC.



*Figura 1 Anexo IV. Pieza posicionada.*

Abrimos el programa Calypso y cargamos el archivo CAD de la pieza que vamos a medir. Vemos que se nos ha cargado la pieza correctamente.



*Figura 2 Anexo IV. Importación de pieza CAD.*

## Anexo IV

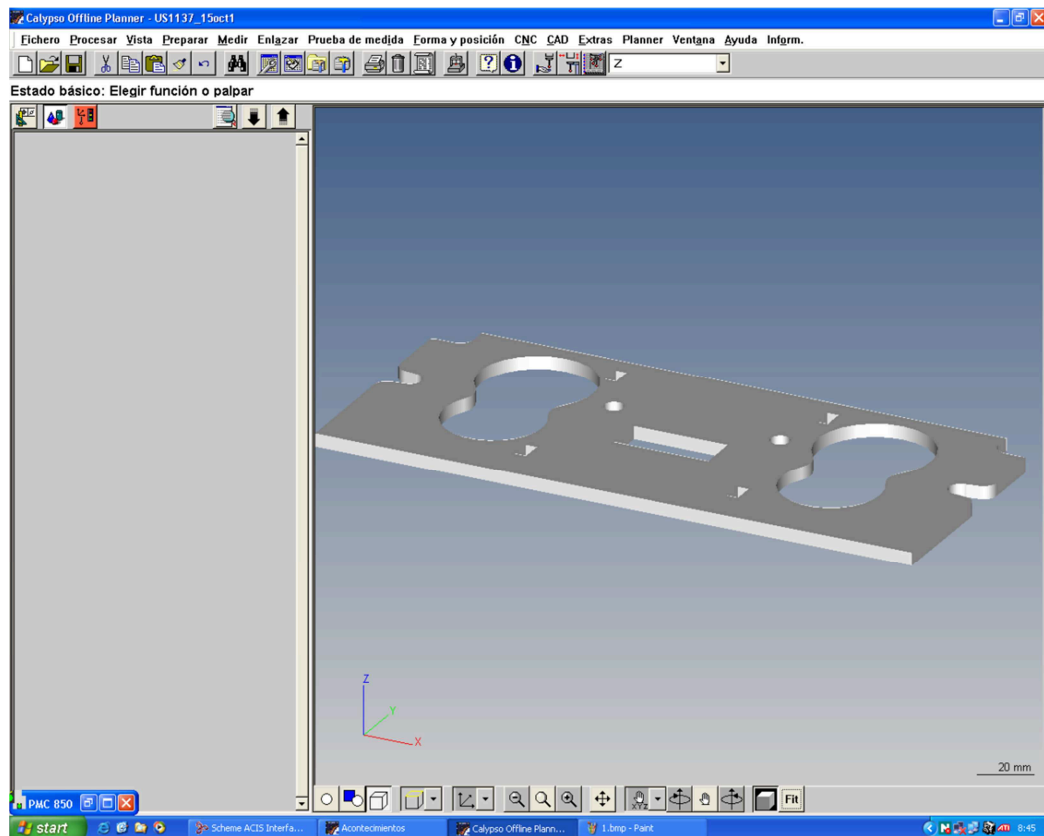


Figura 3 Anexo IV. Pieza CAD importada en Calypso.

El siguiente paso será seleccionar el palpador que vamos a utilizar y que hemos calibrado previamente.

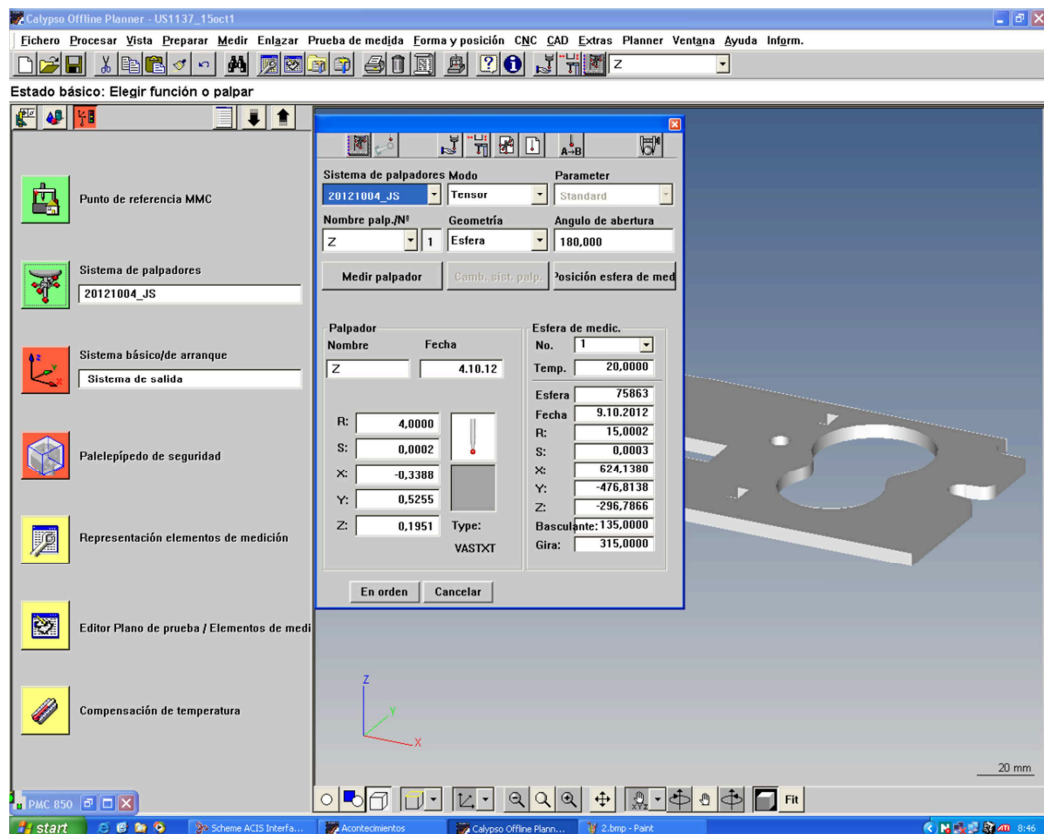


Figura 4 Anexo IV. Elección de palpador.



Una vez calibrado el palpador, tendremos que posicionar la pieza real que hay sobre la mesa para poder trasladar el CAD a las coordenadas correctas. Para ello, nos definimos un plano y medimos sobre la pieza aproximadamente unos 10 puntos para generar dicho plano.

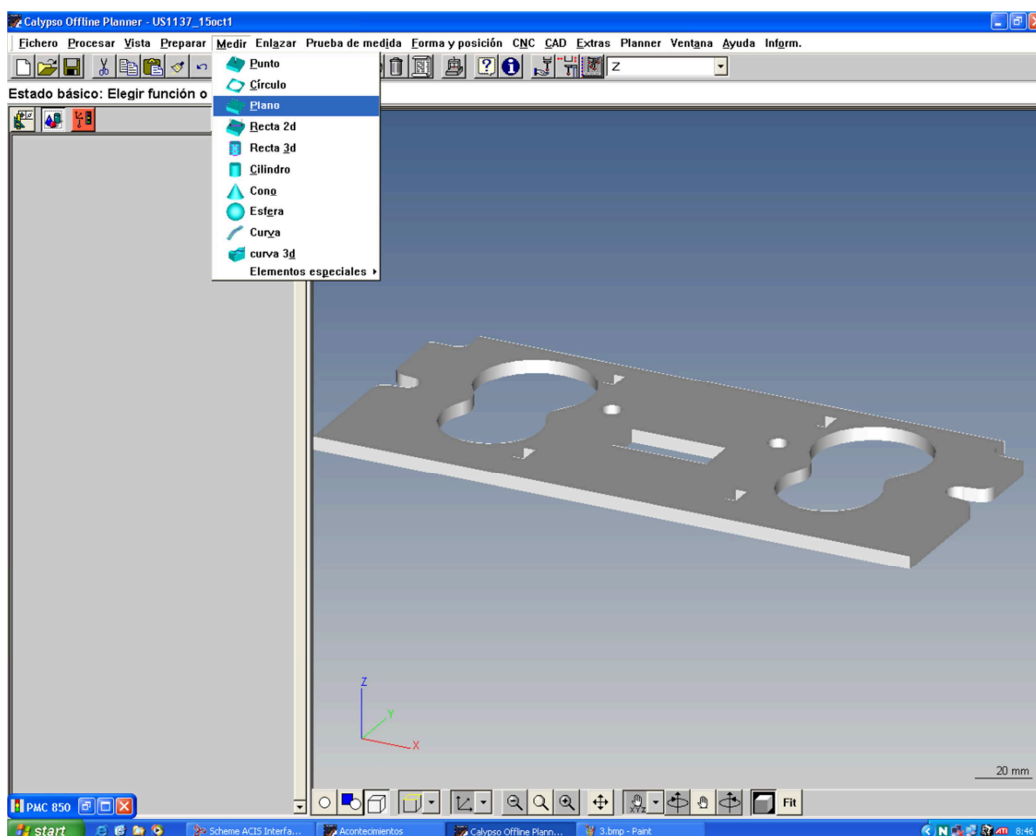


Figura 5 Anexo IV. Creación de plano de referencia.

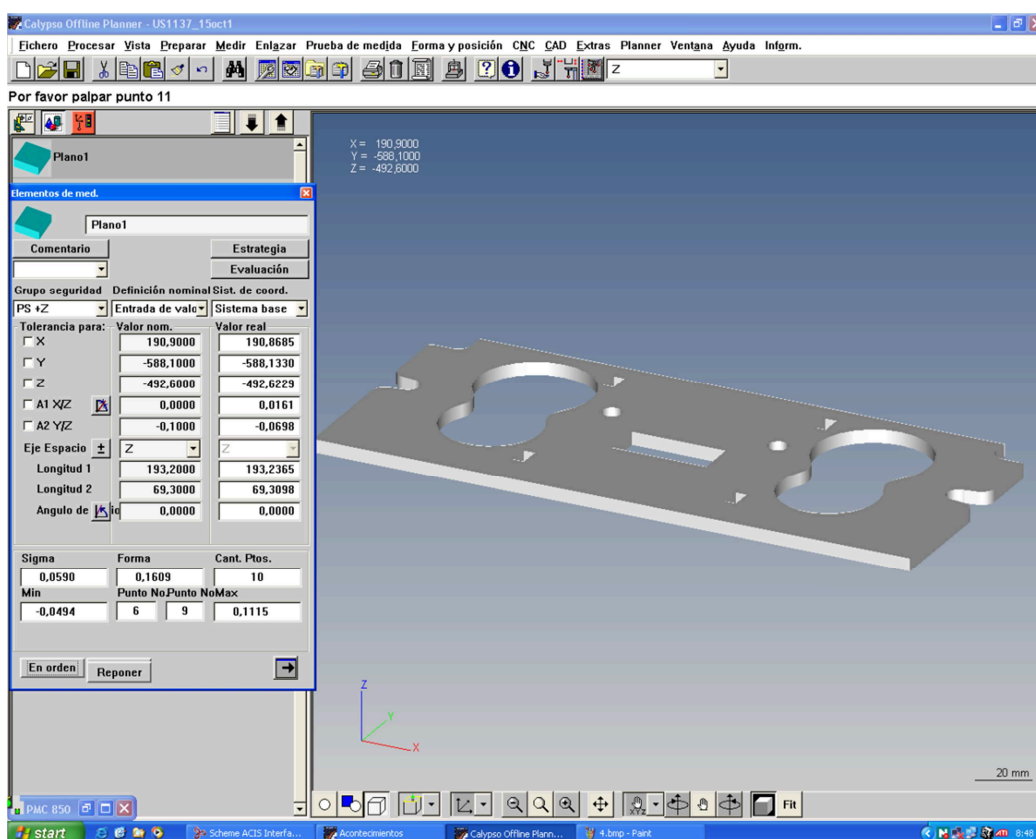
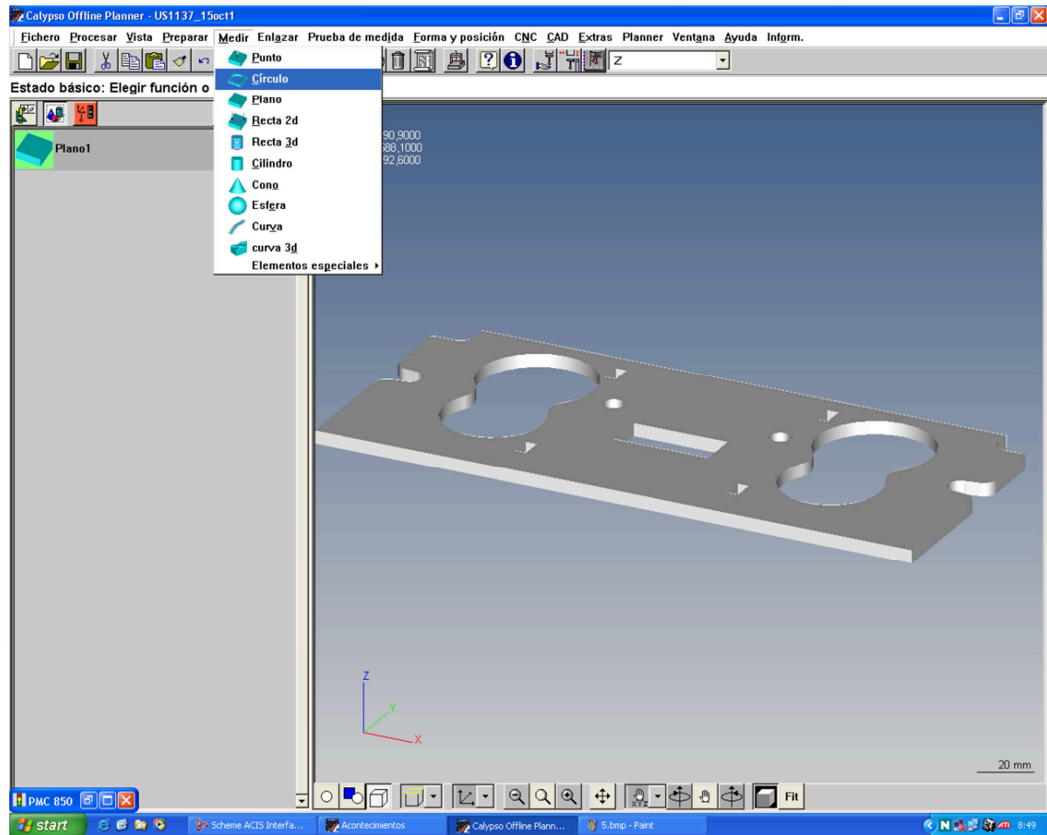


Figura 6 Anexo IV. Medición de plano de referencia.

## Anexo IV

Posteriormente, definimos y medimos el círculo con proyección en el plano creado. Este círculo será el que hemos dado como origen en la plantilla, mediante unos 8 puntos aproximadamente. También medimos otro círculo mediante el mismo proceso, el cual nos servirá para generar una recta que será uno de los ejes de nuestro sistema de coordenadas.



*Figura 7 Anexo IV. Creación de círculos de referencia*

Hay que tener en cuenta que, al medir los círculos, el plano de proyección que elegiremos será el plano medido anteriormente.

Una vez tengamos los dos círculos, el siguiente paso será crear una recta con proyección también en el plano anterior. Dicha recta la realizaremos mediante retrollamada con los dos círculos creados anteriormente.

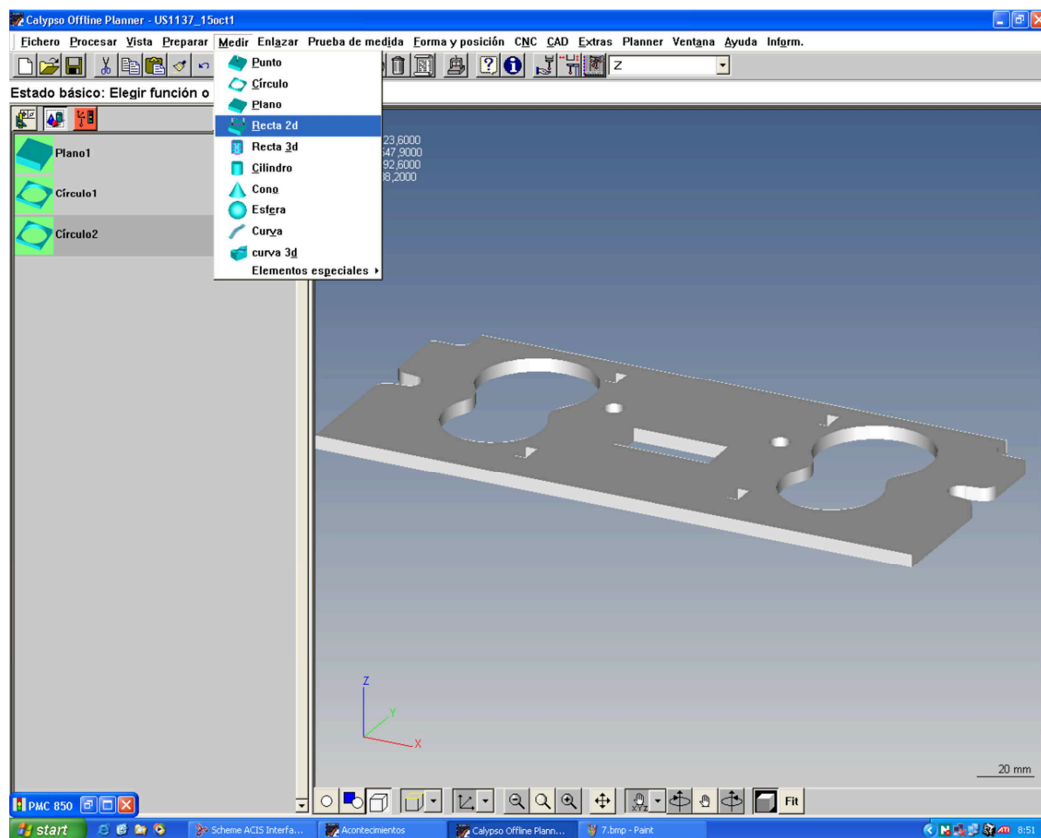


Figura 8 Anexo IV. Creación línea de referencia.

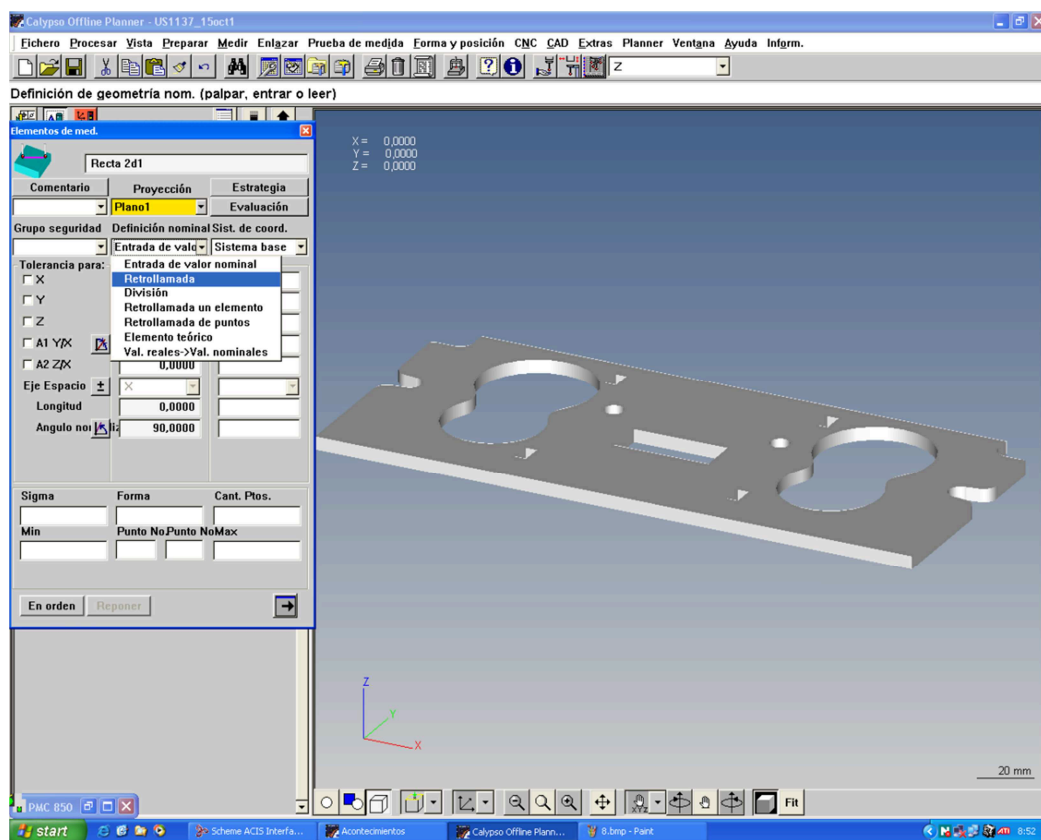


Figura 9 Anexo IV. Definición de recta.

## Anexo IV

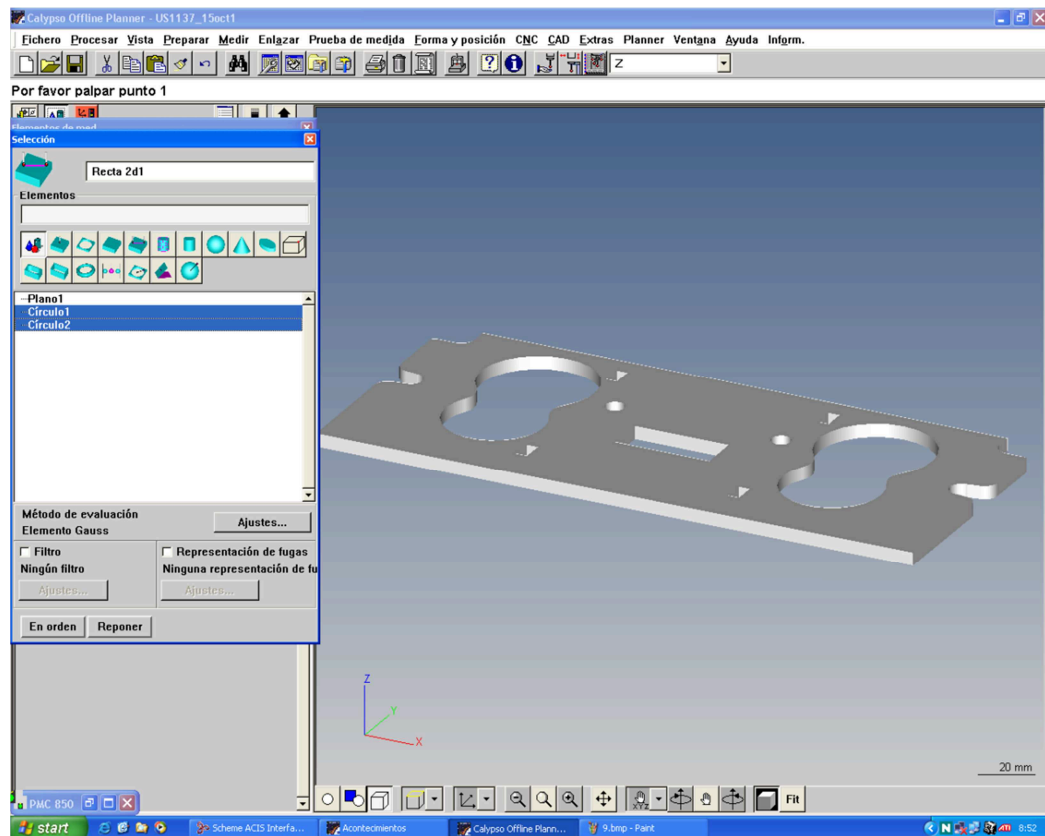


Figura 10 Anexo IV. Definición de elementos de retrollamada.

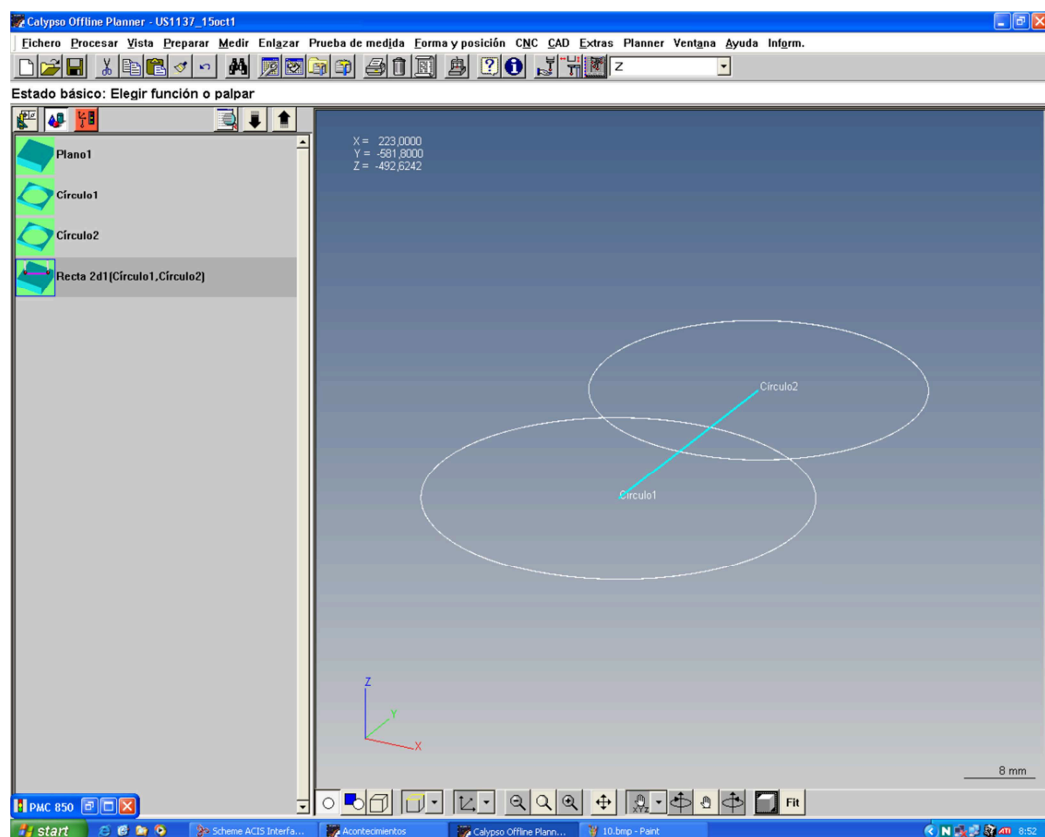


Figura 11 Anexo IV. Plano, círculos y recta medidos de la pieza.

Con estos elementos definidos, creamos nuestro eje de coordenadas, donde nuestro eje Z será la normal al plano, el eje X o Y lo constituirá la recta que une los dos círculos y el centro del sistemas de referencia será el centro del agujero que tenemos de origen.

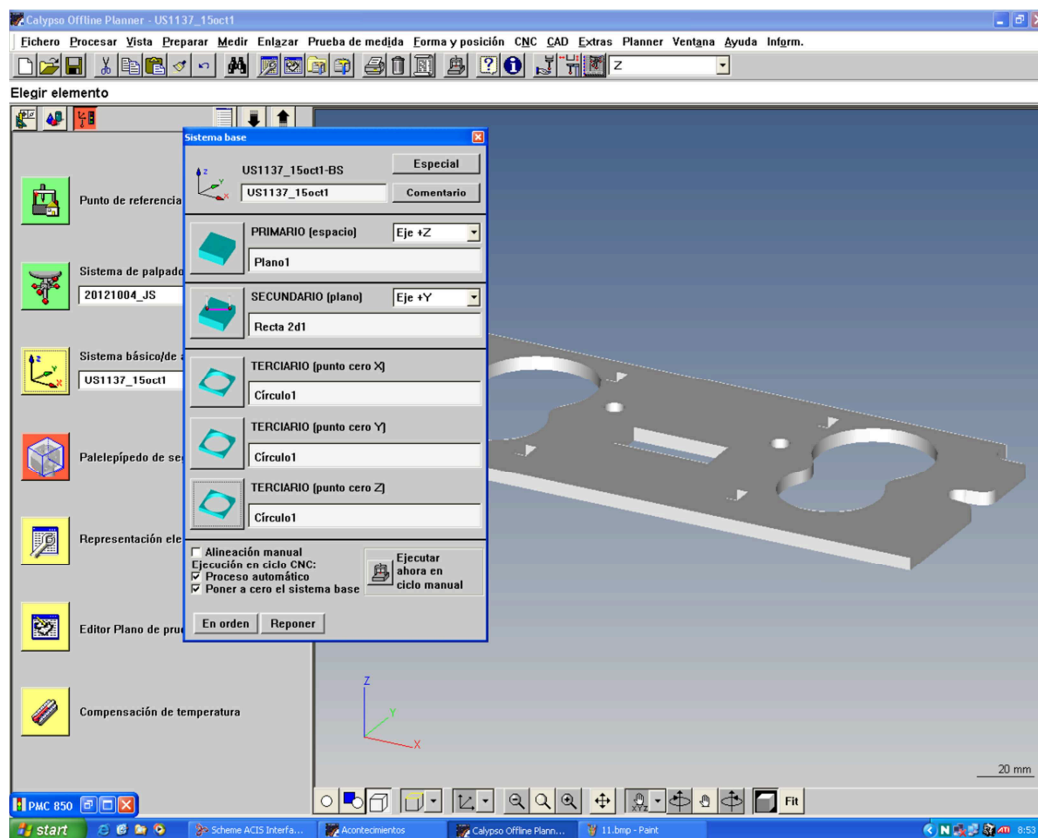


Figura 12 Anexo IV. Definición de ejes de coordenadas.

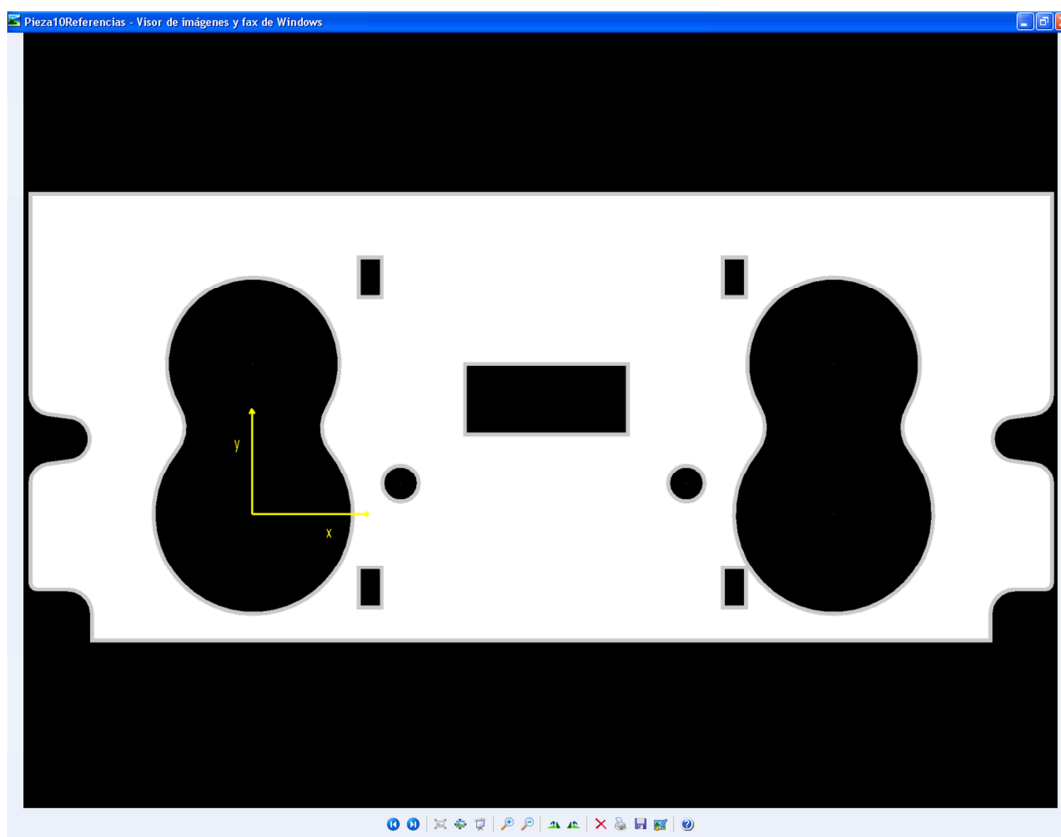


Figura 13 Anexo IV. Ejes de referencia tomados.

Ya tenemos definido el sistema de coordenadas y el siguiente paso será trasladar la pieza CAD a nuestro sistema de referencia y orientarla correctamente.

## Anexo IV

Para saber dónde se encuentra nuestra pieza CAD respecto a nuestro sistema de referencia debemos definir el círculo que vamos a tomar como origen y mirar cuáles son sus coordenadas.

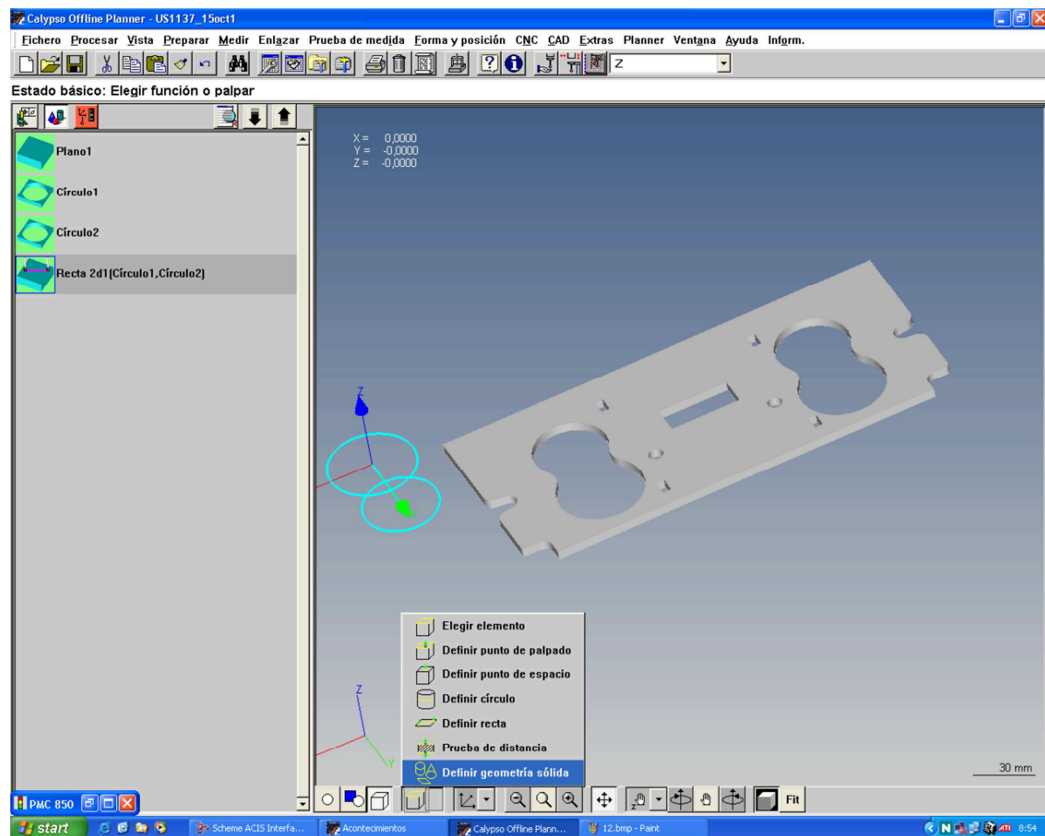


Figura 14 Anexo IV. Definición de geometría sólida

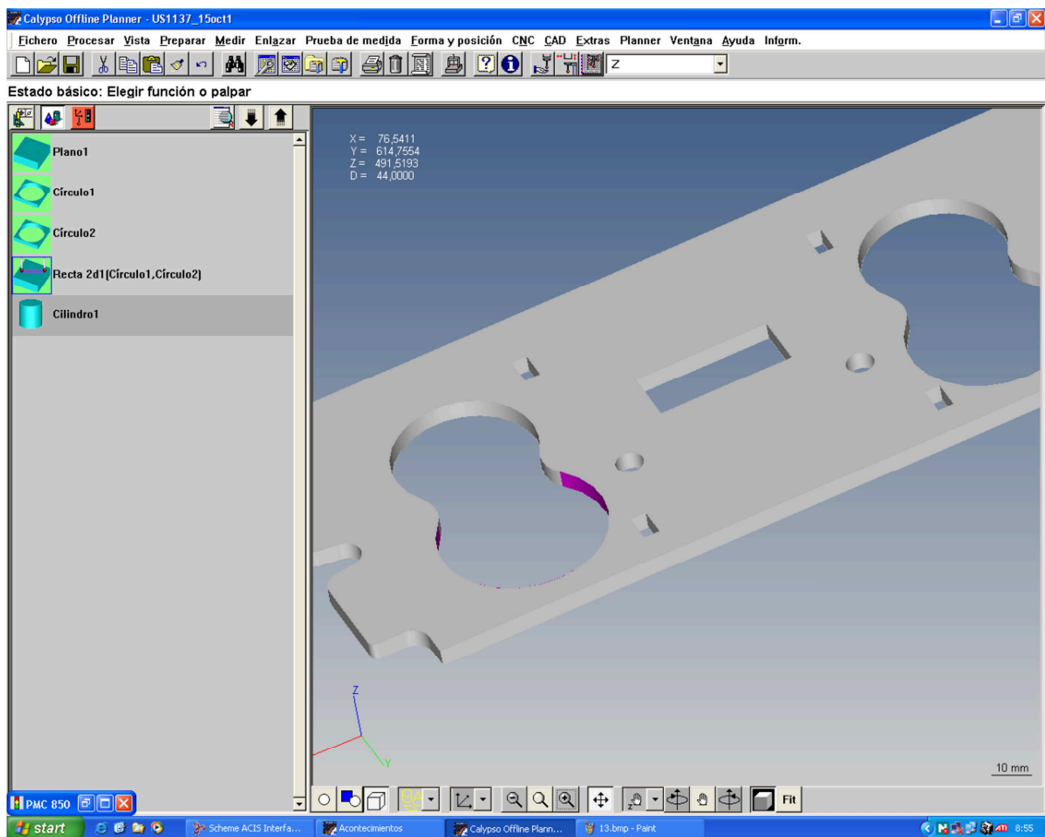


Figura 15 Anexo IV. Definición de cilindro origen.

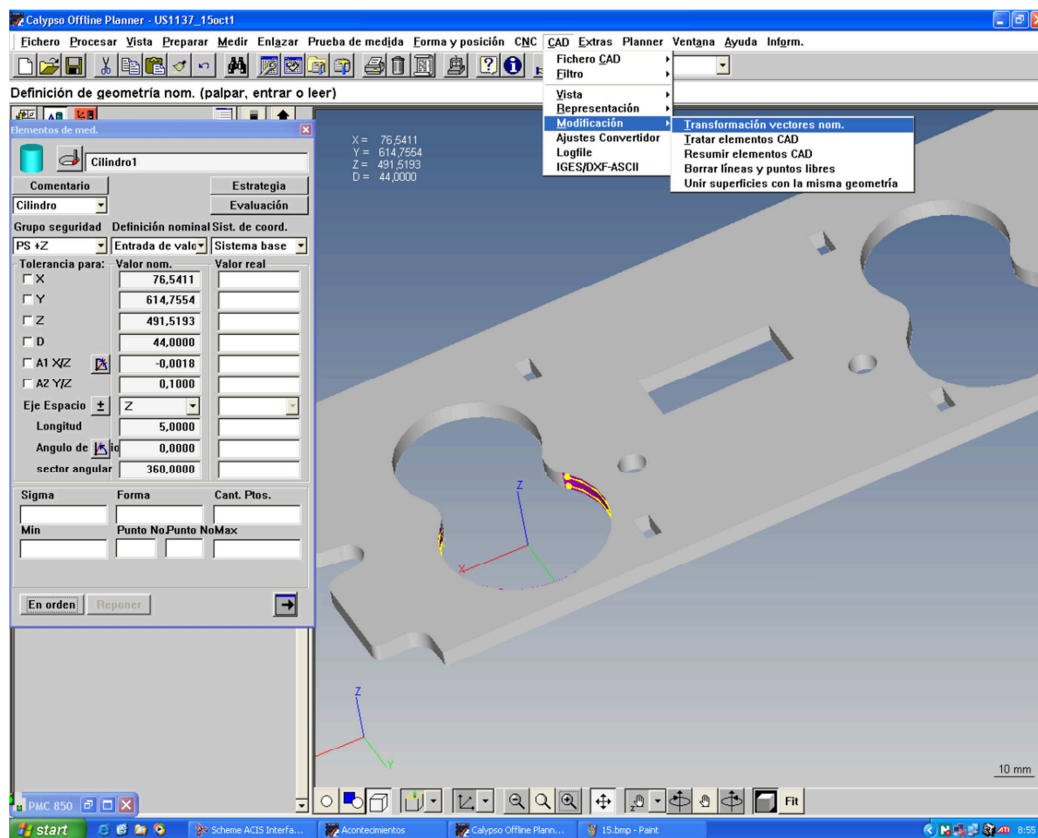


Figura 16 Anexo IV. Valores a modificar.

Para trasladar el círculo debemos fijarnos en las coordenadas XYZ que posee e introducirlas en negativo en el comando de transformación de vectores nominales.

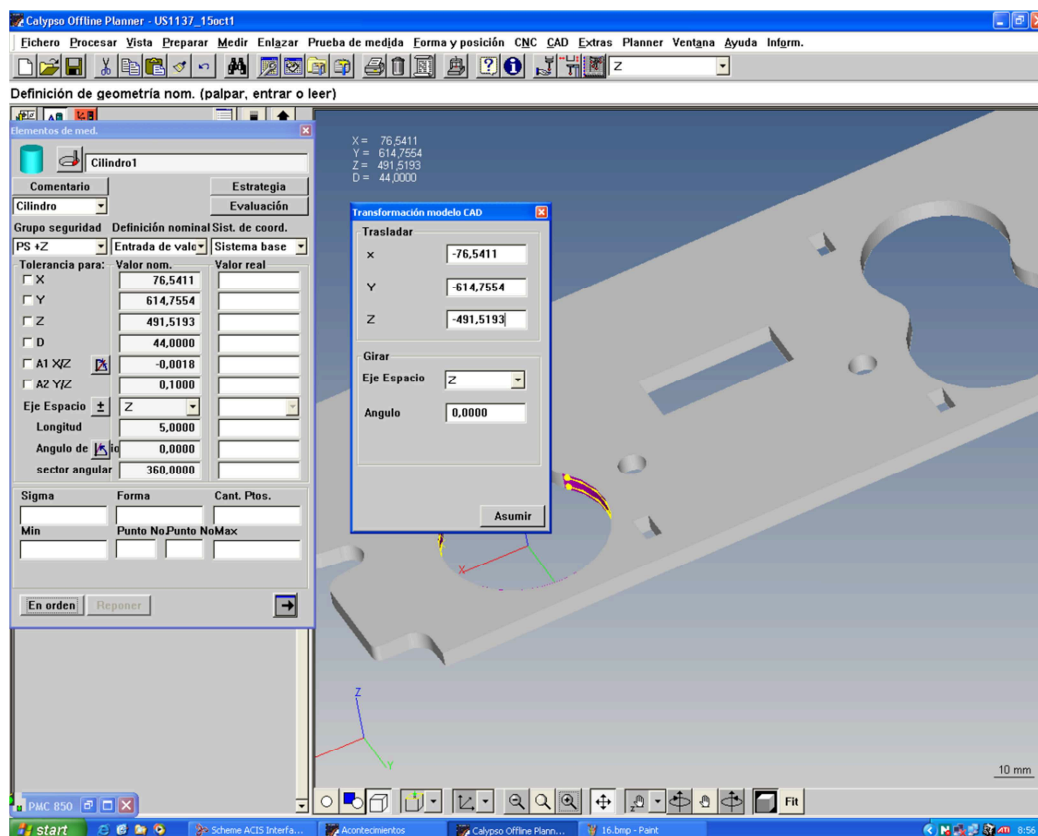


Figura 17 Anexo IV. Modificación de valores.



#### Anexo IV

Repetimos este proceso con los diversos elementos hasta que tengamos perfectamente posicionada y orientada nuestra pieza en nuestro sistema de referencia.

Para que esté perfectamente alineada, las coordenadas que deben de estar a 0 son las siguientes: En el plano serán la coordenada Z y los ejes X e Y, en el cilindro debemos tener a 0 las coordenadas X e Y, finalmente en la recta será el eje Z el que tendremos que poner a 0.

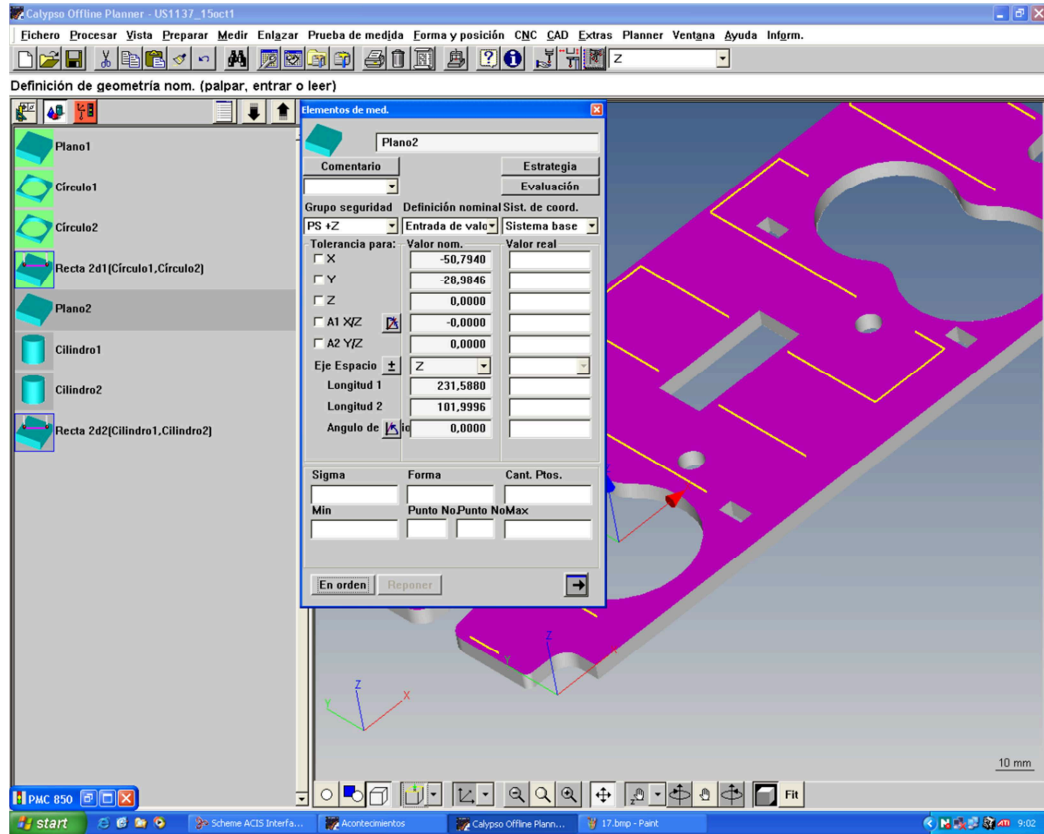


Figura 18 Anexo IV. Plano orientado.



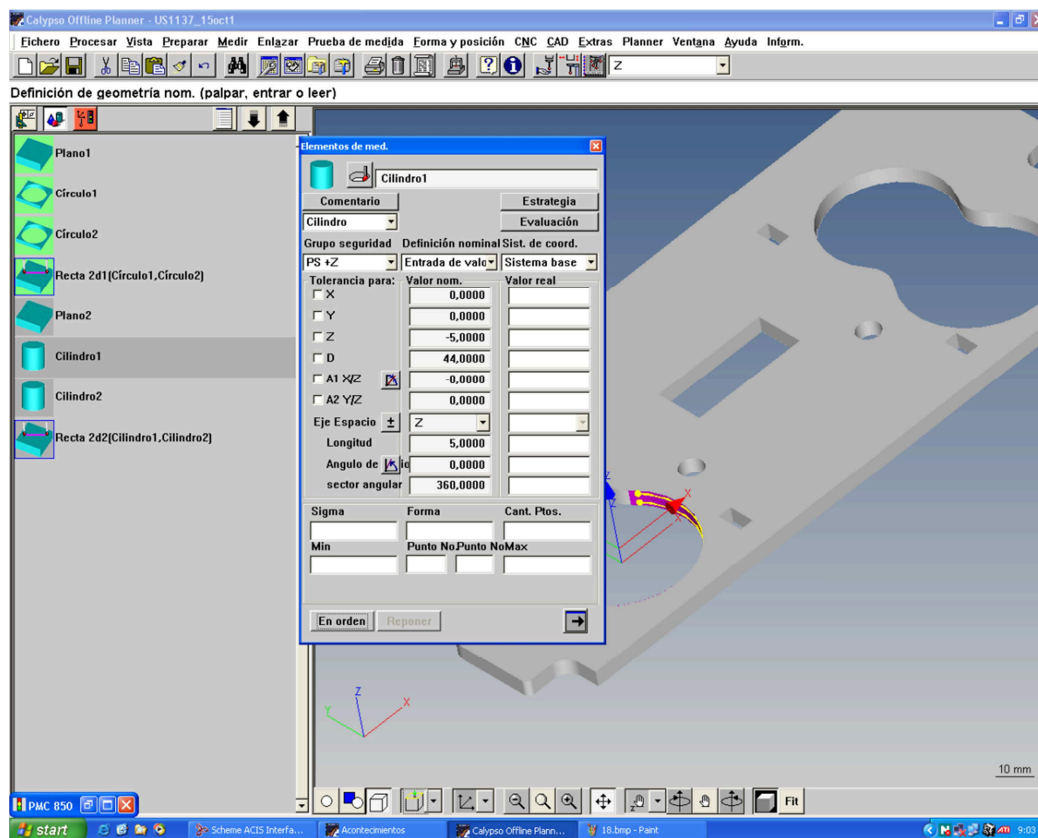


Figura 19 Anexo IV. Cilindro orientado.

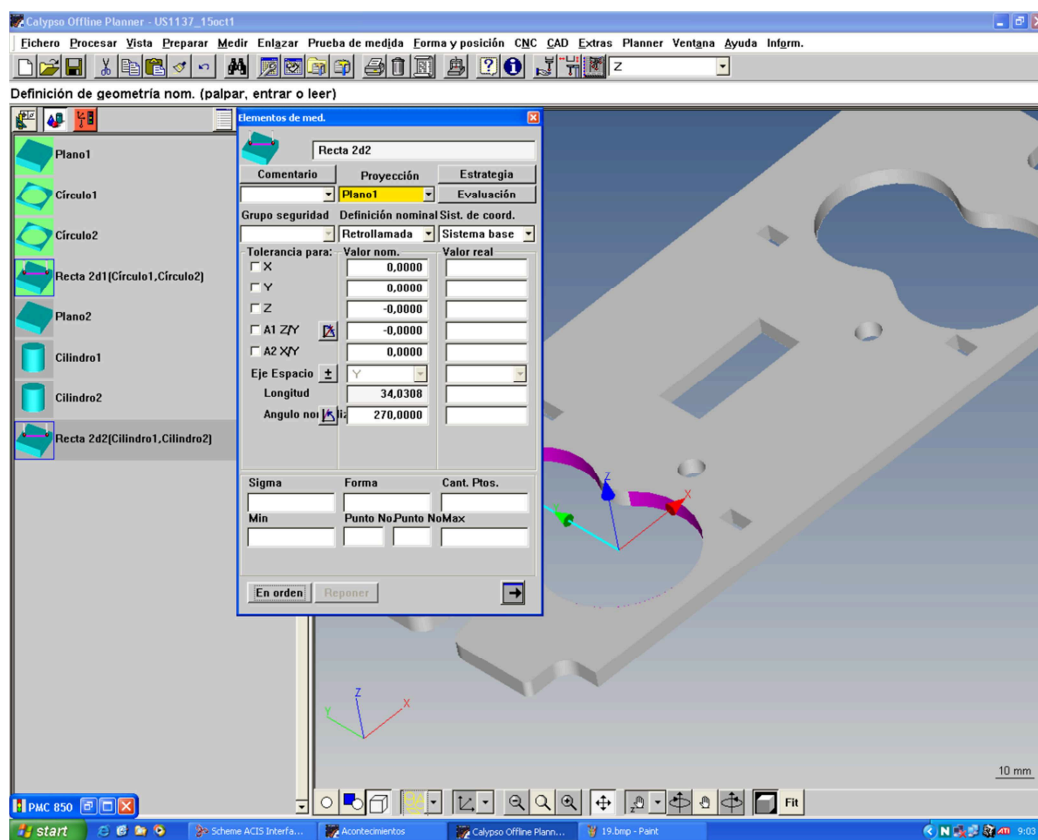


Figura 20 Anexo IV. Recta orientada.

Lo siguiente que debemos hacer es crear el paralelepípedo de seguridad para evitar colisiones cuando midamos automáticamente la planitud de la pieza.

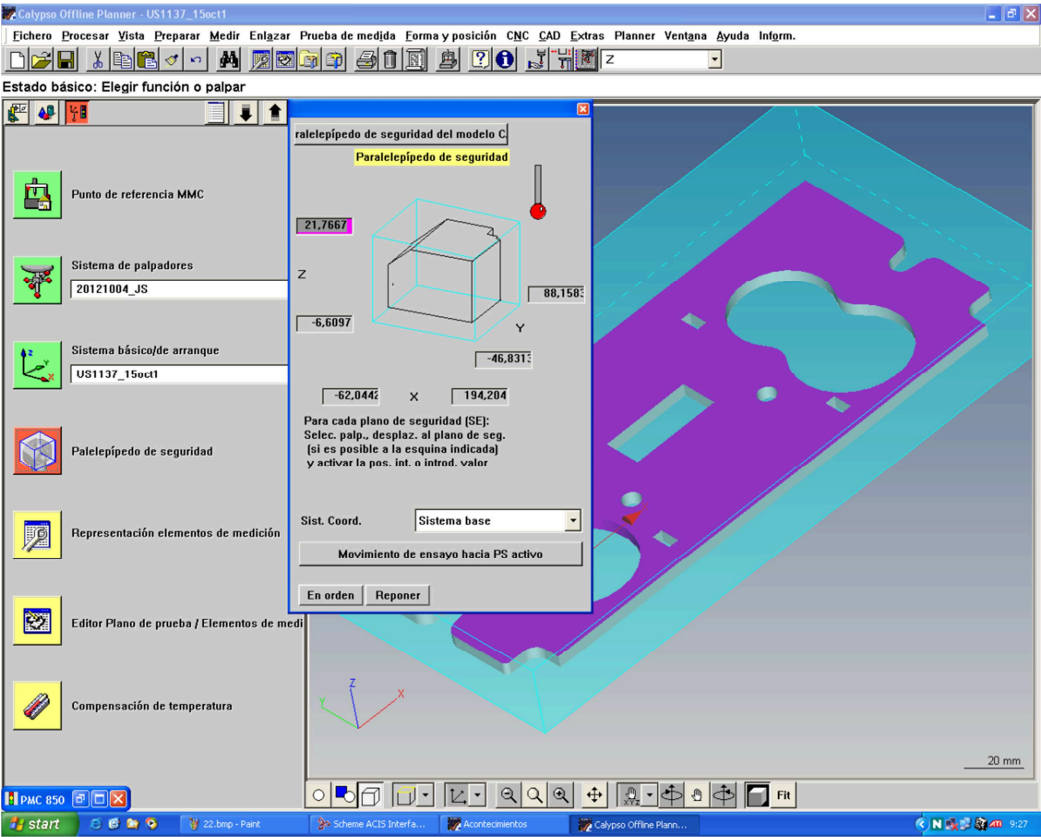


Figura 21 Anexo IV. Definición de paralelepípedo de seguridad.

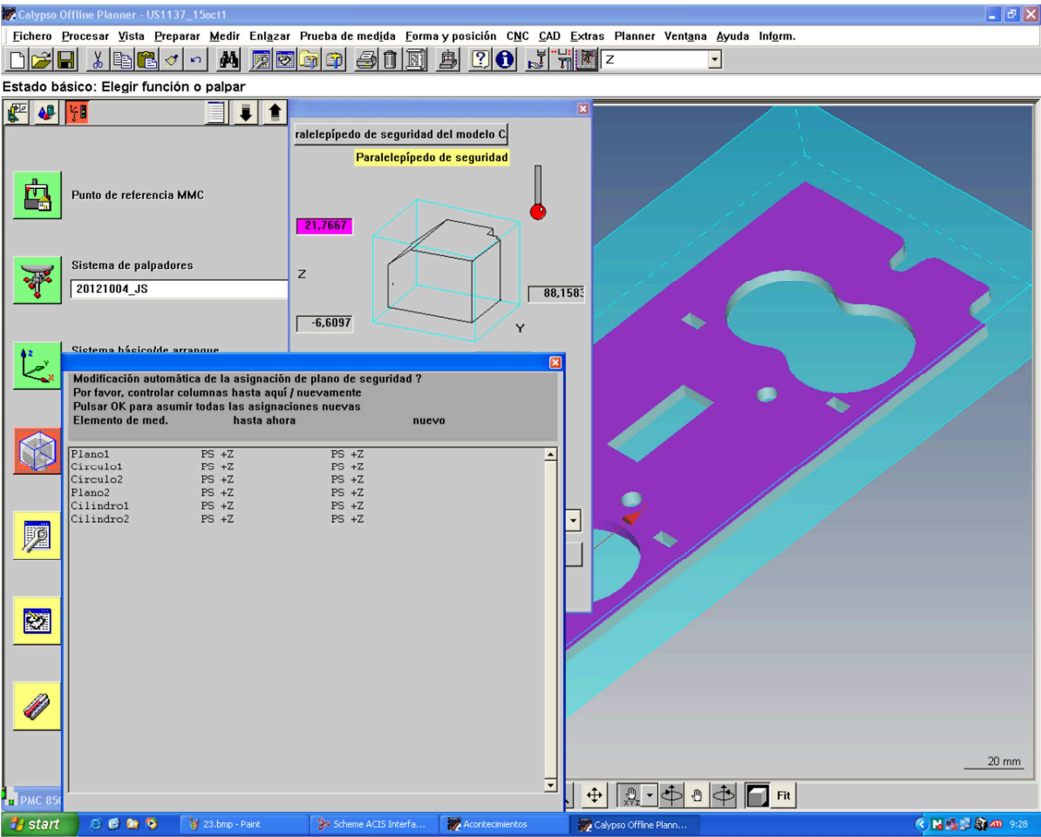


Figura 22 Anexo IV. Definición planos de seguridad.

El último paso es programar el recorrido del palpador para medir nuestra pieza. Definimos el plano que vamos a medir y en la estrategia de medición creamos la retícula del recorrido que va a seguir el palpador.

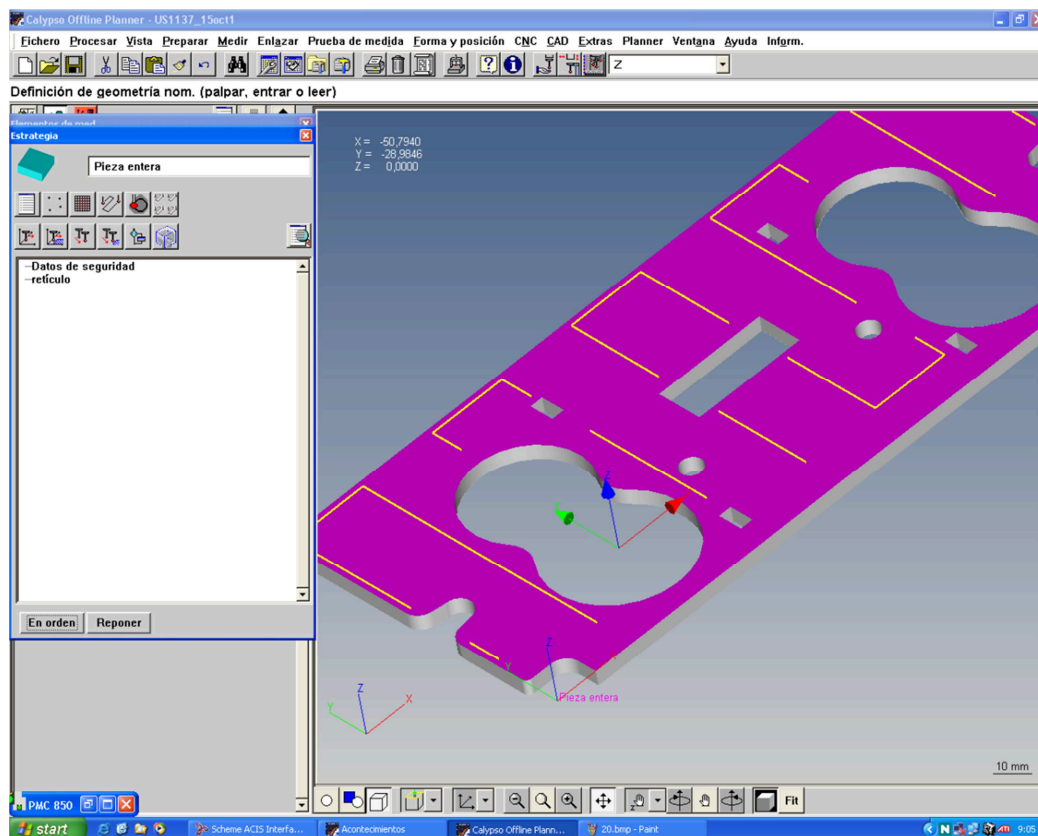


Figura 23 Anexo IV. Definición estrategia de palpado.

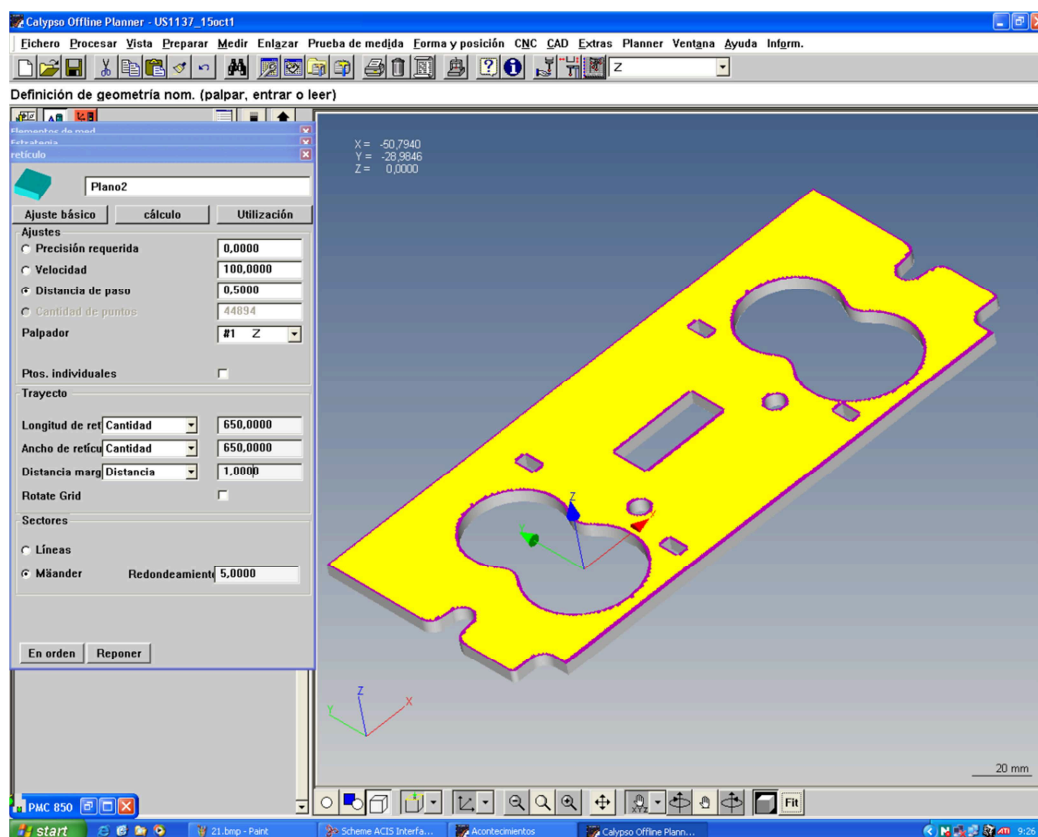


Figura 24 Anexo IV. Parámetros de palpado.

#### Anexo IV

Hay que tener en cuenta que si ponemos muchos puntos de palpado nos surgirán problemas de falta de memoria y nos dará errores. Para este caso hemos elegido tanto longitud de retícula de 650, distancia de paso 0,5 mm y distancia de margen 1 mm.

Finalmente medimos nuestra pieza en Arranque CNC.

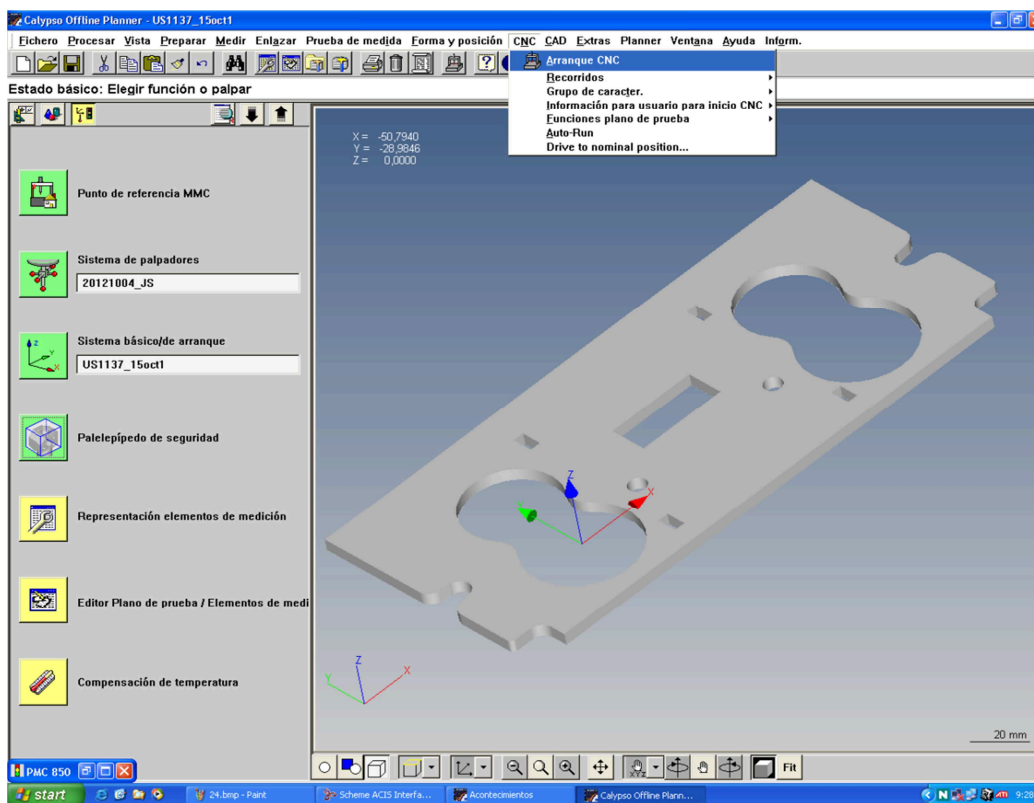


Figura 25 Anexo IV. Arranque CNC.

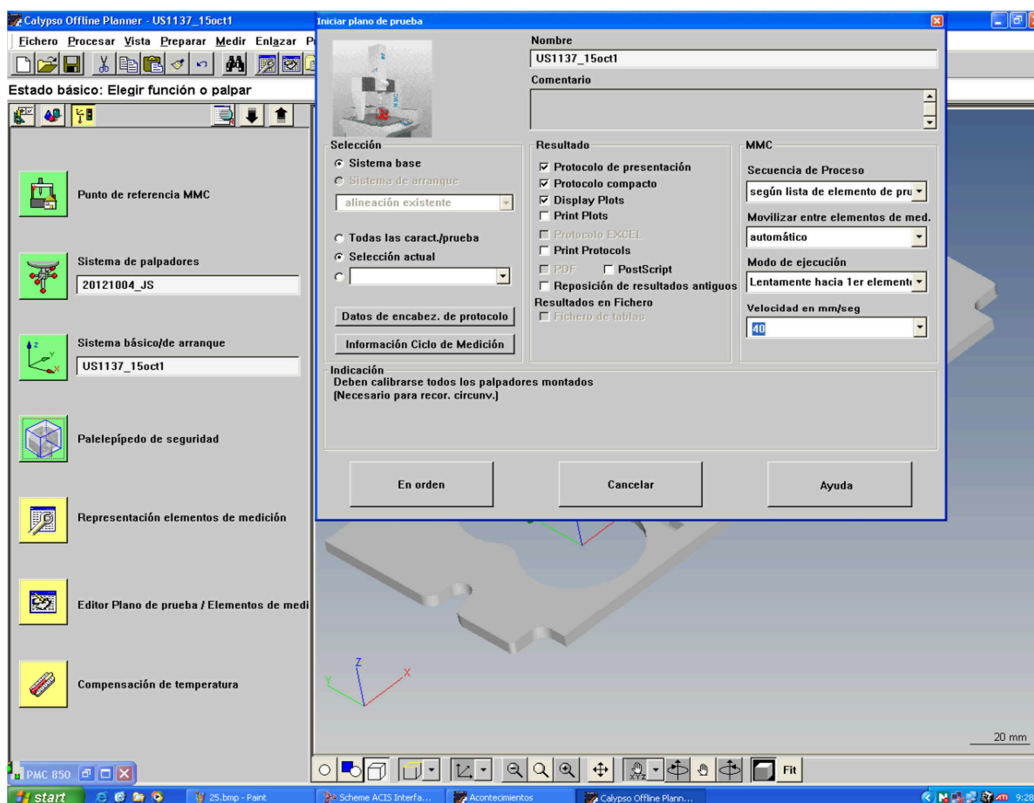


Figura 26 Anexo IV. Parámetros de palpado.

La velocidad será de 40 mm/seg.

En el caso de que se quiera medir una zona concreta de la pieza como es el caso de los círculos producidos por el desgaste del intercambiador de calor, el proceso sería el siguiente:

Sobre la pieza medimos tres puntos, los cuales nos servirán para generar el plano que queremos medir. Medimos un plano mediante retrollamada e introducimos los 3 puntos medidos anteriormente. Generamos la estrategia de medida y finalmente medimos.

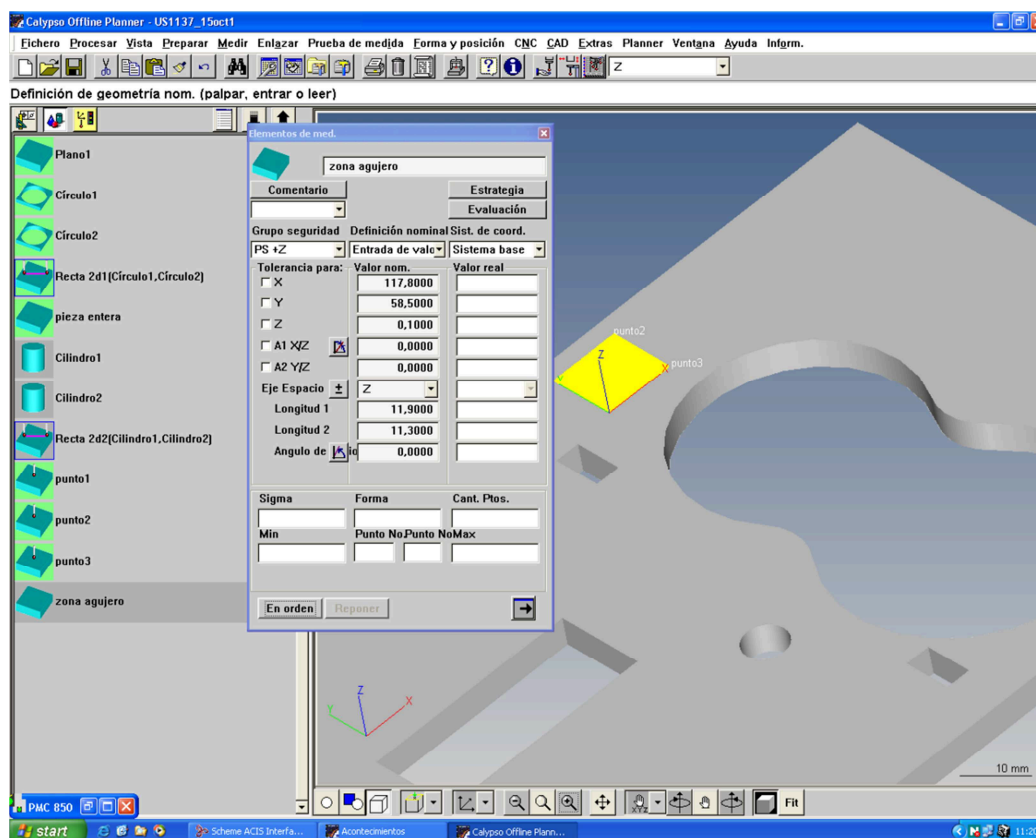


Figura 27 Anexo IV. Medición de zona de círculo.



## Anexo V: Programas Matlab

---

A continuación se van a mostrar cuales son los distintos programas a implementar en Matlab para poder estudiar los datos obtenidos tanto con la MMV como con la MMC.

- **Programa 1:** Con este programa conseguiremos realizar el mapeado de toda la pieza, así como los datos de cada uno de los puntos obtenidos mediante la matriz obtenida llamada “data”.

```
clear
clc
fname='C:\Users\JAVIER\Desktop\PFC\US1137\g19,1\2012-07-09__12-46-34\S1\Output3D.ply';
HEADERLINES_3D=11;
fimportfile(fname, HEADERLINES_3D);%out:data
point_size=5;
figure;
scatter3(data(:,1),data(:,2),data(:,3),point_size,data(:,6),'filled');axis equal;
xlabel('X');ylabel('Y');zlabel('d[mm]');
view(0,90);
colorbar;
```

Con las funciones “clear” y “clc” borramos todo lo que teníamos anteriormente.

Seguidamente asignamos a fname la ubicación del archivo de datos que queremos abrir, que es “Output3D.ply” generado con la MMV.

“HEADERLINES\_3D” indica el número de líneas que contiene el encabezado del archivo “Output3d.ply”,

Para importar los datos, utilizamos la función llamada “fimportfile”, la cual la adjuntamos a continuación.

Point\_size indica el tamaño de los puntos que queremos dibujar.

Posteriormente con “figure” y “scatter3” dibujamos la gráfica de los datos donde data(:,1), data(:,2) y data(:,3), son las coordenadas de los puntos. Con “axis equal” conseguimos que los ejes tengan las mismas dimensiones.

Los siguientes comandos indican los datos que aparecerán en el gráfico sobre los ejes, la vista que queremos que se muestre y que aparezca la barra de colores.

A continuación se muestra la función “fimportfile” necesaria para poder importar los datos.

```
function fimportfile(fileToRead1, HEADERLINES)
```

```

DELIMITER = ' ';
newData1 = importdata(fileToRead1, DELIMITER, HEADERLINES);
vars = fieldnames(newData1);
for i = 1:length(vars)
    assignin('base', vars{i}, newData1.(vars{i}));
end

```

- **Programa 2:** Este programa es parecido al anterior, salvo que permite delimitar una región concreta del plano, que será la región de interés que someteremos a estudio.

```

clear
clc

fname='C:\Users\JAVIER\Desktop\PFC\US1137\g19,1\2012-07-09__12-46-34\S1\Output3D.ply';
HEADERLINES_3D=11;
fimportfile(fname, HEADERLINES_3D);
Xini=150;Xfin=170;
Yini=32;Yfin=40;
tama=size(data,1);
contador=0;
for (i=1:tama)
    if( (Xini<data(i,1)) && (Xfin>data(i,1)))
        if( (Yini<data(i,2)) && (Yfin>data(i,2)))
            contador=contador+1;
            ROI(contador,:)=data(i,:);
        end
    end
end

point_size=5;
figure;
scatter3(ROI(:,1),ROI(:,2),ROI(:,3),point_size,ROI(:,6),'filled');axis equal;
xlabel('X');ylabel('Y');zlabel('d[mm]');
colorbar;
figure;
plot3(ROI(:,1),ROI(:,2),ROI(:,3),'-b.');
```



```

grid;xlabel('X');ylabel('Y');zlabel('d[mm]');
line_max = find(ROI(:,6)==max(ROI(:,6)))
Datos=[mean(ROI(:,6)),std(ROI(:,6)),max(ROI(:,6)),min(ROI(:,6)),(max(ROI(:,6))-
min(ROI(:,6))), (ROI(line_max,1)), (ROI(line_max,2))]

```

En este programa se realiza un bucle entre las coordenadas X e Y de estudio para poder generar la región de interés (ROI) que contiene los datos necesarios para el estudio de dicha zona.

Además genera una segunda gráfica “plot” y se obtiene el vector “Datos” en el que se encuentran distintos valores: [Media, Desviación estándar, Máximo, Mínimo, Recorrido, Coordenada X del máximo, Coordenada Y del máximo]. Previamente, para poder localizar la línea de la matriz “ROI” donde se encuentra el máximo, se define “line\_max” que nos proporciona dicha línea.

- **Programa 3:** Este programa es similar al anterior, salvo que en vez de aislar la región con las coordenadas X e Y, lo hace mediante la coordenada Y y las líneas indicadas.

```

clear
clc
fname='C:\Users\JAVIER\Desktop\PFC\US1137\g19,1\2012-07-09__12-46-
34\S1\Output3D.ply';
HEADERLINES_3D=11;
fimportfile(fname, HEADERLINES_3D);%out:data
Lini=316;Lfin=321;
Yini=58;Yfin=68;
figure
plot(data(:,1),data(:,4));xlabel('X');ylabel('lin');grid;
tama=size(data,1);
detectado_ini = false;
for (i=1:tama)
    if ( ((Lini)==data(i,4)) && detectado_ini==false)
        lini=i;
        detectado_ini = true;
    end
    if(Lfin==data(i,4))
        lfin=i;
    end
    if(Lfin<data(i,4))
        break;
    end
end

```

```

end
end
ROI_L=data(lini:lfin,:);
tama=size(ROI_L,1);
contador=0;
for (i=1:tama)
    if( (Yini<ROI_L(i,2)) && (Yfin>ROI_L(i,2)))
        contador=contador+1;
        ROI(contador,:)=ROI_L(i,:);
    end
end
point_size=5;
figure;
scatter3(ROI(:,1),ROI(:,2),ROI(:,3),point_size,ROI(:,6),'filled');axis equal;
xlabel('X');ylabel('Y');zlabel('d[mm]');
colorbar;
figure;
plot3(ROI(:,1),ROI(:,2),ROI(:,3),'-b. ');
axis equal;
grid;xlabel('X');ylabel('Y');zlabel('d[mm]');
line_max = find(ROI(:,6)==max(ROI(:,6)))
Datos=[mean(ROI(:,6)),std(ROI(:,6)),max(ROI(:,6)),min(ROI(:,6)),(max(ROI(:,6))-
min(ROI(:,6))),ROI(line_max,1)),ROI(line_max,2)]]

```

- **Programa 4:** A partir del vector de puntos obtenido con la MMC, calcula el plano que mejor se ajusta a dichos puntos por mínimos cuadrados y además calcula la distancia de dichos puntos al plano.

Este programa se utiliza para los datos obtenidos de la MMC consiguiendo obtener la distancia de cada uno de los puntos al plano. Para su posterior tratamiento se utilizan también los programas anteriores. Puesto que en este caso el archivo de los datos es distinto que el anterior, los datos obtenidos los pegaremos en un fichero de texto y los importaremos directamente desde el menú de Matlab.

```

function [cosdir,cD,dist] = fPlanoMC (puntos)
tama=size(puntos);
Sxx=0; Syy=0 ;Szz=0 ;Sx=0; Sy=0; Sz=0; Sxy=0; Sxz=0; Syz=0;
iini = 1;

```

```

ifin = tama(1);
n = tama(1);
Sxx=0; Syy=0 ;Szz=0 ;Sx=0; Sy=0; Sz=0; Sxy=0; Sxz=0; Syz=0;
precta = 0;
for i=iini:1:ifin;
    Sxx = Sxx + puntos(i,1)^2;
    Sx = Sx + puntos(i,1);
    Syy = Syy + puntos(i,2)^2;
    Sy = Sy + puntos(i,2);
    Szz = Szz + puntos(i,3)^2;
    Sz = Sz + puntos(i,3);

    Sxy = Sxy + puntos(i,1)*puntos(i,2);
    Sxz = Sxz + puntos(i,1)*puntos(i,3);
    Syz = Syz + puntos(i,2)*puntos(i,3);
end
U1 = [ Sxx Sxy Sx ; Sxy Syy Sy ; Sx Sy n ];%(A;B;-1;D)
Ti1 = [ Sxz ; Syz ; Sz ];
U2 = [ Sxx Sxz Sx ; Sxz Szz Sz ; Sx Sz n ];%(A;-1;C;D)
Ti2 = [ Sxy ; Syz ; Sy ];
U3 = [ Syy Syz Sy ; Syz Szz Sz ; Sy Sz n ];%(-1;B;C;D)
Ti3 = [ Sxy ; Sxz ; Sx ];
DU1=det(U1); DU2=det(U2); DU3=det(U3);
if (DU1 == max([DU1 DU2 DU3]))%(A;B;-1;D)
    res = inv(U1)*Ti1;
    cA = res(1); cB = res(2); cD = res(3);
    cC=-1;
elseif (DU2 == max([DU1 DU2 DU3]))%(A;-1;C;D)
    res = inv(U2)*Ti2;
    cA = res(1); cC = res(2); cD = res(3);
    cB=-1;
elseif (DU3 == max([DU1 DU2 DU3]))%(-1;B;C;D)
    res = inv(U3)*Ti3;
    cB = res(1); cC = res(2); cD = res(3);
    cA=-1;

```

```

end
cosdir = [cA; cB ;cC];
% normalizacion de los vectores
norma = ( (cosdir(1))^2 + (cosdir(2))^2 + (cosdir(3))^2 )^0.5;
cosdir(1) = cosdir(1)/norma;
cosdir(2) = cosdir(2)/norma;
cosdir(3) = cosdir(3)/norma;
norma = ( (cosdir(1))^2 + (cosdir(2))^2 + (cosdir(3))^2 )^0.5;
% Calculo de las distancias
for i=iini:1:ifin;
    dist(i) = ( puntos(i,1) * cA ) + ( puntos(i,2) * cB ) + ( puntos(i,3) * cC ) + cD;
end

```

- **Programa 5:** Este programa se utiliza para filtrar los datos obtenidos con la MMC y poder así eliminar el ruido generado. En nuestro caso utilizamos el filtro n=2 en todas las mediciones obtenidas con la MMC.

```

tama=size(data); % Estructura de puntos en la que aparecen los datos x, y, z, d, d, d
                    % (se trabaja siempre con la d de la columna 6, siguiendo la estructura de
                    % los datos obtenidos con la MMV )

i_ini=1;
i_fin=tama(1);
nfiltro=2; % Número de puntos a cada lado para filtrar
dist_max=1; % Distancia máxima a partir de la cual no realiza el filtrado
for i=i_ini:1:i_fin
    suma=0;den=0;
    centro=i;
    for j=(centro-nfiltro):1:(centro+nfiltro)
        if j>=(i_ini) && j<=(i_fin)
            dist=((data(i,1)-data(j,1))^2+(data(i,2)-data(j,2))^2+(data(i,3)-data(j,3))^2)^0.5;
            if (dist<dist_max)
                suma=suma+data(j,6);
                den=den+1;
            end
        end
    end
end
end

```

```

    dist_fil(i)=suma/den;
end
figure;
plot(data(:,6),'-b. ');hold on;
plot(dist_fil,'-r. ');hold off;

```

- **Programa 6:** Puesto que a veces surgen puntos obtenidos con la MMC que se salen bastante del rango debido al ruido (ocurre principalmente en la medición de la bancada de la MMC), este programa permite cribar puntos que se salen de una determinada distancia.

```

function [XYZ_out]=fcribadoDistancia(XYZ_in,dist_z_max)
XYZ_1=XYZ_in;
Z1_mean=mean(XYZ_1(:,3));
tama1=size(XYZ_1,1);
np=0;
for i=1:tama1-1;
    dist_z=abs(Z1_mean-XYZ_1(i,3));
    if (dist_z<dist_z_max)
        np=np+1;
        XYZ_2(np,:)=XYZ_1(i,:);
    end
end
XYZ_out=XYZ_2;

```

- **Programa 7:** Durante la medición con la MMC se observó que al recorrer el palpador el recorrido en una dirección vibraba bastante produciendo mucho ruido y falseándose así bastante los resultados. Por ello se utiliza este programa para eliminar los puntos de una de las trayectorias.

```

function [XYZ_out]=fcribadoTrayectoria(XYZ_in)
XYZ=XYZ_in;
tama=size(XYZ,1);
np=0;
for i=1:tama-1;
    dy=XYZ(i+1,2)-XYZ(i,2);
    if (dy<0)

```

```

        np=np+1;
        XYZ_1(np,:)=XYZ(i,:);
    end
end
XYZ_out=XYZ_1;

```

- **Programa 8:** Con este programa conseguimos obtener directamente la planitud de los datos. Este programa hace llamadas a los programas anteriores.

Hay que tener en cuenta que “CORTE\_DISTANCIA” y “FILTRO” son dos booleanos en los que, si están activados, se realiza el programa al que hacen referencia.

Para las piezas medidas simplemente hay que aplicar el filtro. En cambio para las mediciones de planitud de la mesa de la MMC hay que usar tanto el filtro como el corte.

El primer “for”, solo se activa para la obtención conjunta de las 10 medidas de planitud de la mesa de la MMC.

```

clear
clc
CORTE_DISTANCIA=0;
FILTRO=1;
%Carga fichero
% for (i=1:10)
    fname=['C:\Users\JAVIER\Desktop\Datos XYZ tal y como salen de MMC para piezas US y
    Plano MMC\US2010Agujero.txt'];
    [ X Y Z ] = textread(fname,' %f %f %f ');
    XYZ=[X Y Z];
    [XYZ_1]=fcribadoTrayectoria(XYZ);
    %CORTE_DISTANCIA
    if (CORTE_DISTANCIA==1)
        dist_z_max=0.003;%mm
        [XYZ_2]=fcribadoDistancia(XYZ_1,dist_z_max);
    else
        XYZ_2=XYZ_1;
    end
    %FILTRO
    if (FILTRO==1)
        nfiltro=2;%número de puntos a cada lado para filtrar

```

```

[dist_fil]=ffiltroZ([XYZ_2 XYZ_2], nfiltro);
XYZ_3=[XYZ_2(:,1) XYZ_2(:,2) dist_fil' ];
else
    XYZ_3=XYZ_2;
end
    %obtención del valor inicial
    i=1;
    [cosdir,cD,dist] = fPlanoMC(XYZ_3);
    Planitud_0(i)=max(dist)-min(dist);

% end

```

- **Programa 9:** Este programa se utiliza para lanzar la simulación del método de Montecarlo para una de las 10 iteraciones tomadas.

*% En primer lugar borramos todo lo que teníamos anteriormente escrito en matlab.*

*clear*

*clc*

*% Cargamos el fichero de texto donde tenemos guardados los datos obtenidos con la  
% MMC de una de las 10 mediciones de planitud de la bancada.*

*fname=['l1.txt'];*

*[ X Y Z ] = textread(fname,' %f %f %f ');*

*XYZ=[X Y Z];*

*% Cribamos la trayectoria descendente de los datos obtenido por el excesivo ruido  
% generado en dicha trayectoria, recortamos a los datos obtenidos una distancia de  
% 0.003 mm por los puntos aislados que se salen del rango y filtramos los datos  
% resultantes.*

*CORTE\_DISTANCIA=1;*

*FILTRO=1;*

*[XYZ\_1]=fcribadoTrayectoria(XYZ);*

*%CORTE\_DISTANCIA*

*if (CORTE\_DISTANCIA==1)*

## Anexo V

```
dist_z_max=0.003;%mm
[XYZ_2]=fcribadoDistancia(XYZ_1,dist_z_max);
else
    XYZ_2=XYZ_1;
end

%FILTRO
if (FILTRO==1)
    nfiltro=2;%número de puntos a cada lado para filtrar
    [dist_fil]=ffiltroZ([XYZ_2 XYZ_2], nfiltro);
    XYZ_3=[XYZ_2(:,1) XYZ_2(:,2) dist_fil' ];
else
    XYZ_3=XYZ_2;
end

% Puesto que el número de puntos que se obtiene es muy elevado y la duración de la
% simulación sería muy elevada, se procede a reducir el número de puntos mediante la
% función fcribadopuntos, en la cual r es el parámetro que define la reducción de puntos
% a llevar a cabo en el cribado y puntos_IN son los puntos iniciales cargados en XYZ.
puntos_IN=XYZ;
r=0.1;
[XYZ_0]=fcribadopuntos(puntos_IN, r);

% Una vez tenemos los puntos filtrados, definimos el número de iteraciones que se van a
% realizar, que en la simulación de Montecarlo son 1e6 simulaciones.
% Definimos también el tamaño que será el de número de cotas Z que tenemos e
% inicializamos el valor de D =0.
n=1e6;
tama=size(XYZ_0(:,3));
D=0;

% Posteriormente se procede a la obtención del valor inicial de planitud de los valores
% filtrados y cribados XYZ_0 mediante la aplicación de la función fPlanoMC, la cual nos
% calcula el plano obtenido mediante mínimos cuadrados y nos calcula la distancia de
% cada punto a dicho plano.
```



```

[cosdir,cD,dist] = fPlanoMC(XYZ_0);
Planitud_0=max(dist)-min(dist);

% Inicializamos el vector de simulaciones Planitud el cual contendrá todo ceros.
Planitud=zeros(n,1);

% Abrimos una nueva figura para posteriormente graficar los histogramas.
figure;

% Generamos el vector de incertidumbre típicas de las cotas en el cual uh(5)=2.5e-3;%5um con K=2 (95.5%), l de palpado=5um.
uh=[0.5e-3 1.0e-3 1.5e-3 2.0e-3 2.5e-3];

% Como nos interesa saber el tiempo de simulación, utilizamos la función tic toc
tic;

% Definimos el valor inicial de las cotas simuladas en cada iteración.
XYZ_i=zeros(tama(1),3);

% Comenzamos con la simulación. Va de j=1 hasta j=5 por las cinco incertidumbres
% típicas de las cotas que tenemos.
for j=1:5
    parfor (i=1:n)
        % Generamos las cotas simuladas a partir de la matriz de los puntos iniciales.
        XYZ_i=[XYZ_0(:,1) XYZ_0(:,2) XYZ_0(:,3)+uh(j)*randn(tama)];
        % Calculamos el valor de la planitud de las cotas simuladas como diferencia entre la
        % distancia máxima y la mínima.
        [cosdir,cD,dist] = fPlanoMC(XYZ_i);
        D=max(dist)-min(dist);
        Planitud(i,j)=D;
    end

    % Calculamos las incertidumbres para cada una de las cinco simulaciones, mediante la
    % función fint_cobertura_k2
    k0=2;
    nfk=0.955;

```

```
[I0(j),u0(j)] = fint_cobertura_k2(Planitud(:,j),nfk,k0)
```

```
D_mean(j)=mean(Planitud(:,j));
```

```
% Finalmente graficamos los resultado y terminamos la función tic toc.
```

```
subplot(1,5,j);
```

```
hist(Planitud(:,j),10000);
```

```
t=toc
```

```
end
```

- **Programa 10:** Este programa se utiliza para obtener las incertidumbres para cada una de las incertidumbre típicas de las cotas.

```
function [I0,u0] = fint_cobertura_k2(D,nfk,k0);
```

```
n=size(D,1);
```

```
% Se ordena el vector de simulaciones D.
```

```
D=sort(D);
```

```
% Se cogen el 95% de las simulaciones.
```

```
n95=round(nfk*n);
```

```
% Se define la longitud mínima, el límite inferior y el límite superior del intervalo de cobertura del 95%.
```

```
Lmin=inf;
```

```
I_inf=NaN;
```

```
I_sup=NaN;
```

```
% Se recorren todos los intervalos posibles.
```

```
for (i=1:(n-n95))
```

```
    L=D(i+n95)-D(i);
```

```
    if L<Lmin , Lmin=L; I_inf=D(i);I_sup=D(i+n95);end
```

```
end
```

```
% Finalmente se calcula la incertidumbre típica.
```

```
I0=(I_sup-I_inf)/2;
```

```
u0=I0/k0;
```

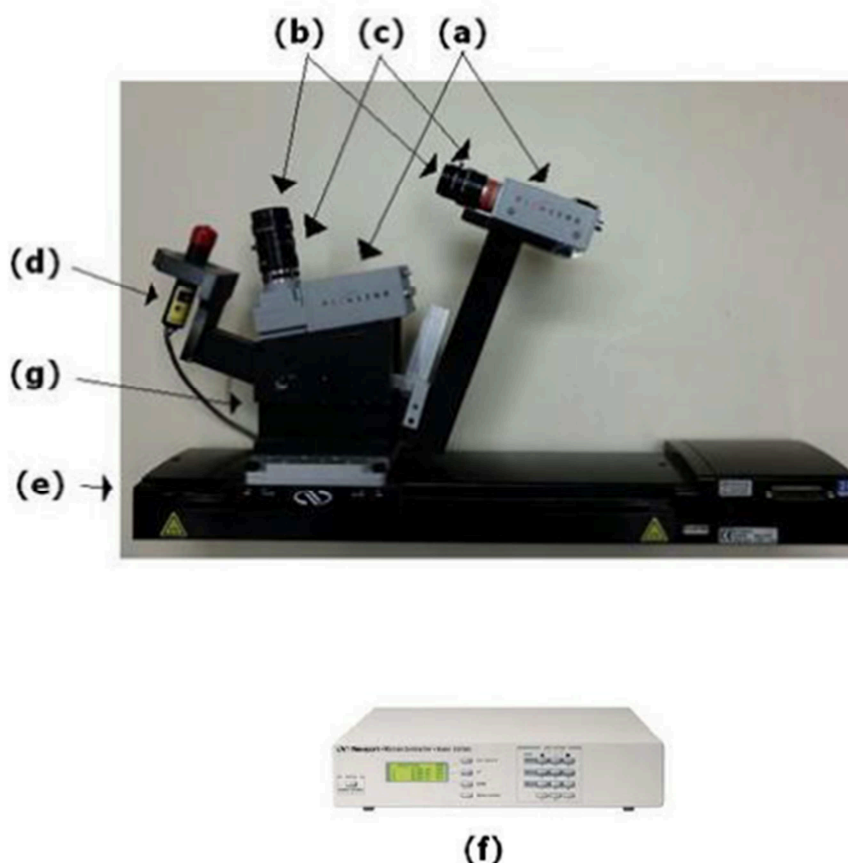
- **Programa 11:** Puesto que en el programa de Monte Carlo hay que realizar muchas iteraciones y se poseen muchos puntos, para reducir el tiempo de simulación se reduce el numero de datos al 10%.

```
function [puntos_OUT]=fcribadopuntos(puntos_IN, r)
tama=size(puntos_IN);
np_OUT=0;
for i=1:tama(1)
    if (i~=1/r) && mod (i, (1/r)) == 0)
        np_OUT=np_OUT+1;
        puntos_OUT(np_OUT,:)=puntos_IN(i,:);
    end
end
```



## Anexo VI: Equipo de medición sin contacto

El instrumento consiste fundamentalmente en: dos cámaras CCD (a) con su óptica (b), filtro (c) y el sistema de iluminación láser (d), como la mayoría de los sistemas de visión por triangulación láser. Además incluye una estación lineal de traslación, en adelante ELT, de alta precisión (e) y su control (f). Sobre el carro de la ELT están montados los componentes en el soporte (g).



*Figura 1 Anexo VI. Componentes del equipo.*

El tamaño del CCD de la cámara (1280 x 1024) determina la cantidad de puntos a obtener de cada imagen (blanco y negro y 8 bits). Esos 1280 puntos se reparten por los 130 mm que tiene el CMx. Este factor es función de la lente y de su distancia de trabajo. La resolución a lo largo del eje X es de 0.1 mm/píxel.

Las características espectrales del sensor de la cámara se han escogido para obtener un buen contraste entre la línea láser de las imágenes y el fondo. La ganancia y el tiempo de exposición de la cámara se controlan tanto manual como automáticamente.

La cámara escogida permite seleccionar la región de la imagen que interesa capturar (ROI), disminuyendo considerablemente la cantidad de información a transmitir y analizar. En función del tamaño de esta región y del tiempo de exposición, la velocidad de captura llega a los 106 fps.

La selección de una ROI de 1280 x 96 px (figura 2.2) permite capturar a una velocidad de 106 fps con un tiempo de exposición de 5 ms. La transmisión de los datos así tomados necesita aproximadamente 13 Mb/s, siendo el ancho de banda de 400 Mb/s, correspondiente al protocolo empleado para su conexión.

No se necesitan tarjetas capturadoras adicionales que encarecen el sistema.

El láser incorporado es de clase II ( $>1\text{mW}$ ), la línea proyectada tiene un perfil no Gaussiano y la óptica utilizada para generar el plano abre  $60^\circ$ , con lo que, a la distancia de trabajo del láser, este abre todo el campo de medida. Este láser incorpora un sistema de refrigeración eléctrico que mantiene la temperatura del diodo láser constante, consiguiendo un funcionamiento estable del generador.

El filtro interferencial centrado a la longitud de onda del láser permite reducir o eliminar las fuentes de luz no deseadas del entorno. La colocación del filtro entre la cámara y la lente junto con las características espectrales del sensor CCD seleccionado consiguen un buen contraste entre los píxeles de la línea láser y los del fondo.

La óptica, es de alta resolución para minimizar los efectos de la distorsión y su distancia focal es de 12 mm para no introducir distorsión en la imagen aunque se reduzca el ángulo de apertura.

Al reducir el ángulo de apertura disminuye el CMx del sistema y pasa a ser de 130 mm. La solución es (como se indica en el apartado anterior): cambiar la dirección de barrido de la superficie.

Al cambiar la dirección de barrido, ha aumentado el recorrido necesario para la medición. Para mantener las prestaciones de tiempo del prototipo anterior el recorrido debe hacerse en 13". La velocidad de la ELT se configura a 10 mm/s para recorrer los 250 mm que tiene. Al sobredimensionar el recorrido nos aseguramos que hay espacio suficiente antes y después del intercambiador para acelerar y decelerar. Los errores debidos a la carga sobre el carro y a su excentricidad no son significativos y no afectan a la precisión del sistema.

La velocidad de la ELT y la frecuencia de captura de la cámara fijan el valor de la resolución en Y (sistema de referencia según figura 2.1), ya que la resolución en Y de cada imagen por separado es mucho menor. La ELT se desplaza a 10 mm/s y la cámara captura imágenes a razón de 106 imágenes por segundo (fps). La separación entre imágenes es de 0.2 mm aproximadamente.

La malla de puntos digitalizados es rectangular para no sobrecargar el sistema que debe tener un tiempo de ciclo limitado.

La disposición de los elementos, el CMx y el número de píxeles horizontales del CCD definen la resolución del sistema en esa dirección. El campo de medida en Z es de 91.77 mm que se reparten en 1024 píxeles. La resolución es de 0.09 mm/px.

La resolución en las direcciones X y Z se reducen mediante el cálculo subpíxel por técnicas de centro de gravedad y binarización.

Los componentes del sistema de visión se unen al carro mediante un soporte. Este soporte se ha diseñado para registrar la posición de cada uno de los componentes. Para ello en cada pieza se han practicado ranuras y cajeras que fijen las posiciones relativas, mientras que la unión entre las piezas se realiza con tornillos. Excepto en el caso del láser que es sujetado con una brida.

El material utilizado es aluminio. Una vez montado se pinta de negro para evitar la posible aparición de reflejos. De cara a la fabricación se descompone el soporte en piezas a fabricar a partir de placas y cuadrados:

- Cuña y Placa de Cuña. (a)
- Soporte, barra del láser y barra de la cámara. (b)
- Soporte de la cámara. (c)
- Placa del láser y brida de sujeción (d)

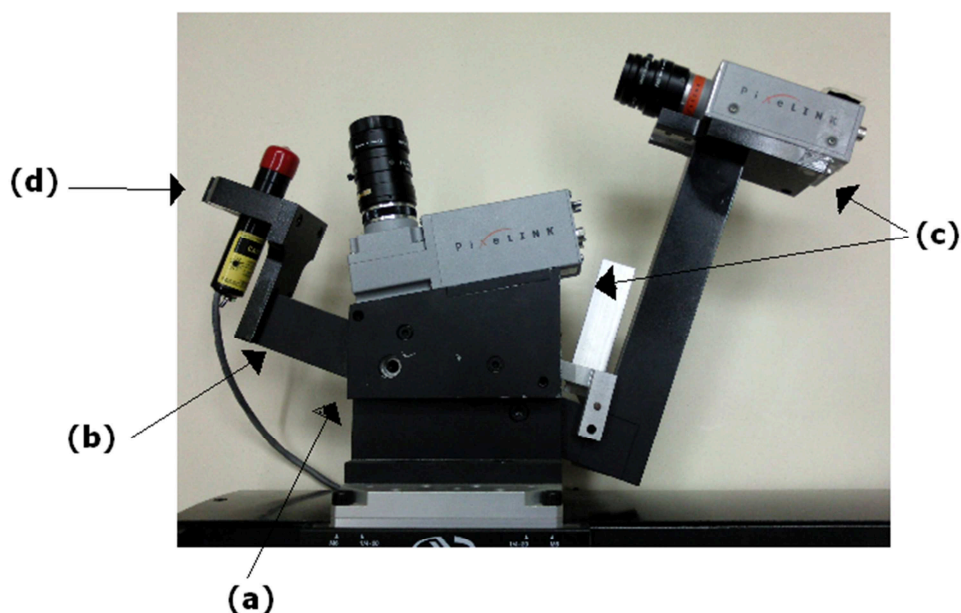
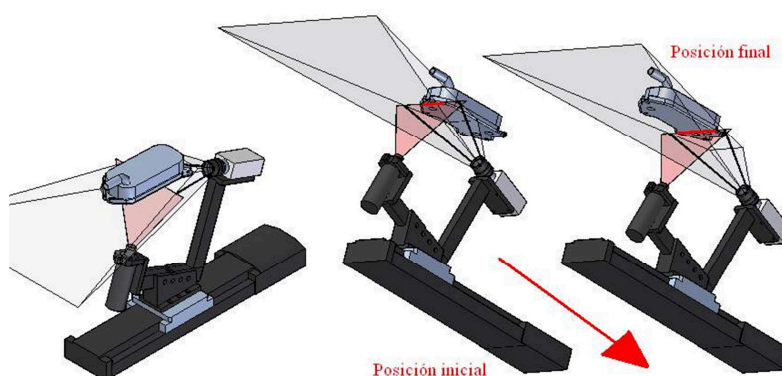


Figura 2 Anexo VI. Esquema del montaje del soporte con los elementos.

## Funcionamiento del sistema

Se puede dividir el proceso de medición en tres etapas: captura de las imágenes, en la que se realiza el barrido de las superficies; procesamiento de la información, en la que se digitalizan las superficies mediante triangulación a partir de la línea de incidencia del láser que aparecen en cada imagen; y obtención de resultados, en la que se analiza la planitud o posición de la nube de puntos obtenida.

En la primera etapa el carro desplaza al sistema que barre la superficie a medir, capturando las imágenes de la incidencia del láser sobre la pieza. Se va a repetir este proceso tantas veces como superficies se quieran medir.



*Figura 3 Anexo VI. Funcionamiento del sistema, barrido de la superficie.*

La densidad de puntos a obtener en la digitalización depende del tamaño del CCD de la cámara, de su velocidad de captura y de la velocidad de desplazamiento de la E.L.T.



*Figura 4 Anexo VI. Captura de imágenes.*

En la segunda etapa, de cada imagen capturada se obtiene un punto digitalizado por cada columna con uno o varios píxeles blancos. Ese punto, una vez reconstruido, forma parte de la nube de puntos resultante de la digitalización de la superficie. Cuanto mayor sea el número de píxeles del CCD de la cámara más puntos de la superficie tendrá la nube (siempre que el campo de medida en X esté bien ajustado).

En la tercera etapa, una vez reconstruida la nube de puntos, se opera con ella hasta poder compararla con una plantilla de cara a diferenciar los puntos que no pertenecen a la superficie sujeta a control. De la plantilla también se obtienen las restricciones a aplicar en cada zona.

Todo ello codificado en las mismas según un código de niveles de gris.



*Figura 5 Anexo VI. Plantillas para filtrar los puntos de la superficie.*

Para finalizar la tercera etapa y obtener los resultados de la medición, se opera con las coordenadas de los puntos que quedan dentro de las zonas de las plantillas conociendo así si cumplen o no las restricciones impuestas en planitud en cada zona, además de analizar las regiones, marcadas también en la plantilla, con el fin de detectar posibles defectos superficiales.

De las zonas que queremos analizar su posición, se obtendrán unas matrices de localización de los elementos a referenciar con las cuales se calculara la posición de dichos elementos respecto a un sistema de referencia y podremos dar un resultado en cuanto a posición de elementos.



**Estudio de las tolerancias.**

Las circunferencias de los agujeros se obtienen por MC a partir de los puntos reconstruidos de su contorno.

La planitud de la superficie se estudia calculando el plano, por Mínimos Cuadrados, que mejor ajusta los puntos seleccionados con la plantilla.

El programa muestra los resultados de planitud gráficamente, mediante una escala de colores que indica, para cada zona, los puntos que se salen de la tolerancia y numéricamente, en las casillas inferiores se muestran los valores máximos.

Se estudian las características superficiales en las zonas que determina la plantilla. Para lo cual se establece un valor indicativo de las características de la superficie. A partir de este valor se establece que modelos presentan una superficie con una rugosidad adecuada y cuales deben someterse a un ensayo de rugosidad para determinar si presentan defecto. También se realiza un estudio de posición de diversos elementos de la pieza, pudiendo saber si están en su posición correcta. Una vez finalizado esto, el resultado del estudio de las características superficiales y de posición de elementos actúa como un filtro que separa las piezas que son buenas en rugosidad y posición de las que es posible que no lo sean.



## Anexo VII: Verificación de la ganancia idónea del sistema de medición sin contacto

---

El principal objetivo de este anexo es obtener cuál es la ganancia idónea para poner en el sistema de medición sin contacto, comparando los resultados obtenidos de dicha máquina con los obtenidos con la MMC. Principalmente se observa cómo varía la media de la planitud en función de la ganancia en zonas concretas de la pieza y se compara con la media obtenida con los datos de la MMC. Otro aspecto que miraremos será cómo evoluciona el perfil de determinadas zonas en las que se aprecia desgaste producido por el intercambiador de calor.

Por añadidura, se analiza en uno de los casos cómo influye la ganancia en los reflejos y también comprobaremos a partir de los datos de la MMV si la traslación de los mínimos se corresponde con la traslación de los centros de los agujeros

### Pasos a realizar

Para cada uno de los útiles de soldadura que vamos a estudiar (US1137, US2003 y US2010), obtendremos una serie de tablas y gráficas de cómo evoluciona la media de planitud en función de la ganancia, mediante unos programas de Matlab explicados en el anexo V, a partir de los datos obtenidos tanto con la MMV, como con la MMC.

Con la comparación de estas gráficas y tablas, podremos determinar cuál es la ganancia idónea a utilizar con la MMV.

Para cada una de las piezas realizaremos los siguientes puntos.

- 1) Para cada ganancia deberemos realizar un mapeado de toda la pieza con Matlab a partir tanto de los datos obtenidos con la MMV, como con los datos de la MMC. Estas gráficas serán comparadas entre ellas para ver cuál es la ganancia idónea. Adicionalmente se compararan estos mapeados con las obtenidas con el programa IRENE.
- 2) Hay que identificar las zonas claves de la pieza para realizar un estudio más exhaustivo. Estas superficies podrán ser zonas de máximos y mínimos de la pieza o bien zonas especiales como lo son los círculos producidos por el desgaste con el intercambiador de calor.
- 3) Estudiar las diferentes zonas elegidas, realizando gráficas de cómo varía la planitud en función de la ganancia de la MMV y compararlas con los datos de la MMC.

## Estudio de la variación de la planitud en función de la ganancia

### US1137

#### Mapeados de las piezas enteras

En primer lugar deberemos realizar el mapeado de la pieza completa a partir de los datos obtenidos con la MMV para poder compararlos posteriormente con el mapeado de la pieza obtenida con la MMC así como con los mapeados obtenidos en el programa IRENE.

Este proceso lo realizaremos para cada una de las ganancias.

Hay que destacar que a partir de la ganancia 9.8 ya no se pudo obtener más datos ya que comenzó a dar errores de giro y al encontrar y asignar los agujeros.

- **G19.1**

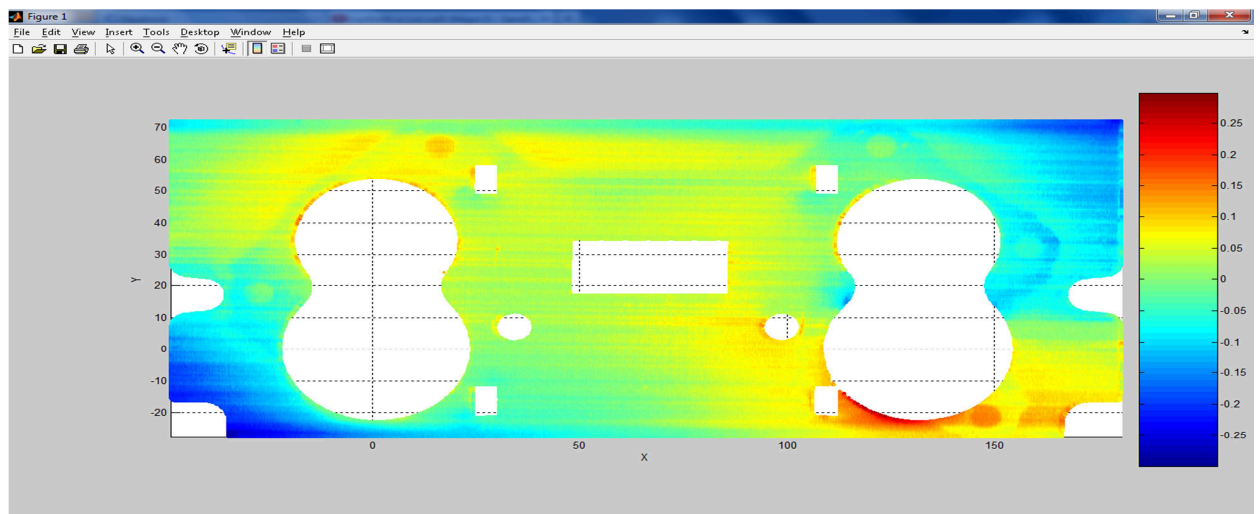


Figura 1 Anexo VII. Mapeado Matlab US1137, ganancia 19'1.

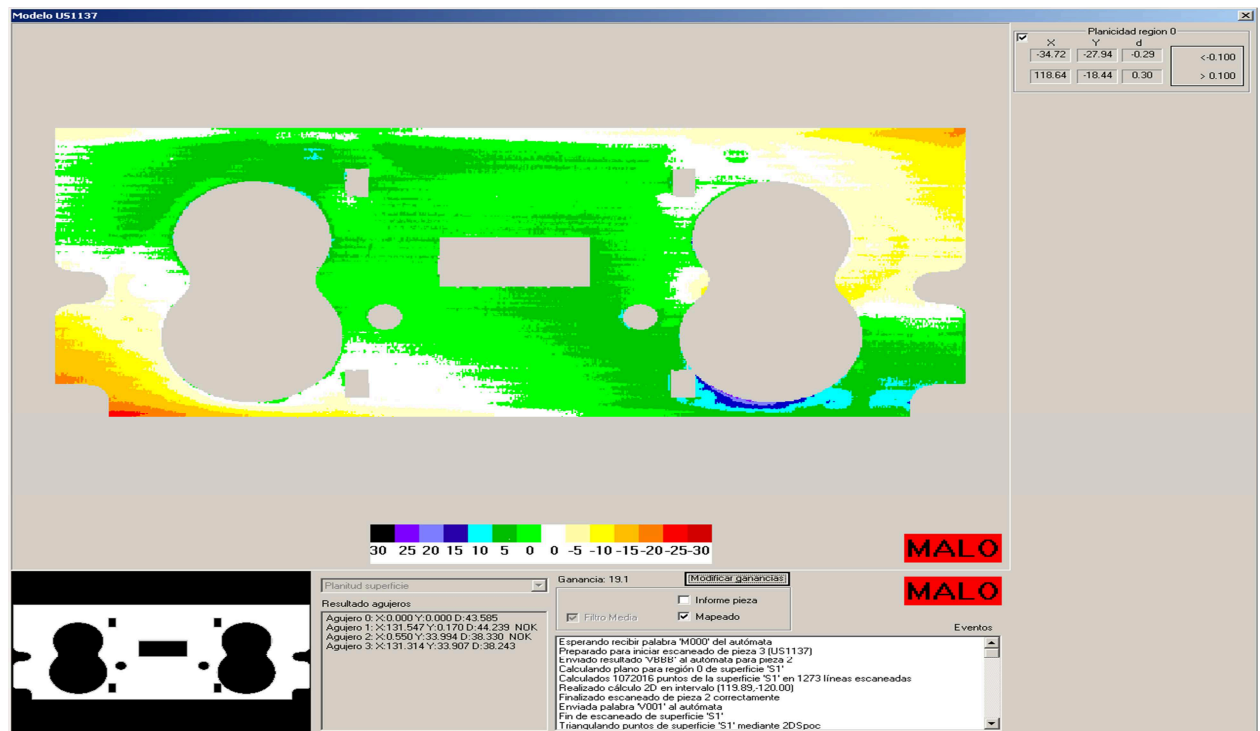


Figura 2 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US1137, ganancia 19'1.

• G18.4

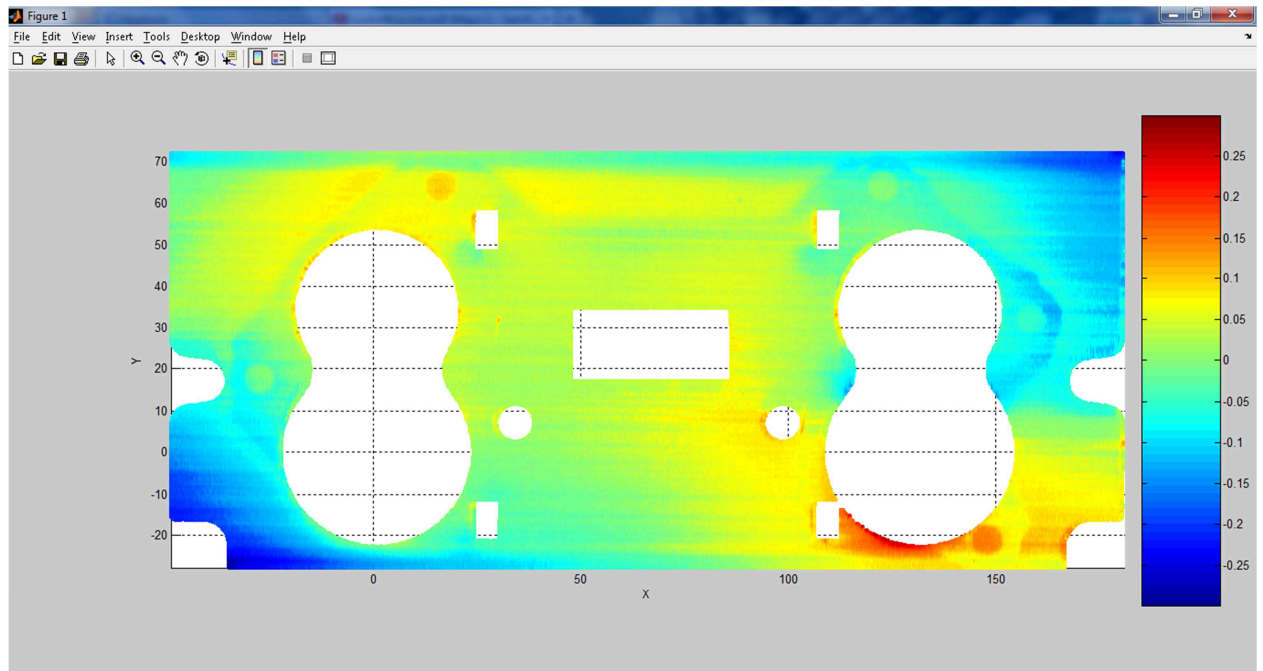


Figura 3 Anexo VII. Mapeado Matlab US1137, ganancia 18'4.

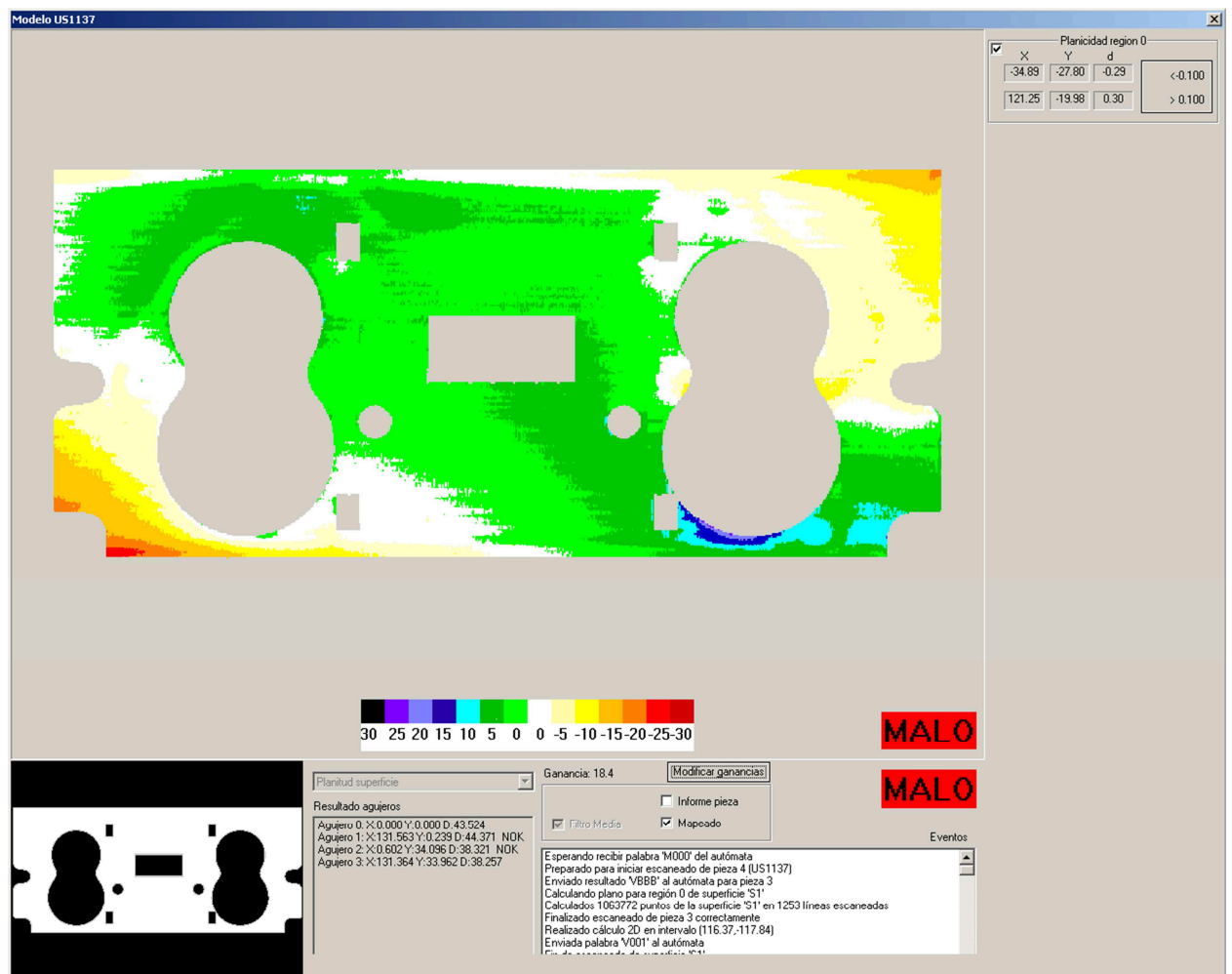


Figura 4 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US1137, ganancia 18'4.

• **G18.1**

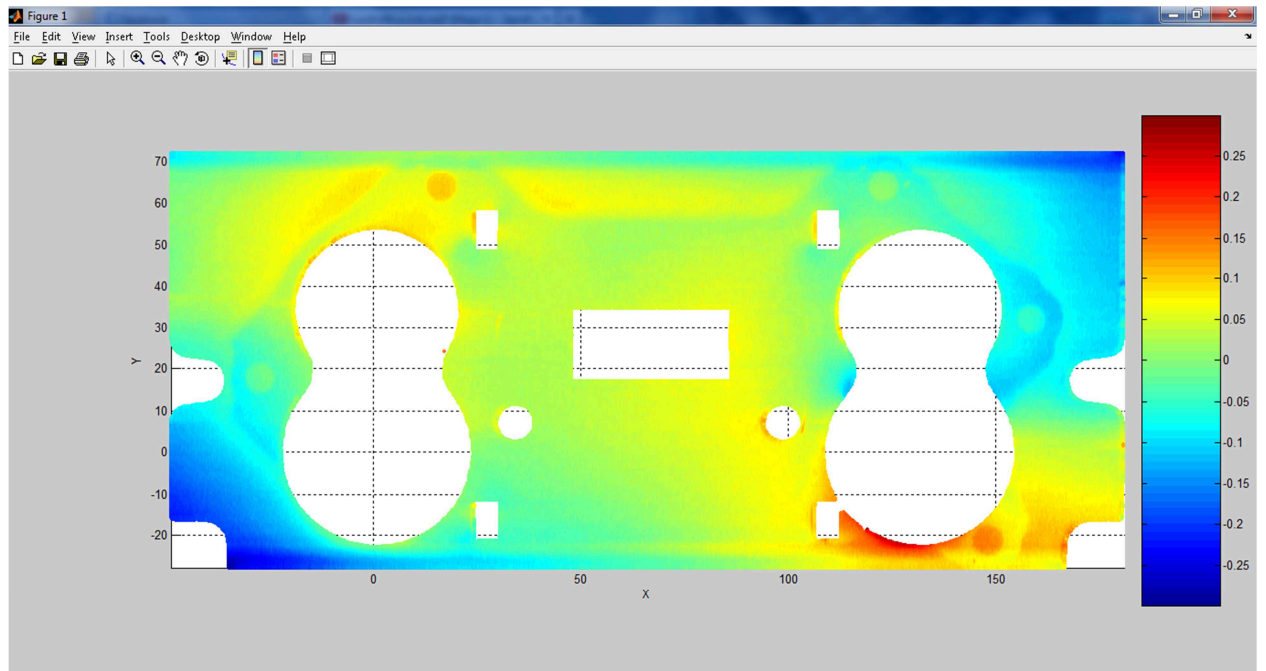


Figura 5 Anexo VII. Mapeado Matlab US1137, ganancia 18'1.

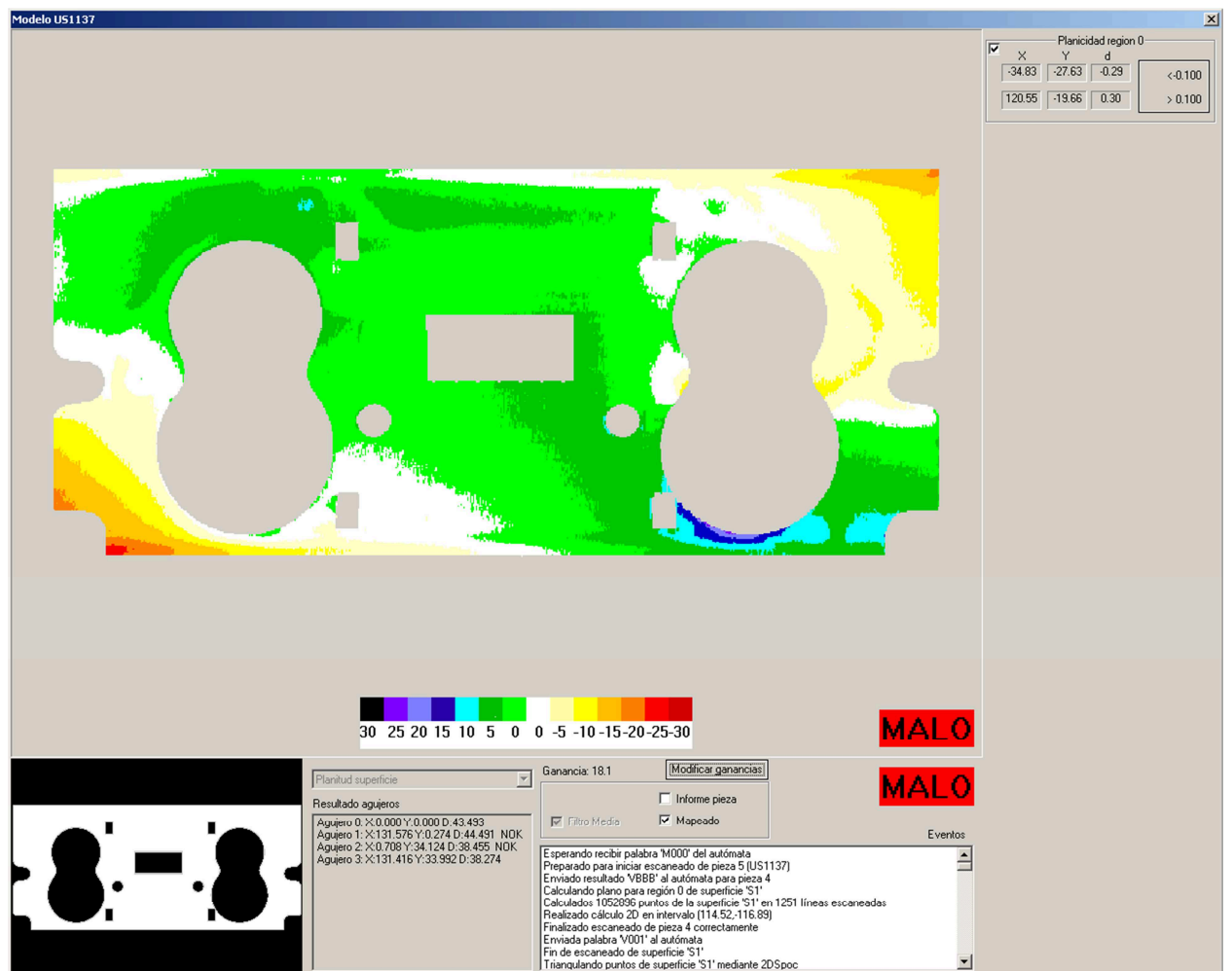


Figura 6 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US1137, ganancia 18'1.

• G16.6

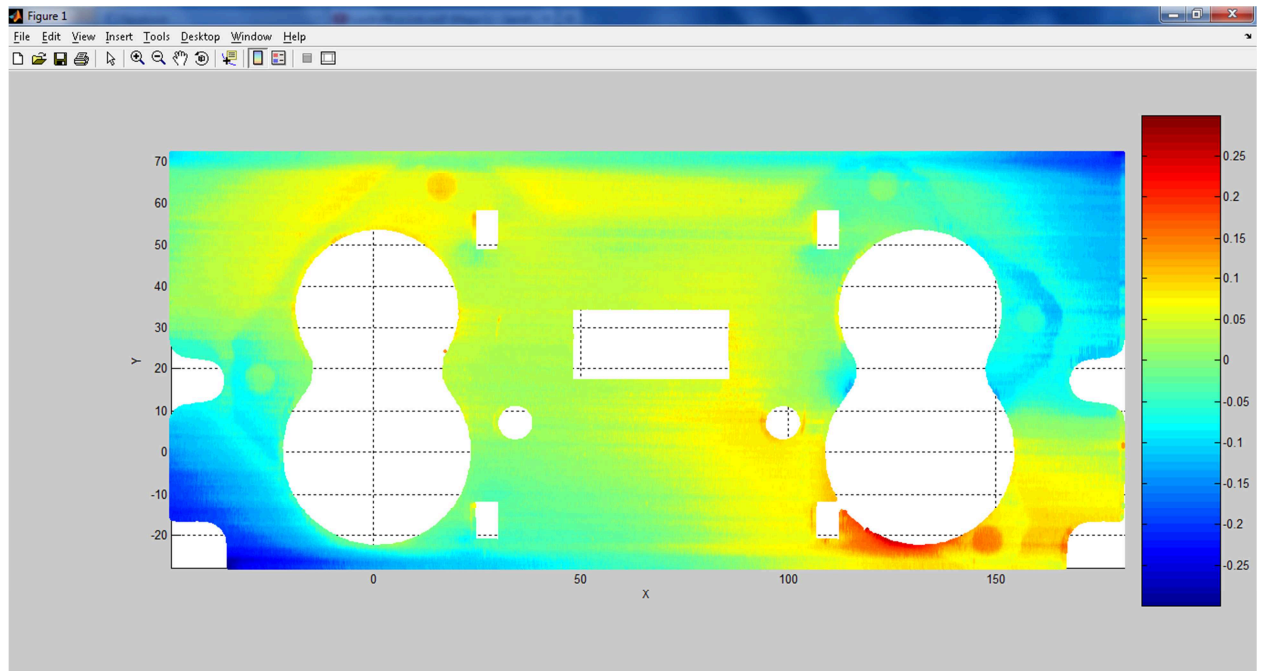


Figura 7 Anexo VII. Mapeado Matlab US1137, ganancia 16'6.



Figura 8 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US1137, ganancia 16'6.



• G15.2

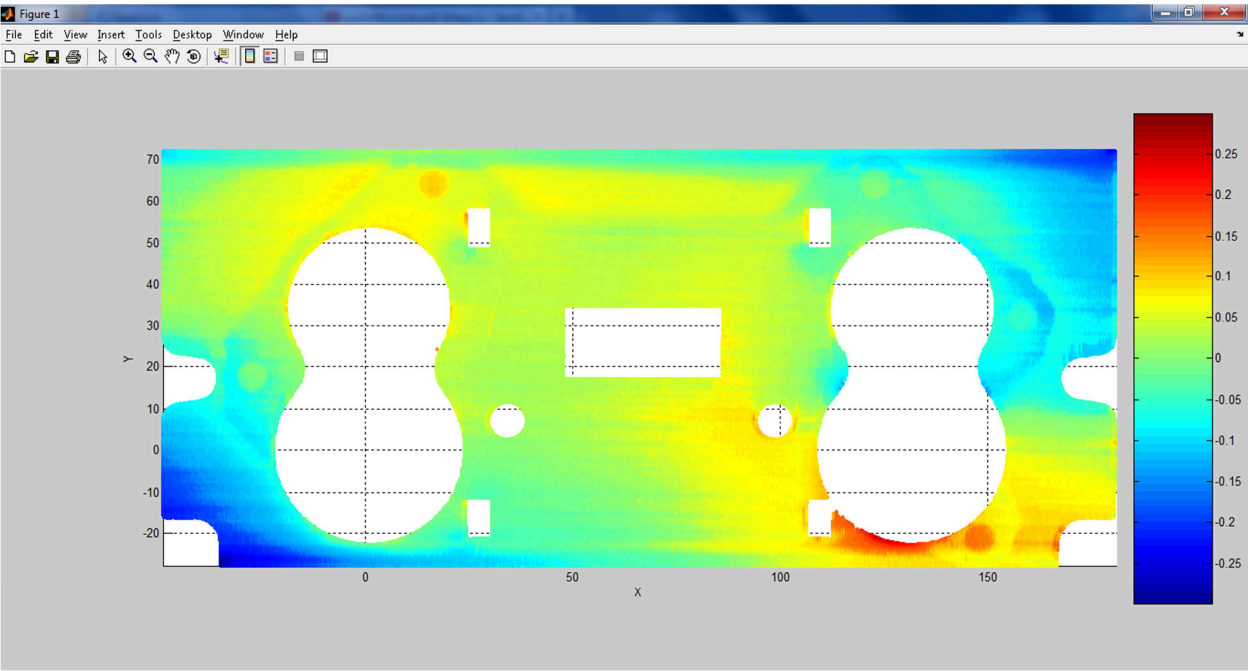


Figura 9 Anexo VII. Mapeado Matlab US1137, ganancia 15,2.

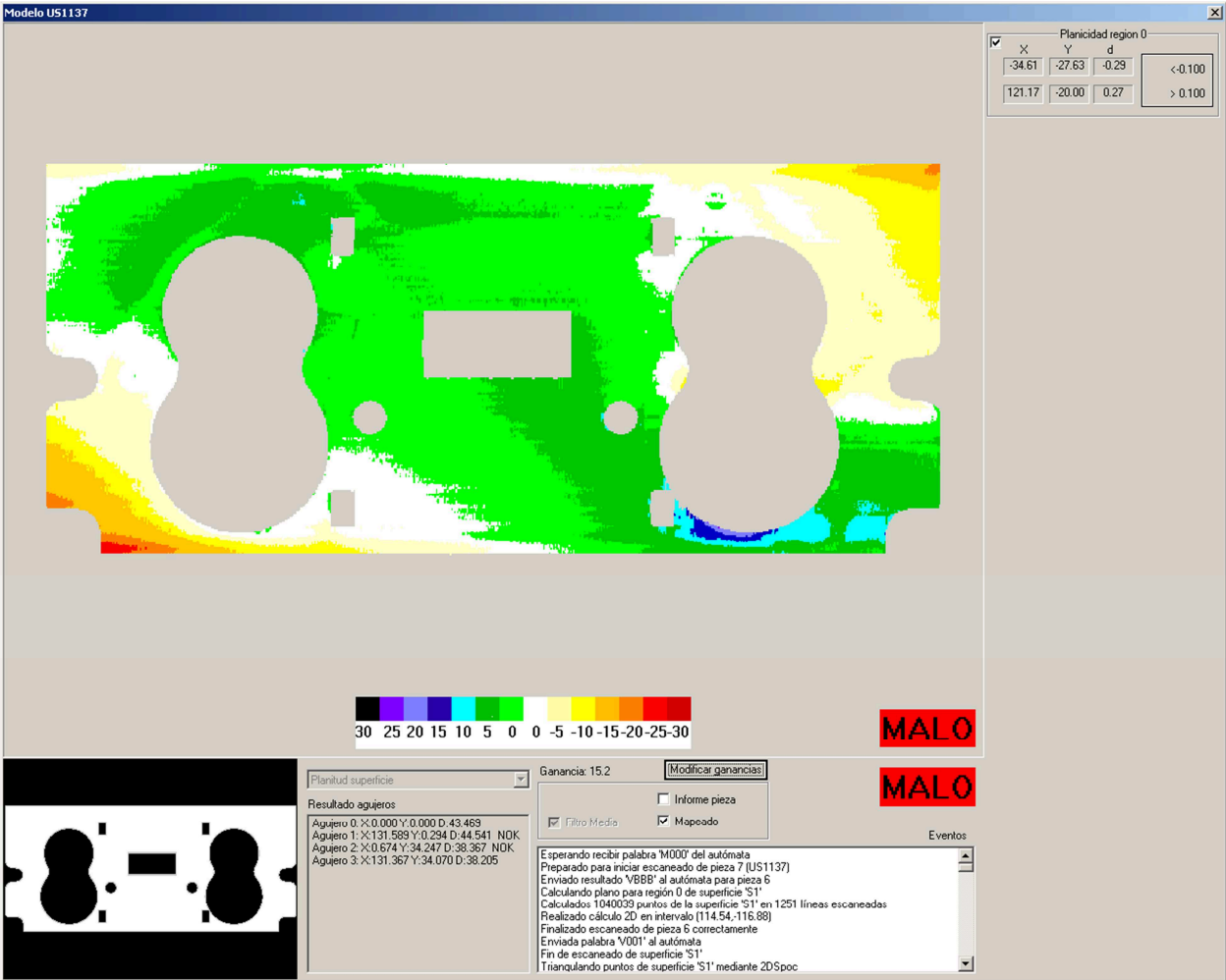


Figura 10 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US1137, ganancia 15'2.



• G13.2

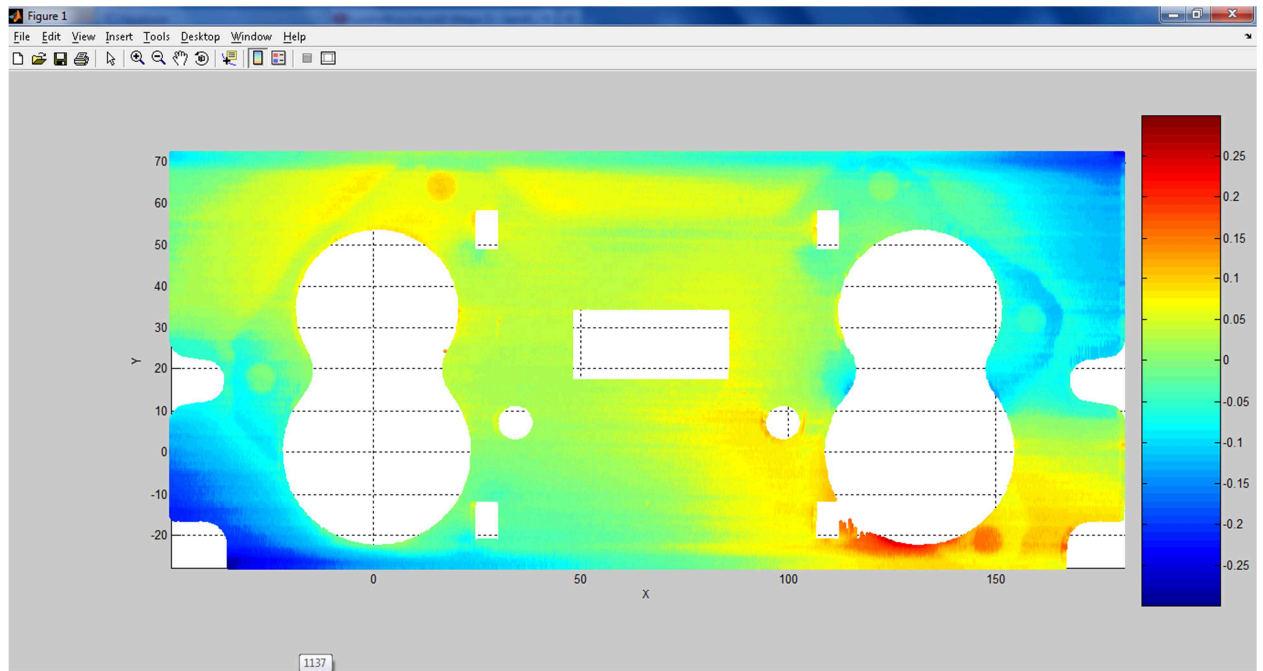


Figura 11 Anexo VII. Mapeado Matlab US1137, ganancia 13'2.



Figura 12 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US1137, ganancia 13'2.

• G11.6

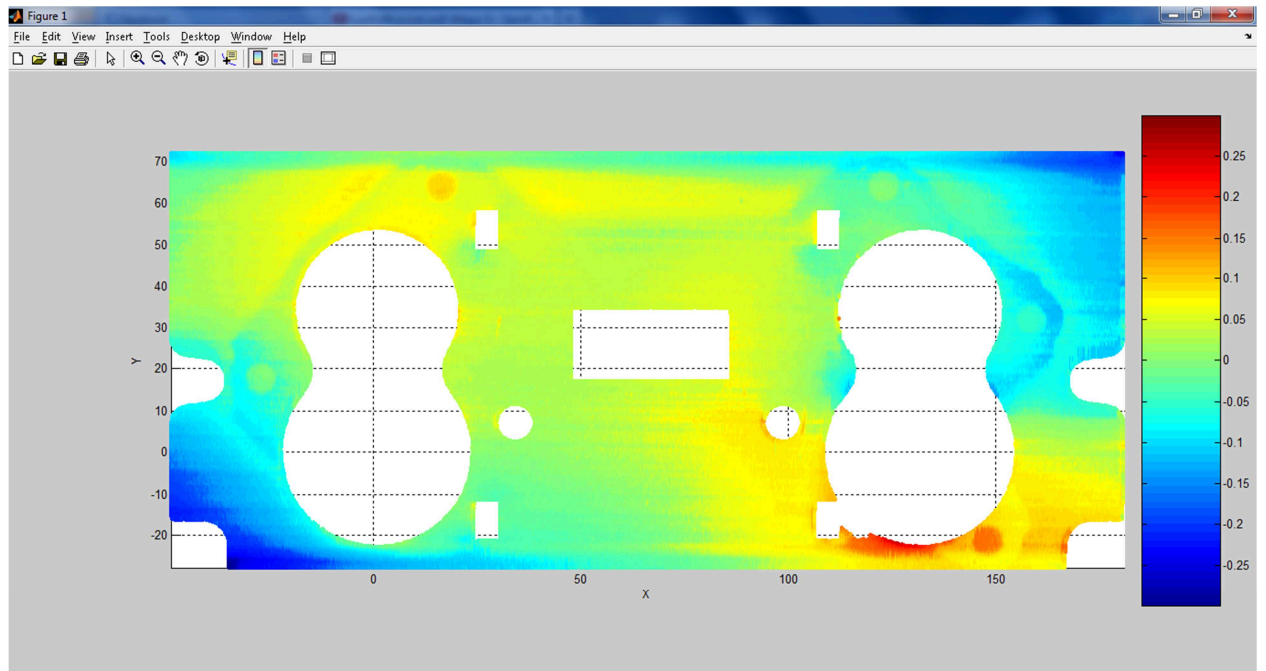


Figura 13 Anexo VII. Mapeado Matlab US1137, ganancia 11'6.



Figura 14 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US1137, ganancia 11'6.

• G9.8

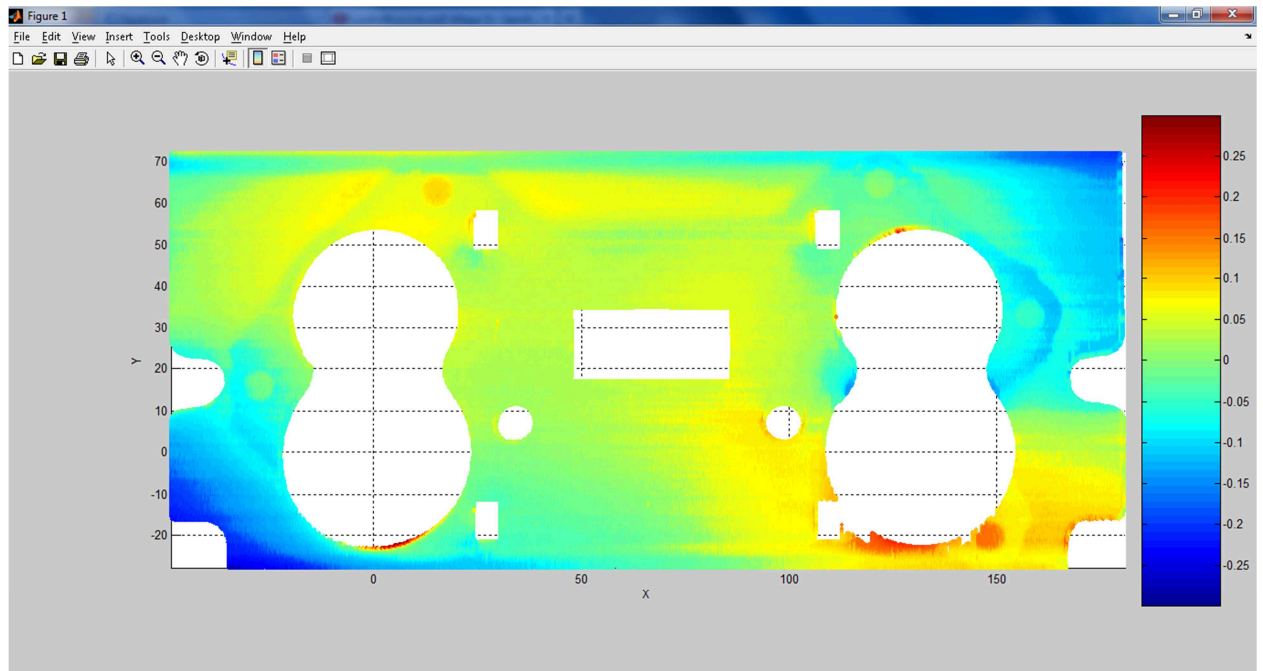


Figura 15 Anexo VII. Mapeado Matlab US1137, ganancia 9'8.



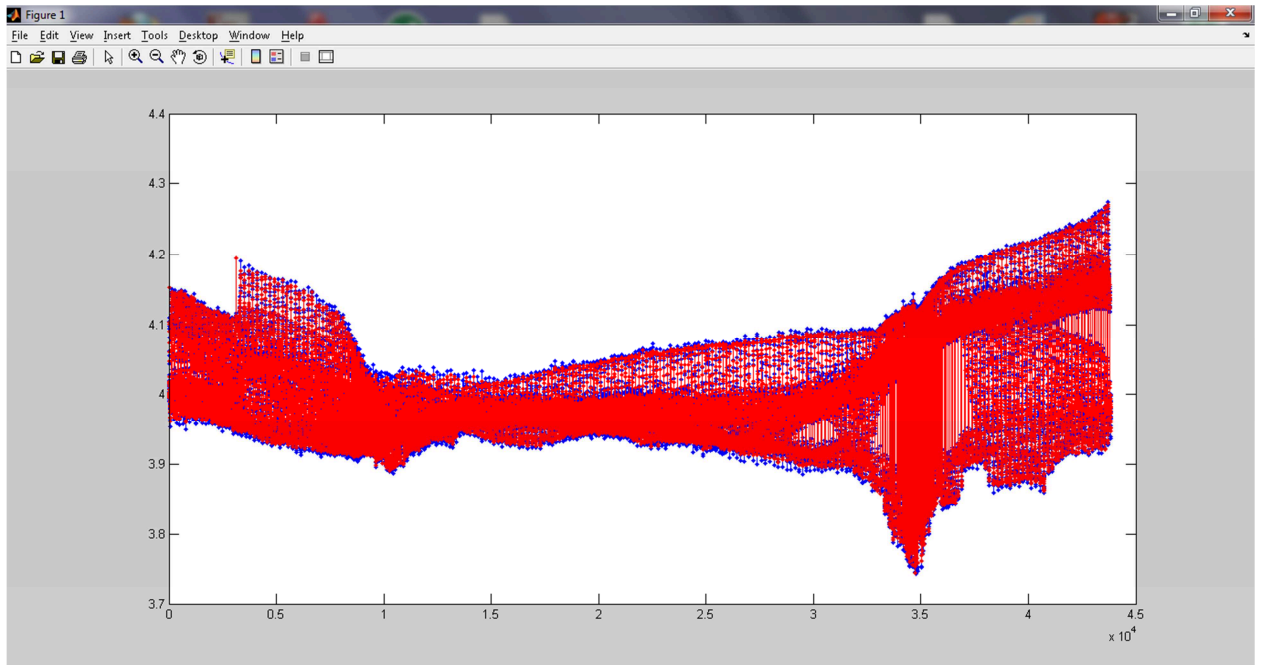
Figura 16 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US1137, ganancia 9'8.

## Anexo VII

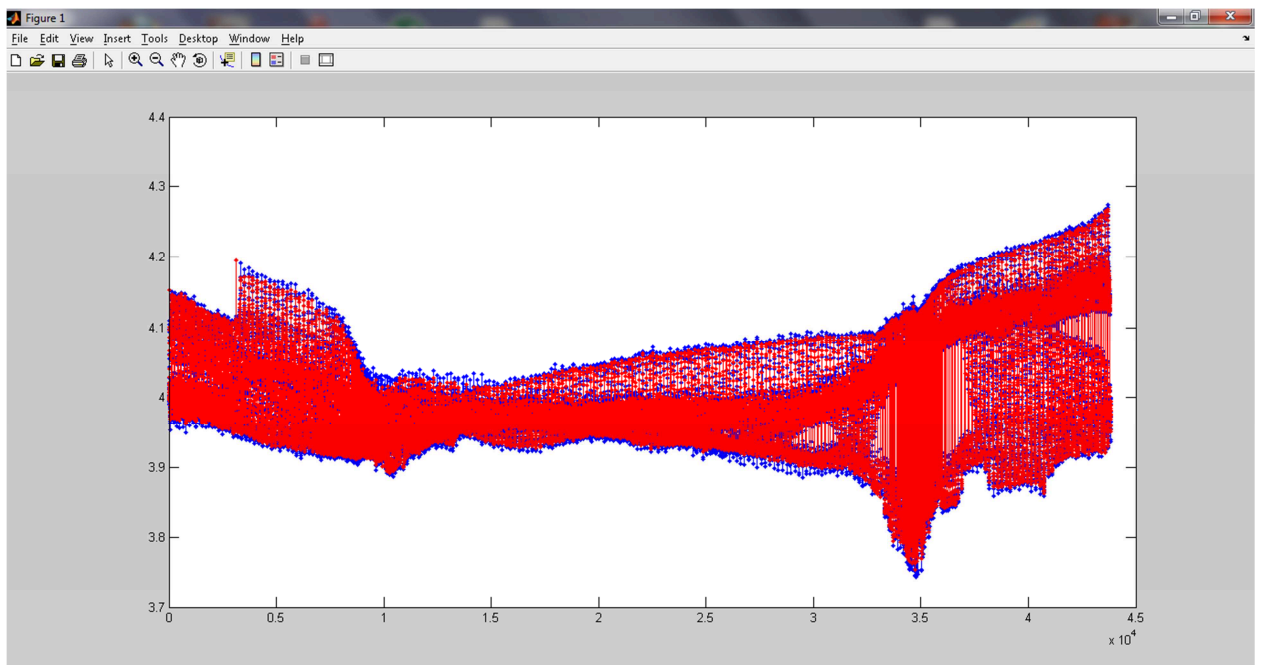
Al comparar los diferentes mapeados, se observa que los datos que se obtienen con la MMV coinciden con los mapeados obtenidos con Matlab. El siguiente paso es comparar el mapeado obtenido con la MMC para ver cuál es la ganancia correcta.

Antes debemos filtrar los datos obtenidos con la MMC para eliminar el ruido obtenido. Para ello debemos elegir cual va a ser el filtro a aplicar.

En las siguientes figuras podemos observar los resultados de los filtros para  $n = (2, 3 \text{ y } 5)$

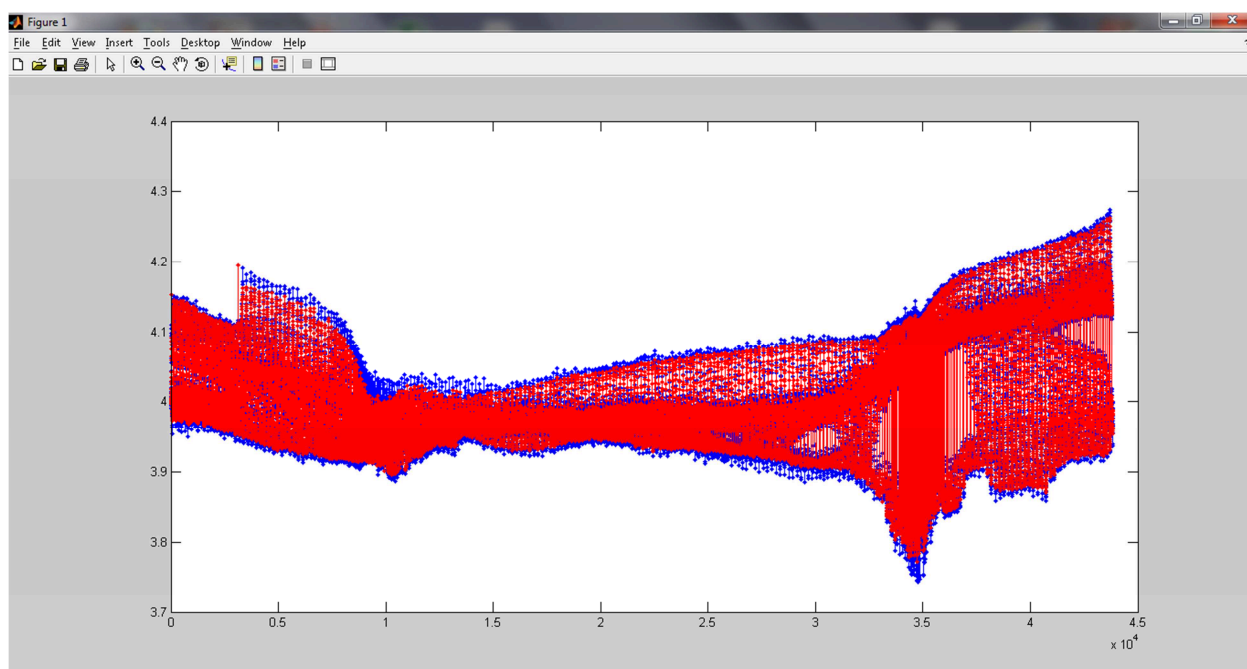


*Figura 17 Anexo VII. Filtro  $n=2$ .*



*Figura 18 Anexo VII. Filtro  $n=3$ .*

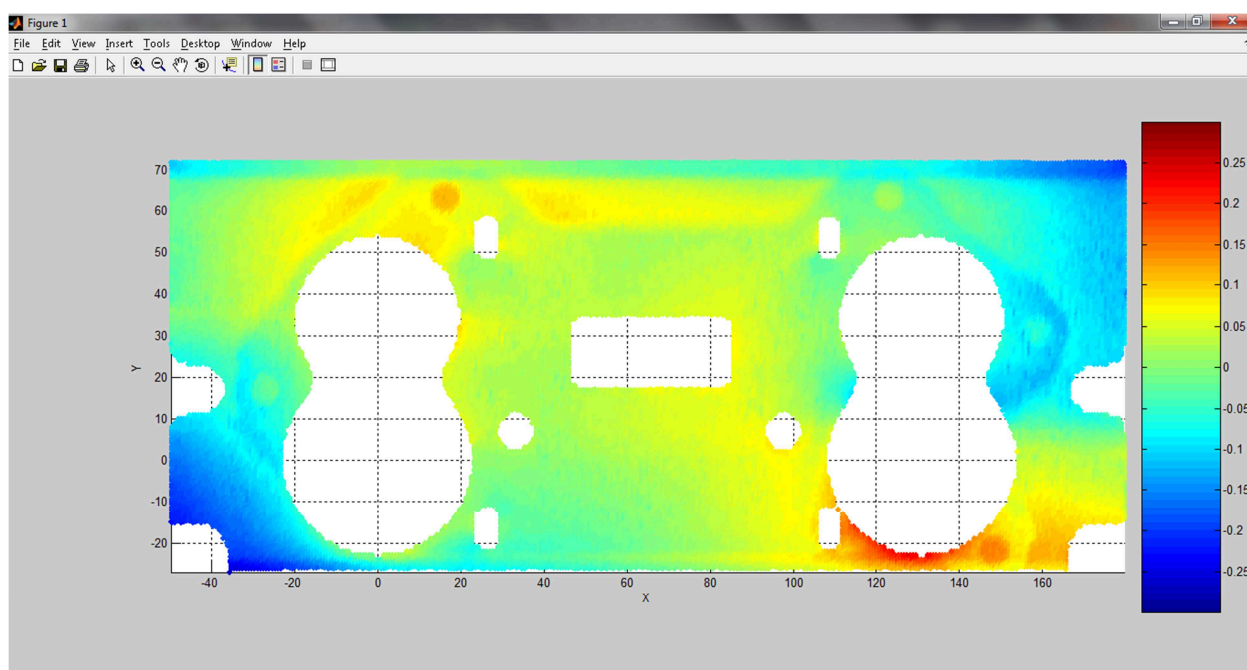




*Figura 19 Anexo VII. Filtro  $n=5$ .*

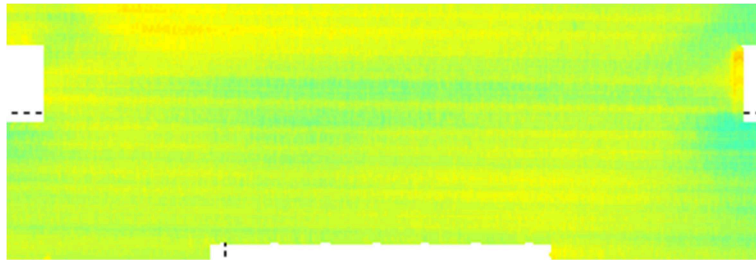
El filtro que elegimos para procesar los datos obtenidos con la MMC es el de  $n$  igual a 2.

Aplicando el filtro a los datos de la MMC, el mapeado de la pieza que obtenemos es el siguiente.

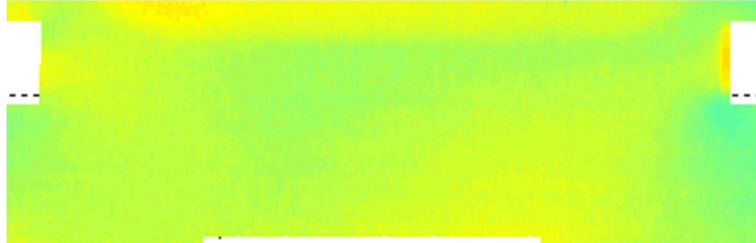


*Figura 20 Anexo VII. Mapeado obtenido con MMC US1137.*

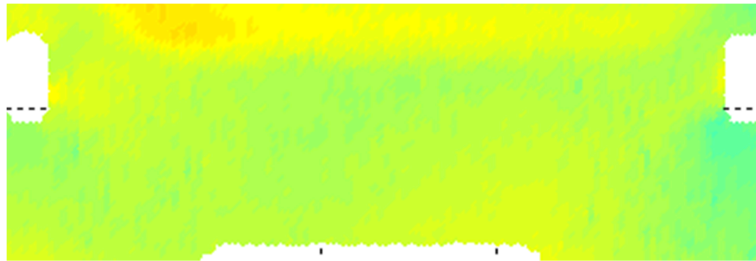
Viendo las imágenes, se observa que la única ganancia donde no se producen cambios de color bruscos es la de 18,1 de igual modo que ocurre con la MMC. En el resto de ganancias los cambios producidos en determinadas zonas no son tan graduales.



*Figura 21 Anexo VII. Cambios de color US1137, ganancia 19'1.*



*Figura 22 Anexo VII. Cambios de color US1137, ganancia 18'1.*

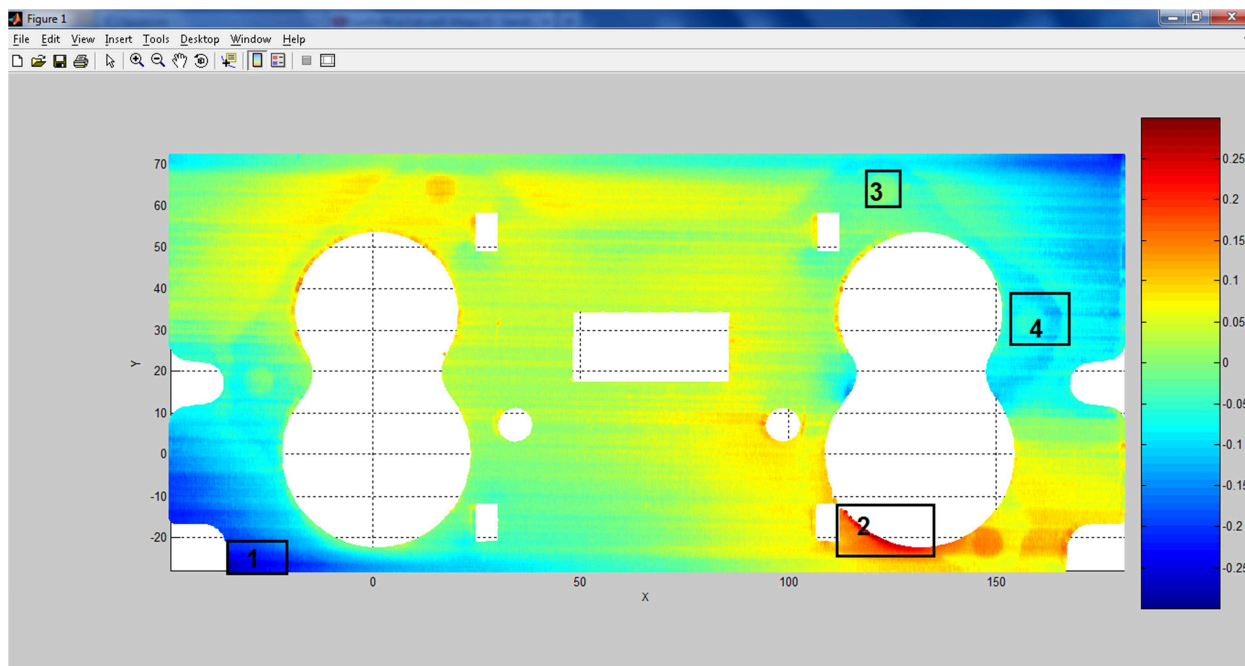


*Figura 23 Anexo VII. Cambios de color US1137, MMC.*

A la vista de las figuras anteriores, en un principio la ganancia que generan los mapeados más parecidos a los de la MMC es la de 18,1. Comparando visualmente no podemos concluir con exactitud que 18,1 es la ganancia correcta, por lo que vamos a estudiar zonas concretas de la pieza para ver cómo varía la planitud en función de la ganancia.

### Selección de las zonas de estudio

Una vez hemos obtenido los mapeados de toda la pieza para cada ganancia, el siguiente paso es delimitar las zonas de estudio, las cuales estudiaremos posteriormente.



*Figura 24 Anexo VII. Delimitación de las zonas de estudio US1137.*

En un principio estudiaremos las zonas 1 y 2, puesto que son las correspondientes a las de mínimo y máximo de la pieza. También estudiaremos tanto la zona número 3 como la zona 4 al presentar un claro desgaste producido por el intercambiador. Con el estudio de las zonas 3 y 4 pretendemos ver dicho desgaste y cómo evoluciona el perfil.

Hay que decir que, al obtener los datos de la pieza entera, la media obtenida es 0 para todas las ganancias, por lo que no realizaremos un estudio de la pieza entera sino de las zonas elegidas.

De dichas zonas se mostrarán los siguientes datos: media, desviación estándar, máximo, mínimo y coordenadas.

También compararemos los resultados de los máximos y mínimos obtenidos con Matlab, con los datos que se guardan en el archivo “informes” al ejecutar el programa IRENE.

Igualmente veremos a partir de dicho archivo “informes” cómo varían los centros de los agujeros y los compararemos con la traslación de los mínimos obtenidos en Matlab para ver si se produce un correcto alineamiento.

## Estudio de las zonas elegidas

### Zona 1 (zona del mínimo)

La primera zona de estudio será la que presenta el mínimo. Para estudiarla, escogeremos las siguientes coordenadas X(-35,-25) e Y(-28,-24).

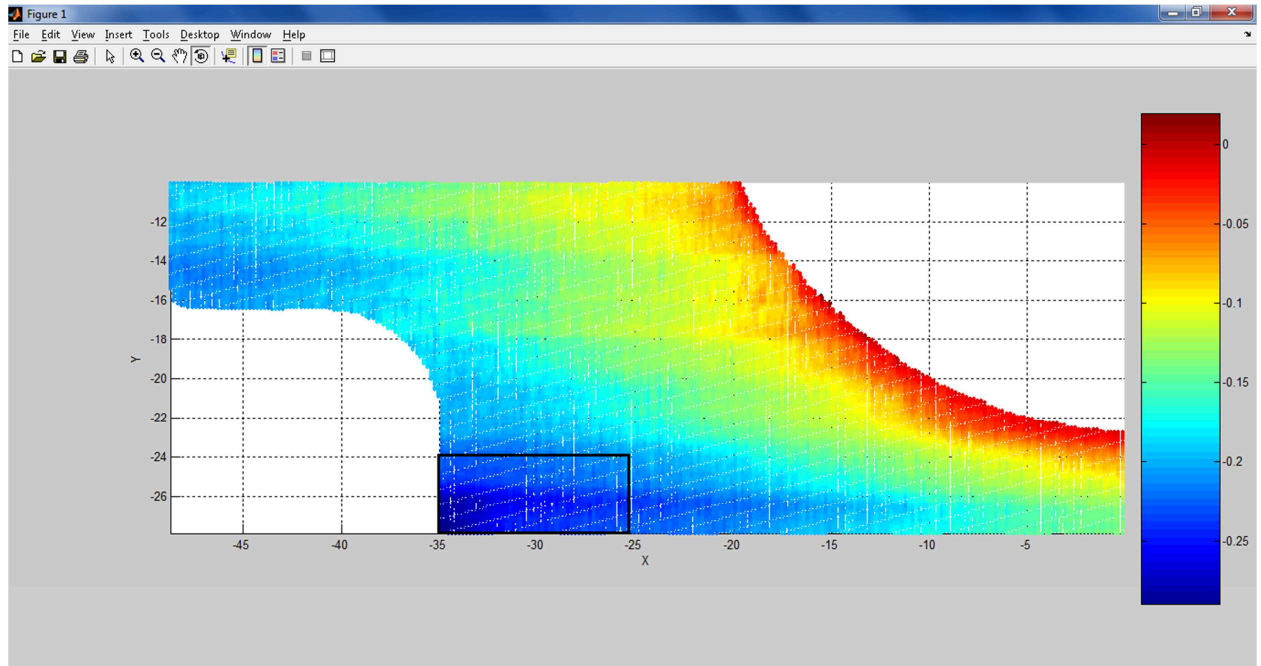


Figura 25 Anexo VII. Zona del mínimo US1137.

Utilizamos el programa 2 con el cual delimitamos la zona de estudio, obteniendo los siguientes datos para cada una de las ganancias.

Ganancia	Media	Desv Estan	Max	Min	Recorrido	Xmin	Ymin
19.1	-0.239	0.019	-0.203	-0.290	0.087	-34.869	-27.895
18.4	-0.238	0.018	-0.203	-0.288	0.085	-34.654	-27.761
18.1	-0.237	0.017	-0.193	-0.286	0.093	-34.806	-27.603
16.6	-0.238	0.019	-0.206	-0.294	0.088	-34.800	-27.602
15.2	-0.238	0.019	-0.208	-0.297	0.089	-34.588	-27.581
13.2	-0.238	0.021	-0.205	-0.316	0.111	-34.913	-27.686
11.6	-0.237	0.021	-0.207	-0.303	0.096	-34.909	-27.867
MMC	-0.223	0.014	-0.189	-0.250	0.060	-33.847	-26.196

Tabla 1 Anexo VII. Resultados zona del mínimo US1137.

A continuación graficaremos cómo varía la media de la planitud de la zona en función de la ganancia, puesto que será el parámetro más representativo.



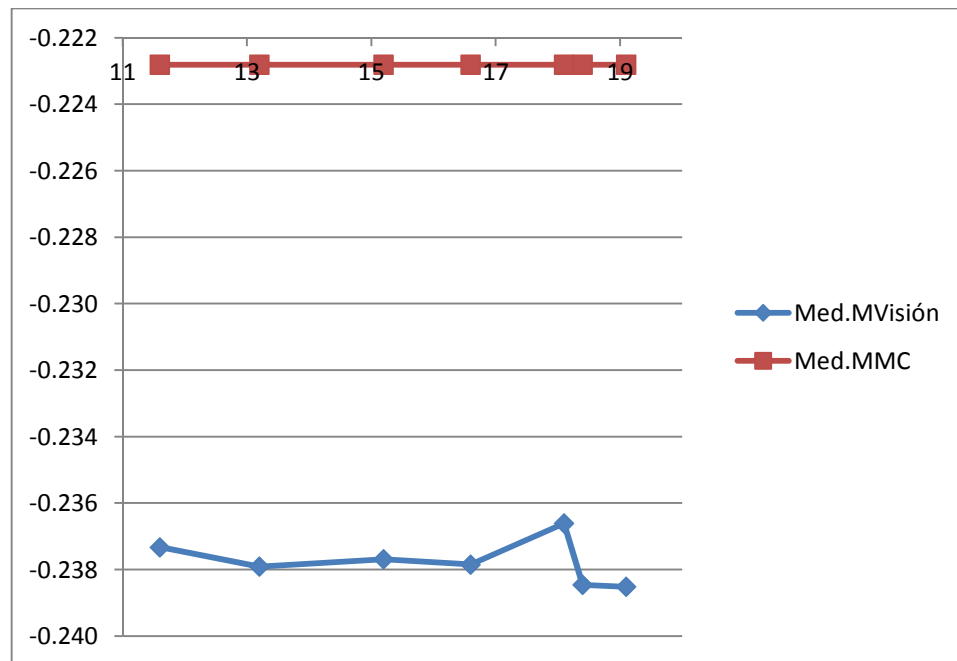


Figura 26 Anexo VII. Media zona mínimo US1137.

Para poder sacar conclusiones, deberemos comparar la gráfica con las que obtengamos posteriormente. Aunque sí que podemos observar que presenta un pico justo en la ganancia de 18,1 aproximándose así la que más a la media obtenida por la MMC.

### Zona 2 (máximo de la pieza)

La siguiente zona a estudiar será la zona número 2, la cual presenta el máximo de planitud.

Esta zona se ha elegido para estudiar puesto que es una de las zonas más comprometidas, ya que conforme aumenta la ganancia, se van perdiendo líneas de puntos en dicha zona.

Para estudiar esta zona realizaremos el mismo estudio realizado anteriormente. La zona que seleccionamos será X(115,135) e Y(-16,-24)

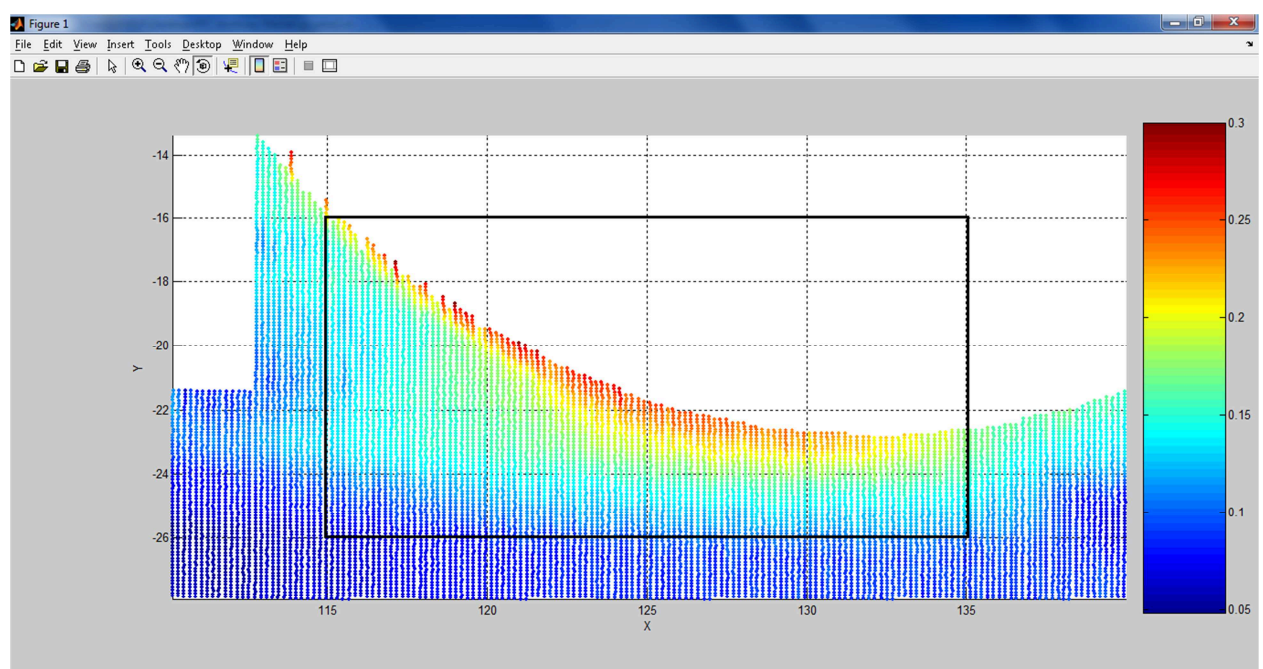
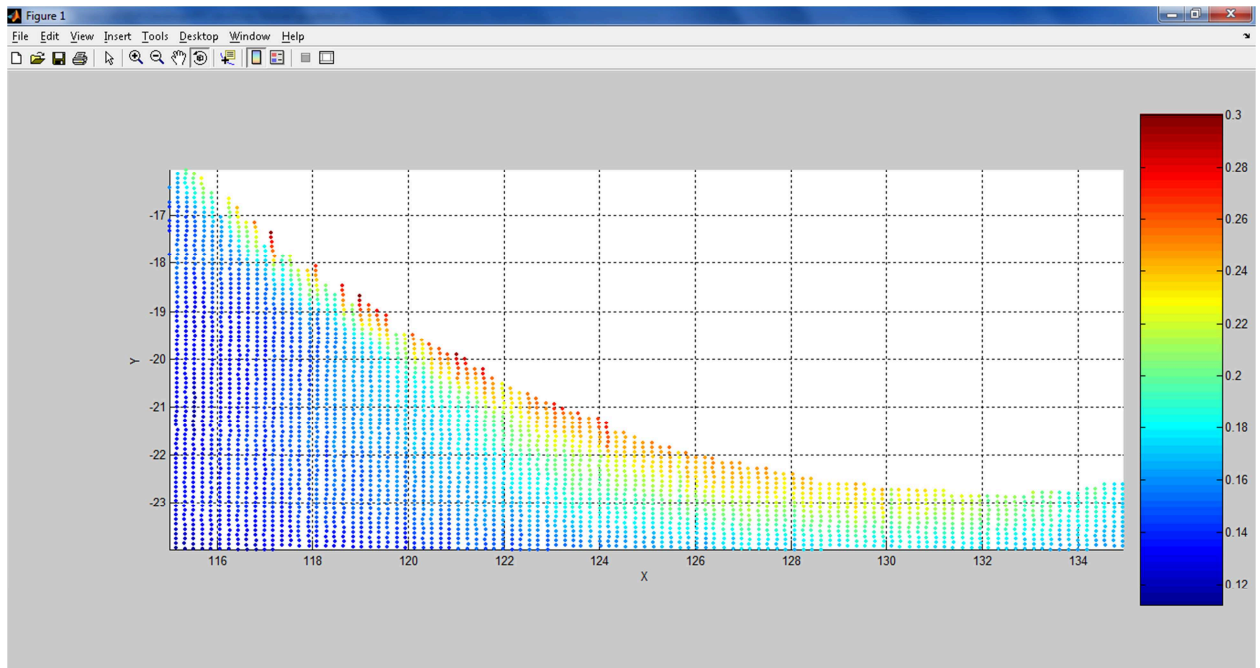


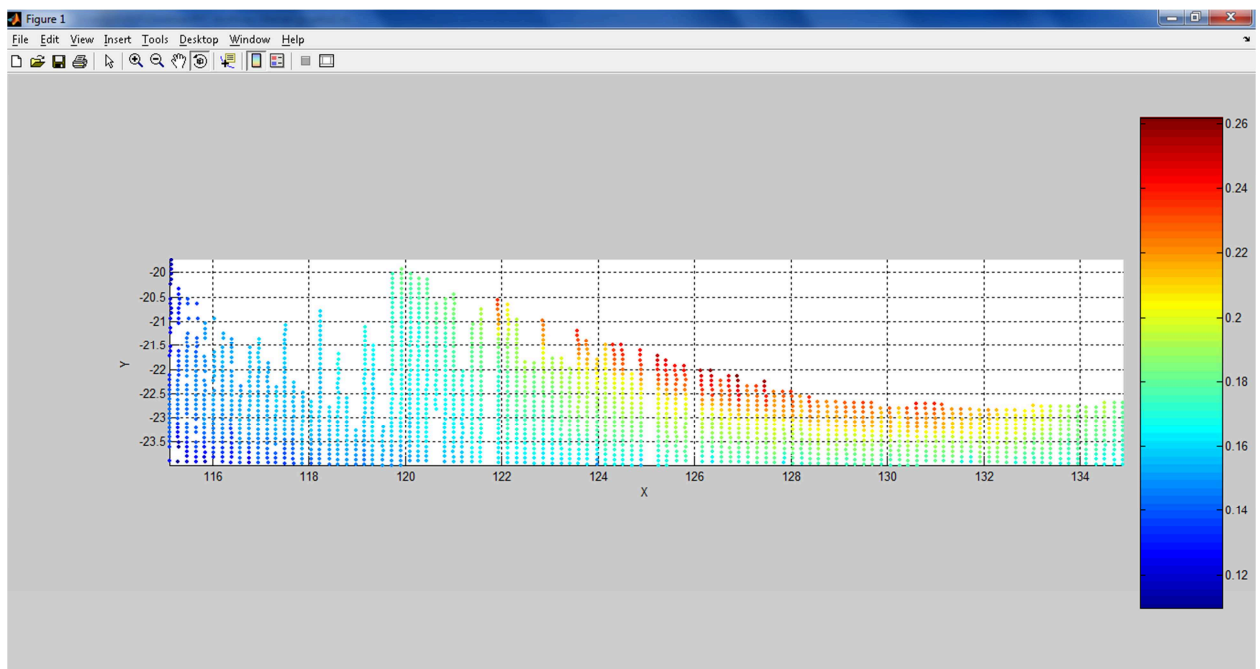
Figura 27 Anexo VII. Zona del máximo US1137

## Anexo VII

En las siguientes imágenes se puede apreciar cómo se pierden datos conforme la ganancia va aumentando, debido a los reflejos producidos en el borde de la pieza.



*Figura 28 Anexo VII. Datos con ganancias altas en zona del máximo US1137.*



*Figura 29 Anexo VII. Datos con ganancias bajas en zona del máximo US1137.*

Para estudiar la pérdida de imágenes, buscamos en la imagen anterior una línea en la cual se han perdido puntos. Escogemos la línea correspondiente a la coordenada X: 118 e Y: -20 .

Para buscar las imágenes abrimos el Output3D.ply para las ganancias mayor y menor y buscamos cual es la imagen correspondiente para la coordenada 118.

Tanto para la ganancia 19.1 como para 11.6, la línea que buscamos es la 338. Las imágenes que obtenemos son las siguientes:



*Figura 30 Anexo VII. Imagen de la línea de coordenadas 118 con ganancia 19'1.*

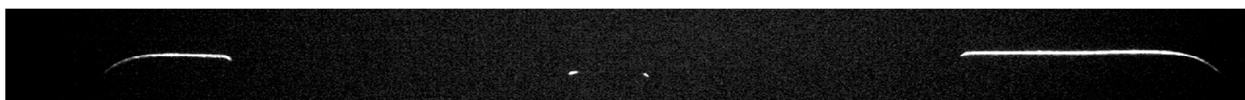


*Figura 31 Anexo VII. Imagen de la línea de coordenadas 118 con ganancia 11'6.*

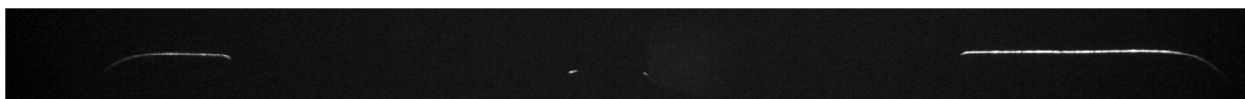
En estas imágenes vemos cómo conforme disminuye la ganancia, la línea del láser adelgaza y se produce una pérdida de imágenes.

Vamos a analizar a continuación las zonas donde se producen los máximos, tanto en la ganancia 19.1 como en la ganancia 11.6

Para la ganancia 19.1 el máximo se produce en las coordenadas X:118.980 e Y:-18.676. Las líneas que se corresponden para estas coordenadas es la 334 para las dos ganancias.



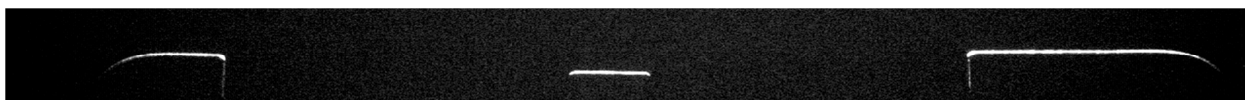
*Figura 32 Anexo VII. Imagen de la línea del máximo en ganancia 19.1 con ganancia 19'1.*



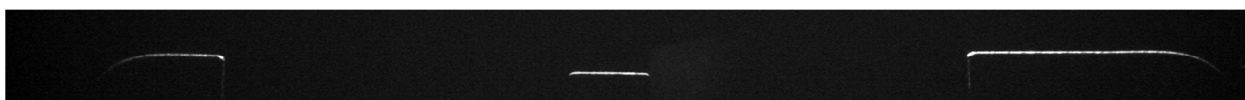
*Figura 33 Anexo VII. Imagen de la línea del máximo en ganancia 19.1 con ganancia 11'6.*

Analizando las imágenes con el programa Xn-view, se puede apreciar como el nivel de grises de la imagen disminuye considerablemente, pasando de ser 255 en la zona blanca de la ganancia 255 a estar en torno a 100 en la ganancia de 11.6, lo cual explica esta pérdida de imágenes en dicha zona.

Para la ganancia 11.6, el máximo se produce en las coordenadas X:126.900 e Y:-22.142. Para la ganancia 11.6 el máximo se encuentra en la línea 291 al igual que con la ganancia 19.1

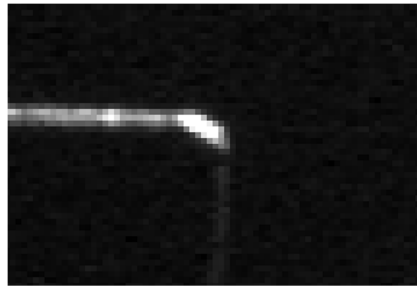


*Figura 34 Anexo VII. Imagen de la línea del máximo en ganancia 11.6 con ganancia 19'1.*



*Figura 35 Anexo VII. Imagen de la línea del máximo en ganancia 11.6 con ganancia 11'6.*

En estas imágenes, al igual que en el caso anterior, con la ganancia de 19.1, se obtiene un nivel de grises de 255 uniformemente en toda la línea. En el caso de ganancia 11.6 tiene un nivel de grises en torno a 150, pero en este caso se puede apreciar un reflejo en el extremo, que puede ser el causante de las diferencias encontradas.



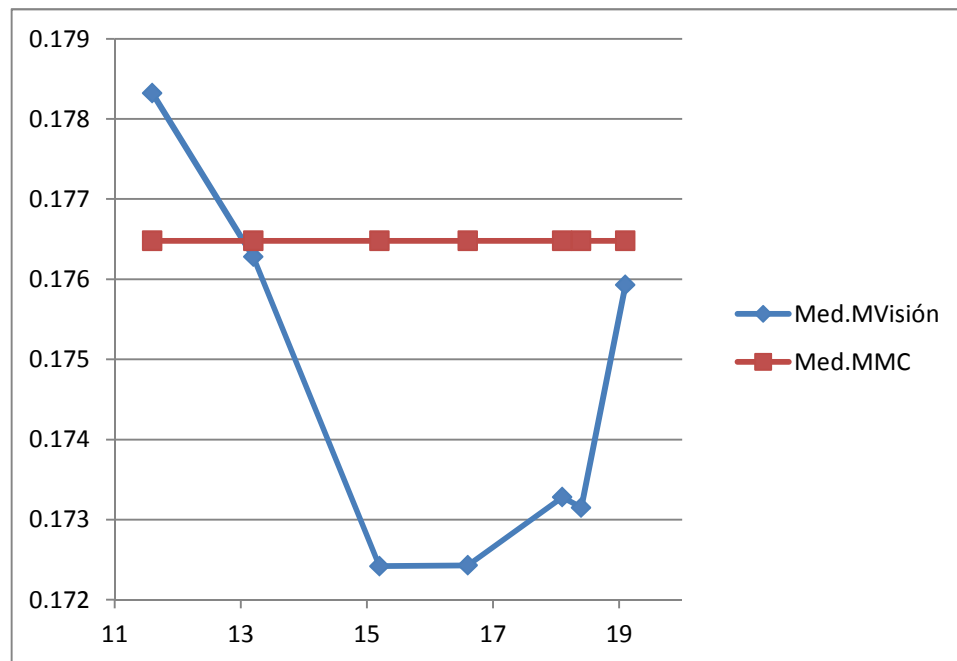
*Figura 36 Anexo VII. Reflejo producido en ganancia 11.6*

A continuación, vamos a realizar el mismo estudio que hemos hecho en la zona del mínimo, para ver el efecto que produce en la planitud la pérdida de puntos.

Los resultados obtenidos son los siguientes.

Ganancia	Media	Desv Estan	Max	Min	Recorrido	Xmax	Ymax
19.1	0.176	0.034	0.300	0.112	0.188	118.980	-18.676
18.4	0.173	0.031	0.284	0.103	0.181	121.230	-20.004
18.1	0.173	0.032	0.282	0.108	0.173	119.060	-18.767
16.6	0.172	0.028	0.277	0.099	0.177	119.070	-18.782
15.2	0.172	0.027	0.262	0.103	0.159	124.450	-21.457
13.2	0.176	0.027	0.260	0.104	0.155	124.880	-21.574
11.6	0.178	0.025	0.262	0.110	0.152	126.900	-22.142
MMC	0.176	0.027	0.234	0.120	0.115	127.440	-22.990

*Tabla 2 Anexo VII. Resultados zona del máximo US1137.*



*Figura 37 Anexo VII. Media zona máximo US1137.*

Comparando esta gráfica con la del mínimo vemos que no se parecen en nada. Como ya hemos comentado esto es debido a la pérdida de puntos por los reflejos, lo cual hace que los resultados no sean válidos.

### Comparación de los máximos y mínimos de Matlab, con los de los archivos informes.

Los datos que obtenemos de los informes son los siguientes:

Ganancia	Xmax	Xmin	Ymax	Ymin	dmax	dmin	Xa0	Ya0	Da0
19.1	119.370	-34.480	-18.654	-27.873	0.300	-0.290	0.000	0.000	43.528
18.4	121.655	-34.225	-19.925	-27.682	0.284	-0.288	0.000	0.000	43.469
18.1	119.550	-34.313	-18.618	-27.454	0.282	-0.286	0.000	0.000	44.389
16.6	119.553	-34.320	-18.628	-27.448	0.277	-0.294	0.000	0.000	43.392
15.2	124.946	-34.095	-21.300	-27.425	0.262	-0.297	0.000	0.000	43.394
13.2	125.325	-34.472	-21.406	-27.518	0.259	-0.316	0.000	0.000	43.459
11.6	127.325	-34.480	-21.937	-27.662	0.262	-0.303	0.000	0.000	43.482
9.8	7.093	-32.589	-23.767	-29.432	0.319	-0.278	0.000	0.000	49.706

Xa1	Ya1	Da1	Xa2	Ya2	Da2	Xa3	Ya3	Da3
131.562	0.212	44.337	0.629	34.017	38.377	131.365	33.917	38.249
131.591	0.280	44.466	0.701	34.119	38.395	131.426	33.978	38.276
131.679	0.338	44.530	0.784	34.248	38.378	131.507	34.068	38.252
131.659	0.334	44.555	0.782	34.261	38.391	131.477	34.082	38.226
131.667	0.337	44.619	0.813	34.260	38.460	131.494	34.089	38.240
131.586	0.355	44.744	0.756	34.289	38.429	131.425	34.089	38.276
131.561	0.354	44.837	0.751	34.363	38.422	131.404	34.163	38.163
133.804	-2.448	43.558	0.527	31.290	38.415	131.173	33.191	38.200

Tabla 3 Anexo VII. Datos obtenidos del archivo informes US1137.

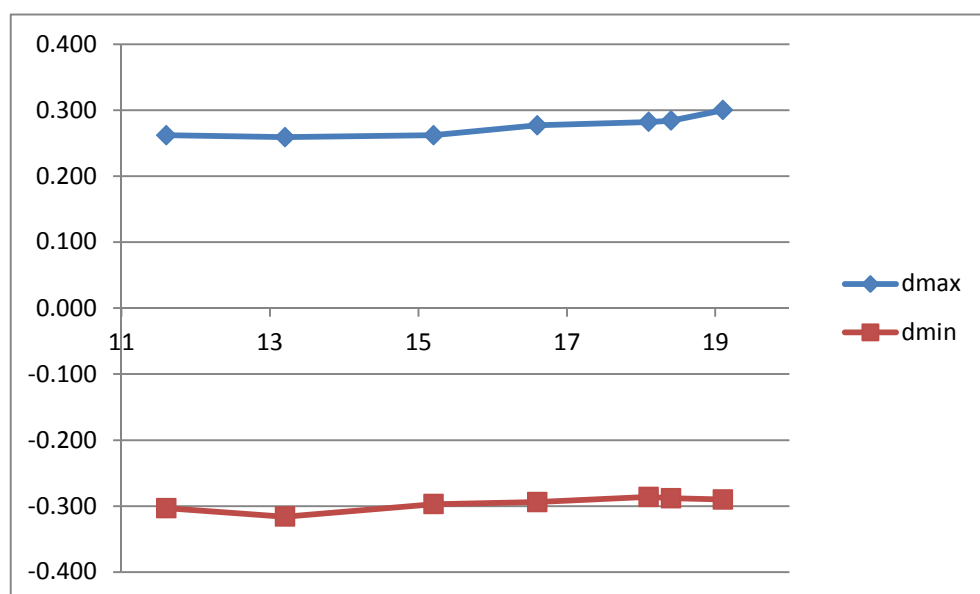


Figura 38 Anexo VII. Máximos y mínimos obtenidos del archivo informes US1137.

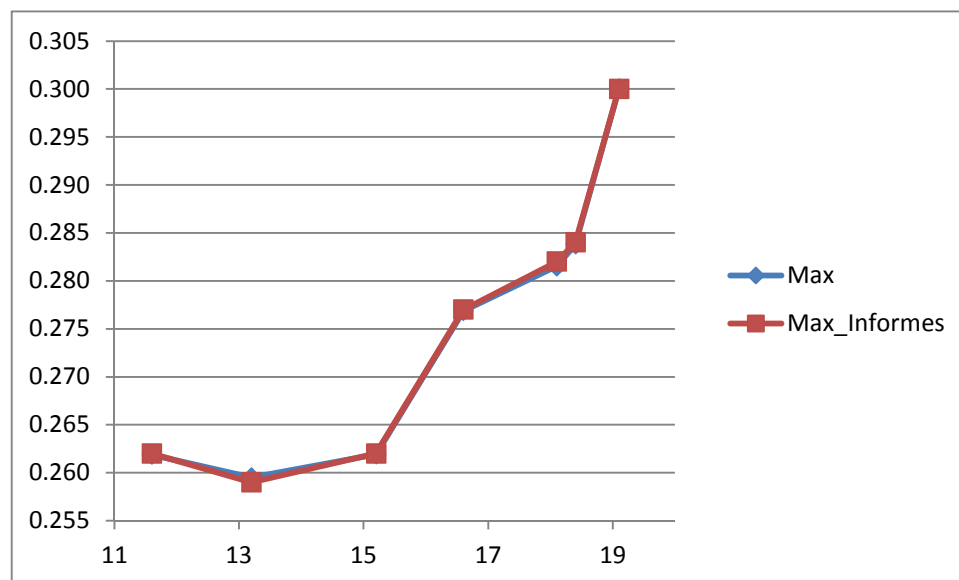
## Anexo VII

En esta gráfica se observa como los máximos siguen una tendencia mientras que los mínimos prácticamente se mantienen constantes. Esta tendencia de los máximos se ve influenciada porque los máximos siempre aparecen por la misma parte del plano.

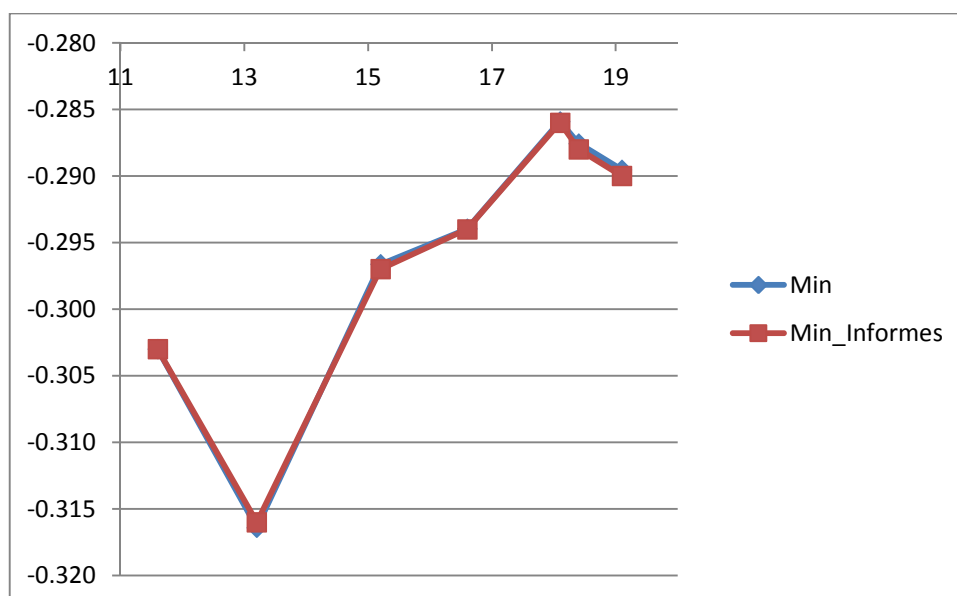
En primer lugar vamos a comparar los valores de los máximos y mínimos obtenidos con Matlab, con los obtenidos con el archivo informes generado por el programa IRENE, US1137

Ganancia	Min	Min_Informes	Max	Max_Informes
19.1	-0.290	-0.290	0.300	0.300
18.4	-0.288	-0.288	0.284	0.284
18.1	-0.286	-0.286	0.282	0.282
16.6	-0.294	-0.294	0.277	0.277
15.2	-0.297	-0.297	0.262	0.262
13.2	-0.316	-0.316	0.260	0.259
11.6	-0.303	-0.303	0.262	0.262

*Tabla 4 Anexo VII. Comparación de los máximos y mínimos obtenidos con Matlab, con los obtenidos del archivo informes US1137.*



*Figura 39 Anexo VII. Comparación de los máximos obtenidos con Matlab, con los obtenidos del archivo informes US1137.*



*Figura 40 Anexo VII. Comparación de los mínimos obtenidos con Matlab, con los obtenidos del archivo informes, US1137*

Se observa cómo los datos obtenidos son idénticos.

De la misma manera comprobaremos si la traslación de los agujeros se corresponde con la traslación de las coordenadas de los mínimos obtenidas con Matlab

Xa0	Ya0	Xa1	Ya1	Xa2	Ya2	Xa3	Ya3	Xmin	Ymin
0.000	0.000	131.562	0.212	0.629	34.017	131.365	33.917	-34.869	-27.895
0.000	0.000	131.591	0.280	0.701	34.119	131.426	33.978	-34.654	-27.761
0.000	0.000	131.679	0.338	0.784	34.248	131.507	34.068	-34.806	-27.603
0.000	0.000	131.659	0.334	0.782	34.261	131.477	34.082	-34.800	-27.602
0.000	0.000	131.667	0.337	0.813	34.260	131.494	34.089	-34.588	-27.581
0.000	0.000	131.586	0.355	0.756	34.289	131.425	34.089	-34.913	-27.686
0.000	0.000	131.561	0.354	0.751	34.363	131.404	34.163	-34.909	-27.867

*Tabla 5 Anexo VII. Posición de agujeros frente a las coordenadas de los mínimos obtenidos con matlab, US1137.*

En las siguientes gráficas se representa cómo varían las coordenadas de los agujeros (excepto del primero que siempre es el origen) y cómo varían las coordenadas del mínimo

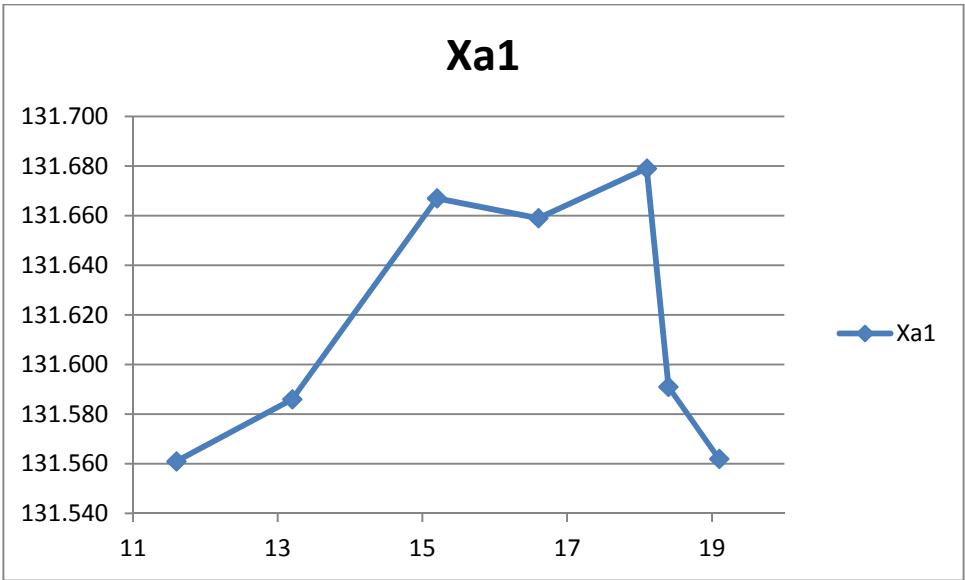


Figura 41 Anexo VII. Coordenada X del agujero 1, US1137.

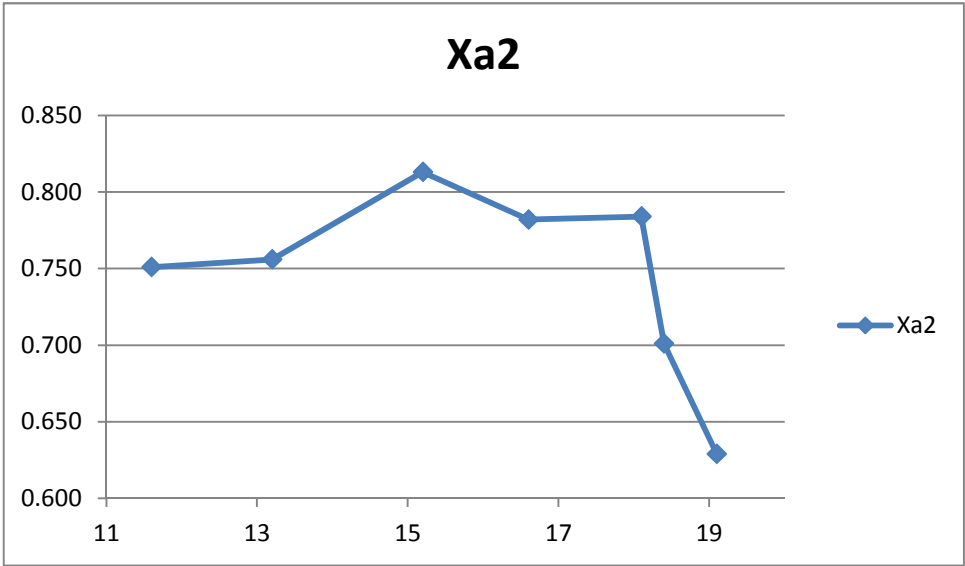


Figura 42 Anexo VII. Coordenada X del agujero 2, US1137.

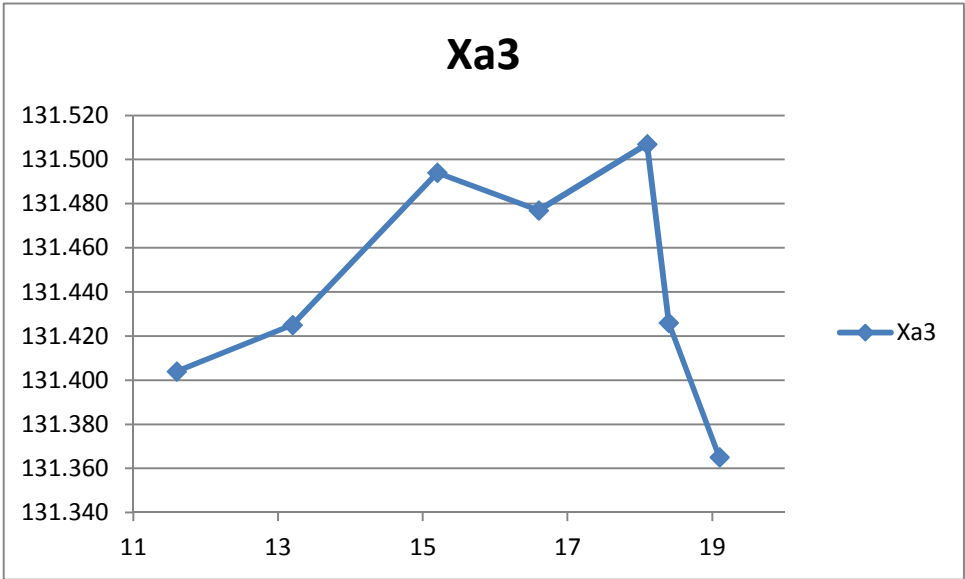


Figura 43 Anexo VII. Coordenada X del agujero 3, US1137.



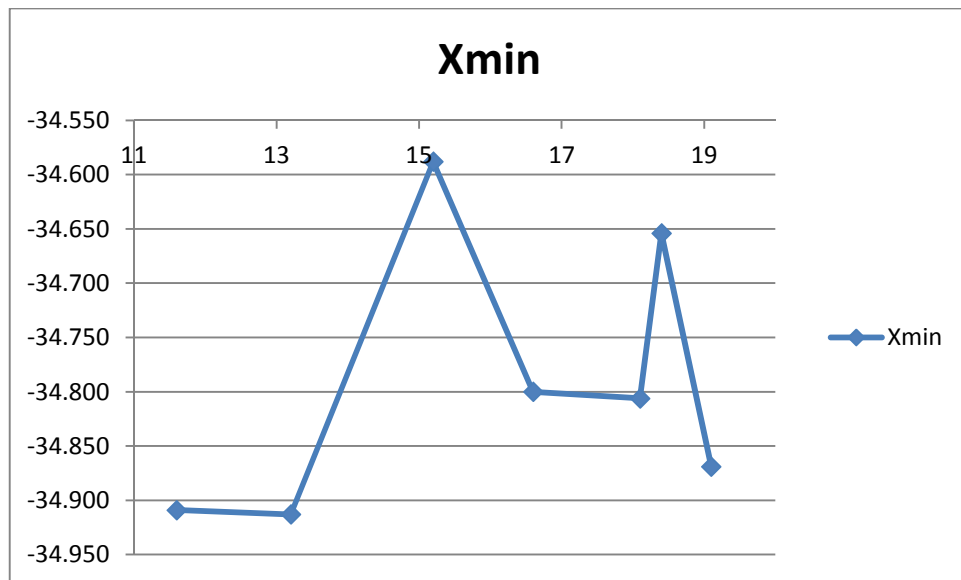


Figura 44 Anexo VII. Coordenada X del mínimo obtenido por Matlab, US1137.

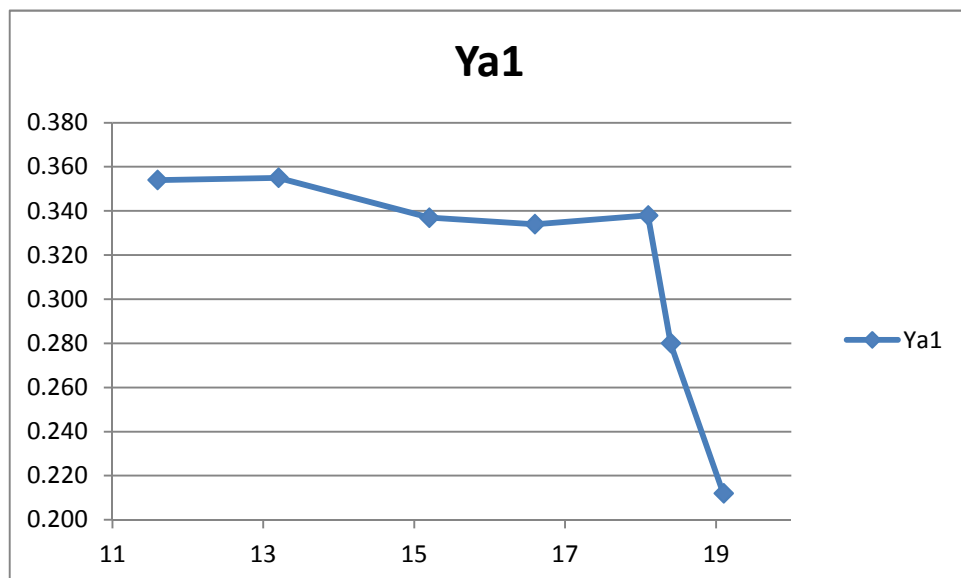


Figura 45 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 1, US1137.

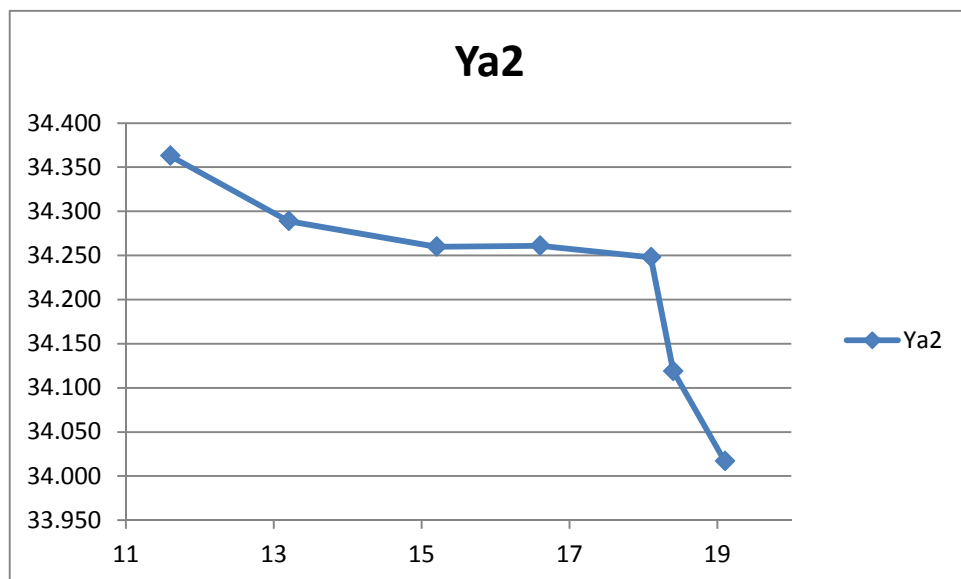


Figura 46 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 2, US1137.

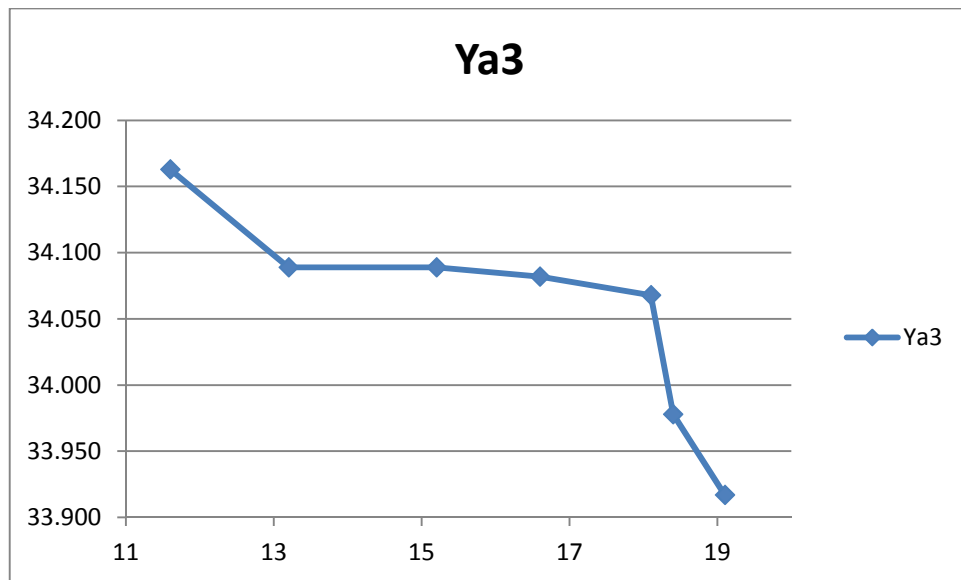


Figura 47 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 3, US1137.

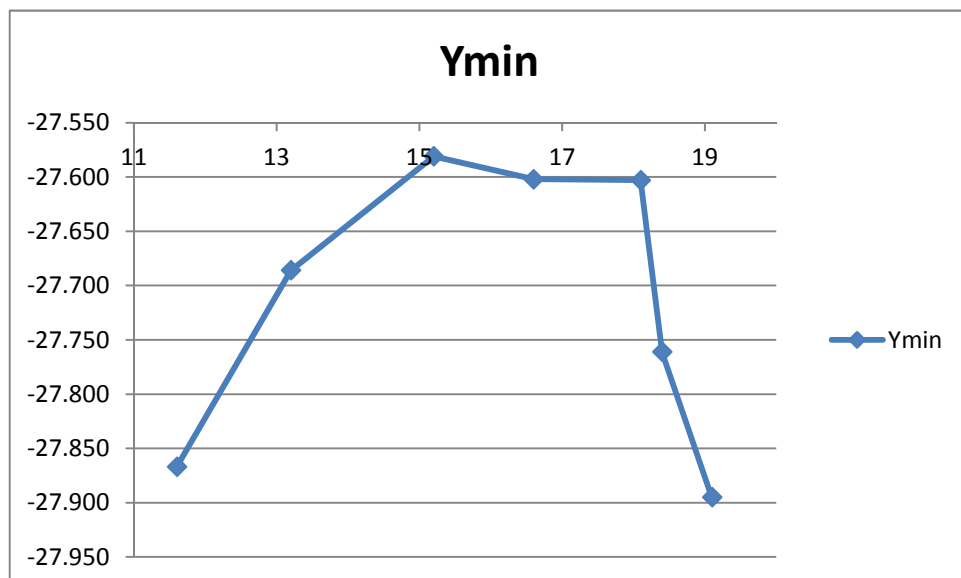


Figura 48 Anexo VII. Coordenada Y del mínimo obtenido por Matlab, US1137.

En estas gráficas podemos observar que la traslación de las coordenadas del mínimo a ganancias bajas no tiene la misma tendencia que la traslación de las coordenadas de los agujeros. Esto es debido a que a ganancias bajas se produce un mal alineamiento.

### Zona 3 (agujero intercambiador)

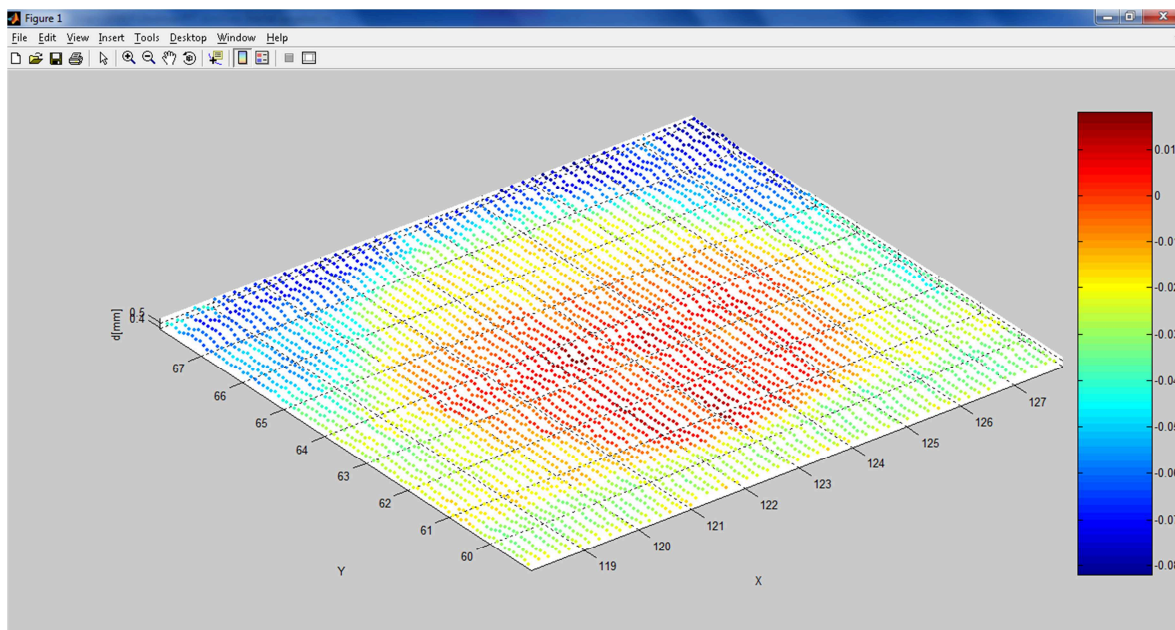


Figura 49 Anexo VII. Delimitación de la zona 3 US1137.

Esta zona se corresponde con uno de los agujeros que tiene el intercambiador de calor. En teoría no debería presentar esta diferencia de planitud, pero esto es así debido al desgaste producido por el intercambiador de calor.

Para realizar un estudio más exhaustivo, realizaremos una comparación con las diferentes ganancias de distintas superficies dentro de la zona anterior.

Comenzaremos realizando la media de la planitud, la desviación estándar y el recorrido en la siguiente superficie, la cual presenta los valores de planitud más altos. Dicha superficie está comprendida entre X(121,125) e Y(61,65).

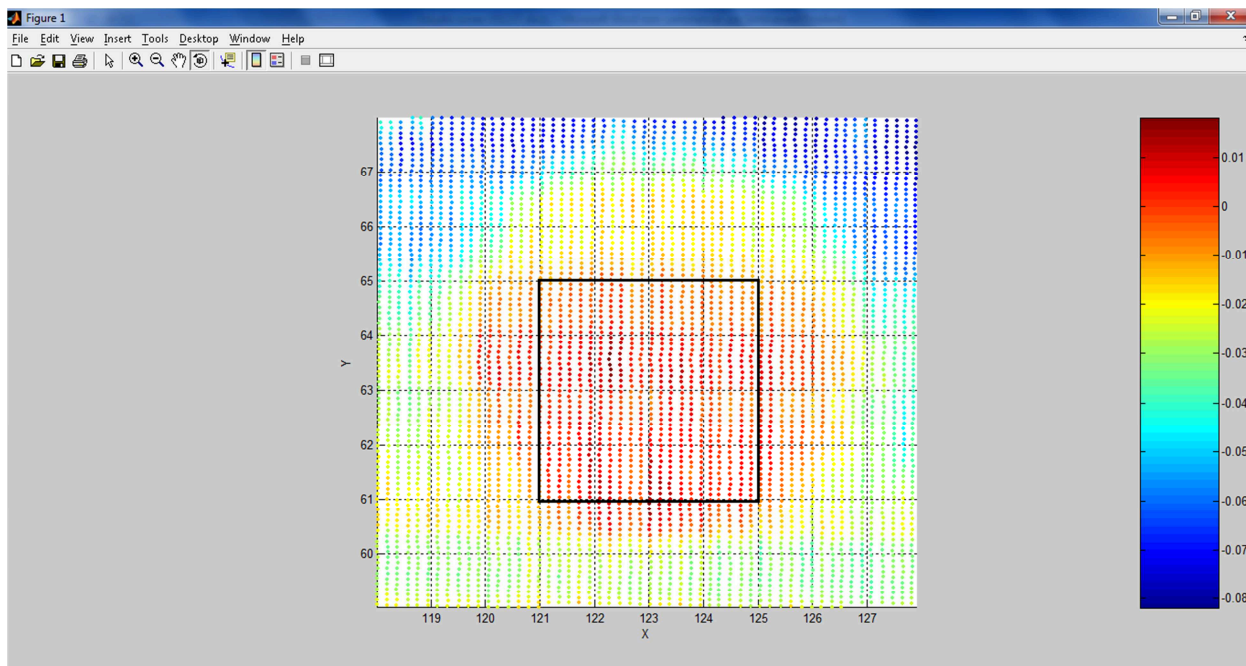


Figura 50 Anexo VII. Delimitación de la parte interna de la zona 3 US1137.

Los resultados que hemos obtenido para cada ganancia son los siguientes:

Ganancia	Media	Desv Estand	Max	Min	Recorrido	Xmax	Ymax
19.1	0.000	0.005	0.018	-0.014	0.032	122.280	63.554
18.4	-0.003	0.003	0.005	-0.012	0.018	122.190	64.141
18.1	0.002	0.004	0.009	-0.012	0.021	122.410	61.226
16.6	-0.004	0.004	0.006	-0.016	0.022	122.240	61.116
15.2	-0.004	0.004	0.003	-0.015	0.018	122.460	62.086
13.2	-0.003	0.003	0.005	-0.015	0.019	122.700	62.072
11.6	-0.003	0.003	0.004	-0.014	0.018	122.350	62.142
MMC	0.015	0.004	0.020	0.001	0.019	121.090	62.213

Tabla 6 Anexo VII. Resultados obtenidos de la parte interna de la zona 3.

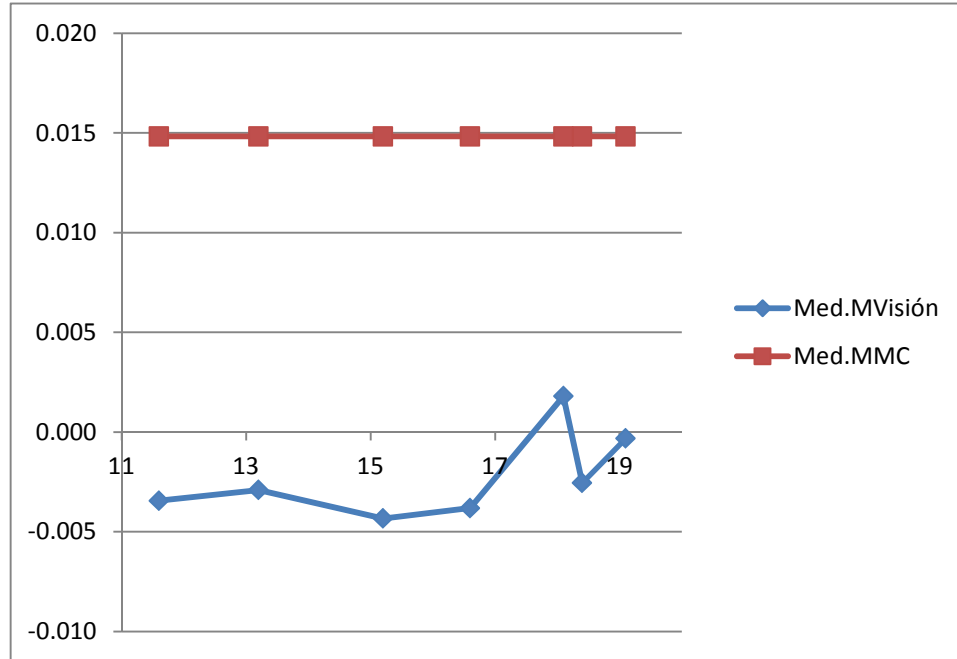


Figura 51 Anexo VII. Media zona interior del agujero US1137.

Al igual que ocurría en la zona del mínimo, se puede apreciar cómo la ganancia 18,1 es la que más se aproxima a los resultados de la MMC al producirse un pico en dicha ganancia.

Lo siguiente que queremos hacer es ver como evoluciona el perfil del agujero a lo largo de una coordenada. Para estudiar dicho perfil, la zona que estudiaremos será X(118,128) e Y(65.5,65.6)

Los resultados que obtenemos son los siguientes.

Coord	G19.1	G18.4	G18.1	G16.6	G15.2	G13.2	G11.6
127.930	-0.037	-0.039	-0.037	-0.037	-0.035	-0.040	-0.039
127.740	-0.038	-0.036	-0.040	-0.040	-0.038	-0.036	-0.039
127.560	-0.036	-0.042	-0.042	-0.035	-0.034	-0.034	-0.033
127.370	-0.029	-0.034	-0.035	-0.033	-0.032	-0.031	-0.029
127.190	-0.028	-0.035	-0.032	-0.029	-0.030	-0.030	-0.028
126.980	-0.020	-0.026	-0.029	-0.022	-0.024	-0.025	-0.022
126.790	-0.017	-0.017	-0.021	-0.019	-0.021	-0.021	-0.021
126.620	-0.010	-0.017	-0.012	-0.015	-0.018	-0.018	-0.018
126.430	-0.009	-0.013	-0.010	-0.015	-0.016	-0.019	-0.013
126.240	-0.007	-0.009	-0.009	-0.011	-0.011	-0.010	-0.008
126.060	0.000	-0.009	-0.002	-0.010	-0.011	-0.007	-0.007
125.900	-0.002	-0.009	-0.005	-0.014	-0.014	-0.010	-0.011
125.700	-0.002	-0.011	-0.007	-0.012	-0.012	-0.014	-0.012

125.510	-0.003	-0.005	-0.004	-0.006	-0.010	-0.009	-0.010
125.320	-0.001	-0.005	-0.001	-0.008	-0.009	-0.007	-0.007
125.140	0.007	-0.004	-0.001	-0.006	-0.008	-0.007	-0.006
124.960	0.003	-0.005	0.000	-0.003	-0.004	-0.005	-0.005
124.780	0.002	-0.005	0.004	-0.004	-0.003	-0.002	-0.003
124.580	0.006	-0.003	0.001	-0.006	-0.005	-0.004	-0.006
124.400	0.006	-0.003	-0.001	-0.007	-0.007	-0.005	-0.006
124.220	-0.004	-0.006	0.001	-0.007	-0.006	-0.006	-0.005
124.040	0.001	-0.004	-0.003	-0.008	-0.008	-0.003	-0.007
123.850	0.003	-0.002	0.002	-0.004	-0.004	-0.006	-0.005
123.670	0.000	-0.004	0.003	-0.005	-0.006	-0.005	-0.006
123.480	0.009	-0.003	-0.002	-0.006	-0.006	-0.002	-0.005
123.290	0.004	-0.005	0.001	-0.007	-0.007	-0.003	-0.005
123.110	0.004	-0.004	-0.002	-0.009	-0.008	-0.005	-0.006
122.920	0.001	-0.007	-0.001	-0.005	-0.006	-0.005	-0.004
122.730	-0.002	-0.002	0.003	-0.004	-0.004	-0.004	-0.003
122.540	0.002	-0.004	0.003	0.000	-0.001	-0.003	0.000
122.540	0.011	-0.001	0.004	0.000	-0.002	0.000	-0.001
122.360	0.018	0.003	0.006	-0.003	-0.002	-0.001	0.001
122.180	0.005	0.002	0.004	-0.003	-0.003	0.000	-0.001
121.980	0.011	0.003	0.003	-0.004	-0.005	-0.001	0.000
121.800	0.004	-0.001	0.003	-0.001	-0.002	-0.002	-0.005
121.620	0.005	-0.003	0.004	-0.005	-0.004	-0.001	-0.001
121.430	0.003	0.004	0.003	-0.006	-0.007	-0.004	-0.003
121.240	-0.003	-0.004	-0.002	-0.008	-0.007	-0.006	-0.006
121.060	-0.002	-0.007	-0.002	-0.006	-0.008	-0.006	-0.005
120.890	0.001	-0.006	0.000	-0.008	-0.007	-0.005	-0.005
120.710	0.004	-0.002	-0.003	-0.006	-0.008	-0.008	-0.006
120.520	-0.005	-0.008	0.001	-0.008	-0.008	-0.006	-0.006
120.330	0.000	-0.003	0.000	-0.010	-0.009	-0.007	-0.005
120.120	-0.001	-0.006	0.000	-0.020	-0.020	-0.009	-0.009
119.950	0.001	-0.007	-0.004	-0.025	-0.026	-0.018	-0.020
119.780	-0.014	-0.016	-0.017	-0.025	-0.025	-0.023	-0.024
119.590	-0.016	-0.016	-0.021	-0.029	-0.029	-0.027	-0.027
119.410	-0.023	-0.023	-0.027	-0.034	-0.030	-0.029	-0.029
119.230	-0.023	-0.029	-0.036	-0.029	-0.029	-0.028	-0.029
119.030	-0.023	-0.031	-0.028	-0.028	-0.030	-0.030	-0.028
118.850	-0.020	-0.026	-0.028	-0.033	-0.033	-0.029	-0.032
118.670	-0.035	-0.027	-0.036	-0.029	-0.029	-0.029	-0.029
118.480	-0.024	-0.035	-0.026	-0.030	-0.032	-0.030	-0.031
118.290	-0.027	-0.027	-0.029	-0.031	-0.031	-0.030	-0.031
118.120	-0.025	-0.031	-0.032	-0.030	-0.030	-0.030	-0.028

*Tabla 7 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 3 Máquina de Visión, US1137.*

Coord	MMC	Coord	MMC	Coord	MMC	Coord	MMC
127.960	-0.004	125.350	0.026	122.990	0.031	120.400	0.027
127.730	-0.005	125.350	0.027	122.750	0.035	120.400	0.028
127.730	-0.004	125.120	0.031	122.750	0.034	120.160	0.017
127.480	-0.008	125.120	0.031	122.530	0.037	120.160	0.020
127.480	-0.007	124.890	0.029	122.530	0.037	119.930	0.011
127.250	-0.003	124.880	0.031	122.290	0.034	119.920	0.010
127.240	-0.002	124.650	0.033	122.290	0.034	119.690	0.003
127.010	0.001	124.650	0.033	122.050	0.034	119.690	0.002
127.010	0.001	124.410	0.031	122.040	0.034	119.450	-0.003
126.780	-0.002	124.410	0.031	121.820	0.036	119.450	-0.002

126.780	-0.001	124.170	0.037	121.810	0.036	119.220	-0.012
126.540	-0.003	124.170	0.037	121.570	0.031	119.210	-0.012
126.540	-0.002	123.940	0.034	121.570	0.032	118.980	-0.011
126.300	-0.003	123.940	0.033	121.340	0.032	118.970	-0.010
126.300	-0.002	123.700	0.037	121.330	0.033	118.740	-0.013
126.070	0.003	123.700	0.035	121.110	0.033	118.740	-0.015
126.070	0.006	123.470	0.036	121.110	0.032	118.510	-0.012
125.830	0.006	123.470	0.034	120.860	0.031	118.500	-0.012
125.830	0.010	123.230	0.036	120.860	0.032	118.270	-0.012
125.590	0.019	123.230	0.036	120.630	0.031	118.260	-0.012
125.590	0.021	122.990	0.031	120.630	0.030	118.040	-0.012

Tabla 8 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 3 MMC, US1137.

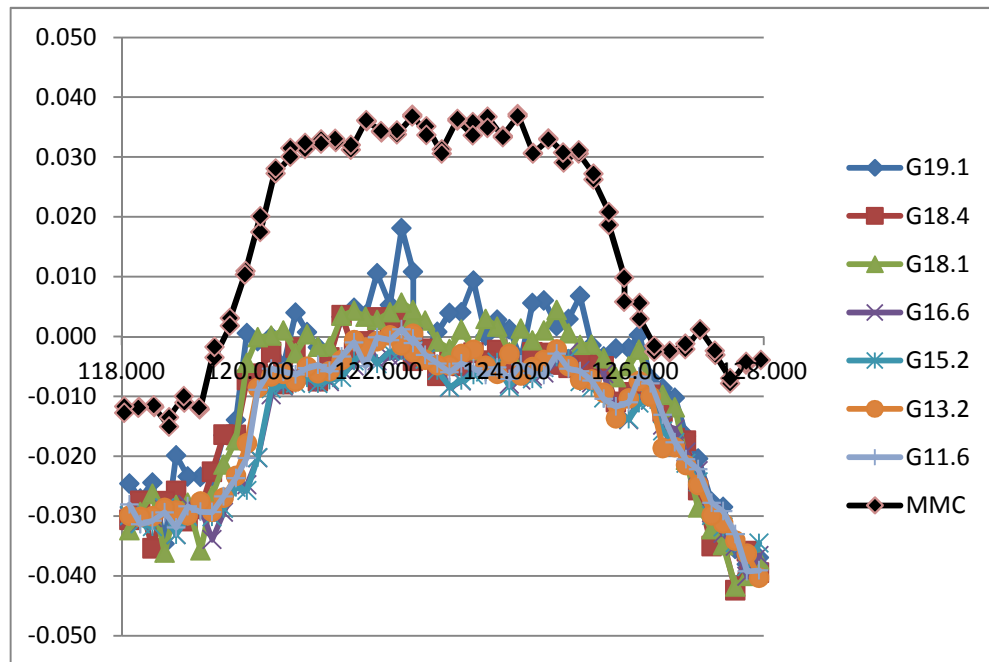


Figura 52 Anexo VII. Perfil de la zona 3 US1137.

Pese a haber filtrado los datos de la MMC, apreciamos variaciones en el perfil que asociamos al ruido.

Para intentar ver mejor los resultados, agregamos una línea de tendencia polinomial de grado 6.

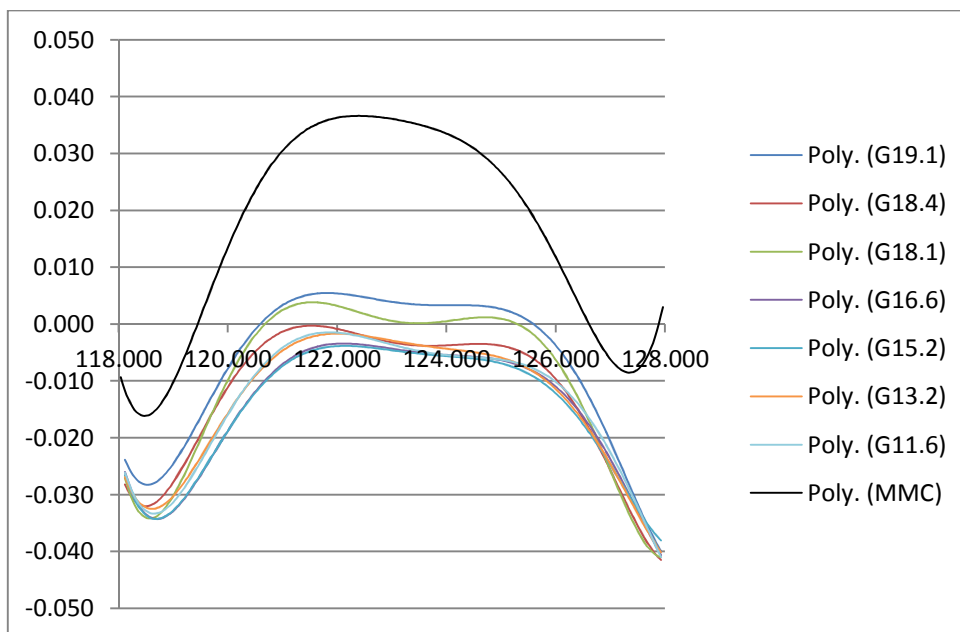


Figura 53 Anexo VII. Línea de tendencia de la zona 3, US1137.

En esta última gráfica se aprecia cómo el perfil que se obtiene con la MMV es similar al obtenido con la MMC, salvo que el perfil de la MMC se encuentra desplazado. Esto puede ser debido al propio error de la MMV y al hecho de que es difícil analizar la misma línea exactamente.

#### Zona 4 (límite del intercambiador)

En esta zona podemos apreciar claramente cómo se ha producido desgaste debido al intercambiador.

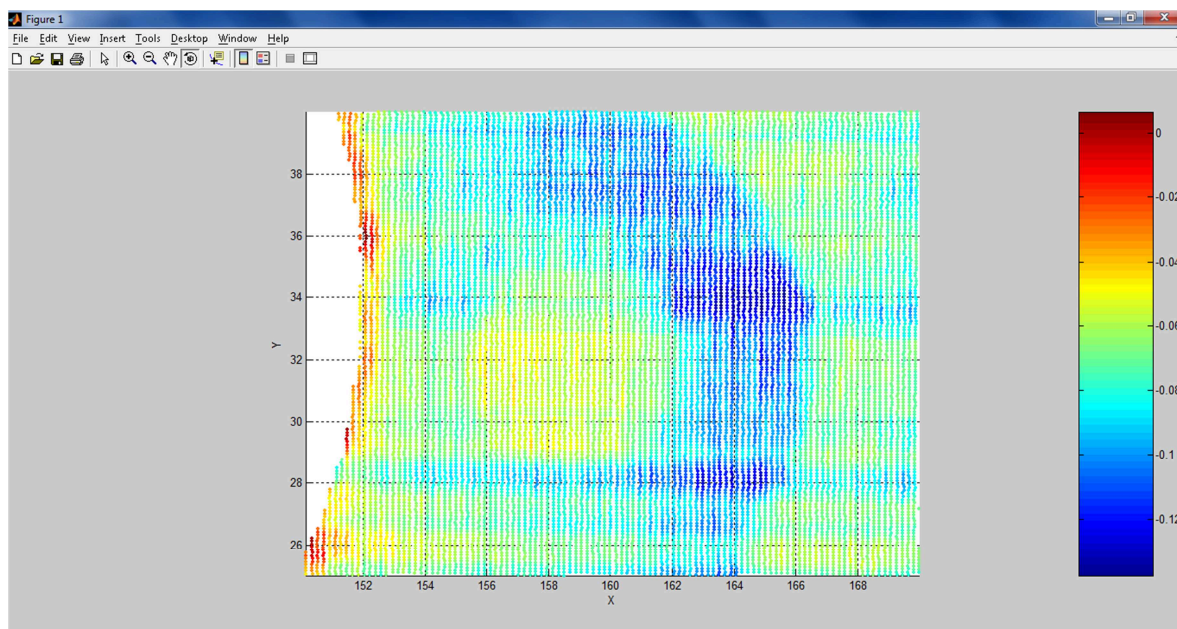


Figura 54 Anexo VII. Delimitación de la zona 4 US1137.

Más concretamente vamos a estudiar cómo varía la planitud a lo largo de la coordenada Y=32. Para conseguirlo aislaremos el plano entre X(150,170) e Y(32,32.1)

## Anexo VII

Los datos obtenidos son los siguientes.

Coord	G19.1	G18.4	G18.1	G16.6	G15.2	G13.2	G11.6
169.890	-0.066	-0.067	-0.081	-0.069	-0.067	-0.067	-0.067
169.710	-0.067	-0.067	-0.083	-0.070	-0.067	-0.067	-0.065
169.520	-0.071	-0.063	-0.077	-0.067	-0.072	-0.072	-0.067
169.330	-0.067	-0.069	-0.080	-0.073	-0.066	-0.064	-0.065
169.140	-0.067	-0.065	-0.081	-0.067	-0.069	-0.065	-0.069
168.960	-0.066	-0.065	-0.080	-0.073	-0.069	-0.067	-0.065
168.770	-0.066	-0.064	-0.076	-0.069	-0.067	-0.068	-0.063
168.590	-0.066	-0.066	-0.072	-0.065	-0.066	-0.064	-0.063
168.400	-0.064	-0.066	-0.076	-0.067	-0.066	-0.064	-0.065
168.220	-0.066	-0.064	-0.078	-0.066	-0.064	-0.066	-0.063
168.040	-0.065	-0.065	-0.078	-0.064	-0.065	-0.064	-0.063
167.840	-0.059	-0.064	-0.073	-0.065	-0.063	-0.062	-0.063
167.670	-0.065	-0.064	-0.073	-0.064	-0.066	-0.064	-0.064
167.490	-0.069	-0.066	-0.081	-0.069	-0.064	-0.063	-0.064
167.300	-0.066	-0.064	-0.076	-0.063	-0.068	-0.067	-0.067
167.300	-0.072	-0.067	-0.081	-0.068	-0.070	-0.065	-0.066
167.120	-0.066	-0.071	-0.082	-0.072	-0.070	-0.068	-0.067
166.920	-0.074	-0.072	-0.085	-0.071	-0.081	-0.084	-0.075
166.760	-0.078	-0.082	-0.096	-0.093	-0.093	-0.104	-0.089
166.570	-0.088	-0.088	-0.095	-0.094	-0.108	-0.111	-0.105
166.400	-0.087	-0.094	-0.100	-0.107	-0.104	-0.112	-0.113
166.210	-0.099	-0.116	-0.104	-0.114	-0.113	-0.113	-0.114
166.020	-0.112	-0.109	-0.105	-0.111	-0.117	-0.112	-0.115
165.820	-0.098	-0.124	-0.107	-0.113	-0.116	-0.114	-0.116
165.650	-0.115	-0.124	-0.111	-0.115	-0.115	-0.115	-0.115
165.470	-0.109	-0.122	-0.110	-0.114	-0.116	-0.112	-0.114
165.280	-0.113	-0.123	-0.107	-0.113	-0.115	-0.117	-0.115
165.100	-0.124	-0.125	-0.109	-0.116	-0.118	-0.114	-0.116
164.890	-0.091	-0.116	-0.109	-0.114	-0.117	-0.110	-0.114
164.720	-0.099	-0.118	-0.108	-0.118	-0.115	-0.110	-0.112
164.540	-0.100	-0.110	-0.109	-0.113	-0.115	-0.115	-0.114
164.350	-0.106	-0.120	-0.109	-0.111	-0.118	-0.116	-0.116
164.160	-0.109	-0.113	-0.108	-0.117	-0.108	-0.113	-0.115
163.980	-0.096	-0.114	-0.107	-0.109	-0.115	-0.114	-0.114
163.800	-0.095	-0.113	-0.106	-0.117	-0.114	-0.112	-0.113
163.620	-0.104	-0.105	-0.108	-0.112	-0.114	-0.113	-0.113
163.430	-0.091	-0.111	-0.107	-0.115	-0.113	-0.109	-0.111
163.240	-0.098	-0.104	-0.104	-0.116	-0.111	-0.110	-0.111
163.050	-0.086	-0.097	-0.105	-0.112	-0.105	-0.109	-0.108
162.870	-0.084	-0.092	-0.102	-0.110	-0.099	-0.108	-0.105
162.690	-0.085	-0.086	-0.099	-0.094	-0.106	-0.104	-0.099
162.490	-0.082	-0.073	-0.101	-0.112	-0.074	-0.087	-0.076
162.300	-0.071	-0.065	-0.089	-0.082	-0.066	-0.067	-0.065
162.120	-0.068	-0.062	-0.074	-0.066	-0.065	-0.063	-0.064
161.930	-0.068	-0.061	-0.074	-0.066	-0.062	-0.063	-0.061
161.740	-0.066	-0.060	-0.067	-0.062	-0.062	-0.062	-0.061
161.550	-0.064	-0.057	-0.069	-0.063	-0.060	-0.059	-0.061
161.380	-0.062	-0.057	-0.067	-0.061	-0.062	-0.059	-0.059
161.190	-0.066	-0.054	-0.068	-0.060	-0.057	-0.054	-0.055
161.000	-0.065	-0.056	-0.067	-0.058	-0.058	-0.058	-0.058



160.820	-0.062	-0.052	-0.061	-0.057	-0.057	-0.055	-0.054
160.630	-0.061	-0.052	-0.063	-0.055	-0.058	-0.057	-0.057
160.440	-0.056	-0.051	-0.059	-0.056	-0.056	-0.055	-0.056
160.250	-0.060	-0.050	-0.058	-0.056	-0.053	-0.055	-0.055
160.070	-0.062	-0.049	-0.061	-0.053	-0.054	-0.054	-0.052
159.870	-0.056	-0.054	-0.057	-0.054	-0.056	-0.056	-0.056
159.700	-0.054	-0.050	-0.055	-0.052	-0.056	-0.053	-0.053
159.530	-0.052	-0.050	-0.061	-0.058	-0.054	-0.053	-0.052
159.330	-0.061	-0.047	-0.053	-0.053	-0.055	-0.053	-0.053
159.140	-0.059	-0.050	-0.058	-0.054	-0.054	-0.053	-0.051
158.970	-0.049	-0.051	-0.050	-0.054	-0.051	-0.051	-0.052
158.780	-0.056	-0.049	-0.051	-0.050	-0.052	-0.050	-0.052
158.600	-0.059	-0.050	-0.051	-0.051	-0.054	-0.052	-0.051
158.420	-0.051	-0.048	-0.050	-0.051	-0.053	-0.053	-0.053
158.220	-0.057	-0.044	-0.055	-0.055	-0.052	-0.053	-0.050
158.040	-0.055	-0.049	-0.051	-0.050	-0.051	-0.051	-0.050
157.860	-0.055	-0.049	-0.051	-0.052	-0.052	-0.050	-0.052
157.670	-0.048	-0.049	-0.052	-0.051	-0.053	-0.050	-0.053
157.480	-0.054	-0.041	-0.055	-0.052	-0.054	-0.053	-0.050
157.270	-0.051	-0.050	-0.053	-0.054	-0.050	-0.049	-0.049
157.100	-0.051	-0.045	-0.048	-0.049	-0.051	-0.049	-0.051
156.920	-0.049	-0.047	-0.050	-0.049	-0.050	-0.049	-0.049
156.730	-0.055	-0.048	-0.050	-0.049	-0.051	-0.048	-0.051
156.730	-0.050	-0.047	-0.052	-0.052	-0.052	-0.050	-0.051
156.540	-0.052	-0.048	-0.049	-0.051	-0.051	-0.050	-0.050
156.370	-0.052	-0.048	-0.052	-0.051	-0.054	-0.051	-0.051
156.180	-0.056	-0.049	-0.054	-0.051	-0.050	-0.049	-0.050
155.990	-0.050	-0.055	-0.049	-0.050	-0.050	-0.048	-0.046
155.820	-0.048	-0.062	-0.055	-0.051	-0.055	-0.053	-0.053
155.620	-0.057	-0.064	-0.060	-0.053	-0.059	-0.057	-0.058
155.440	-0.055	-0.065	-0.068	-0.059	-0.065	-0.063	-0.063
155.260	-0.068	-0.063	-0.075	-0.069	-0.063	-0.063	-0.064
155.070	-0.070	-0.066	-0.075	-0.064	-0.066	-0.067	-0.065
154.890	-0.067	-0.068	-0.074	-0.065	-0.067	-0.065	-0.069
154.710	-0.065	-0.065	-0.076	-0.065	-0.067	-0.066	-0.066
154.530	-0.064	-0.059	-0.079	-0.068	-0.066	-0.067	-0.066
154.340	-0.074	-0.059	-0.076	-0.067	-0.067	-0.062	-0.061
154.140	-0.067	-0.068	-0.070	-0.064	-0.062	-0.062	-0.062
153.970	-0.061	-0.063	-0.066	-0.061	-0.061	-0.064	-0.065
153.780	-0.066	-0.059	-0.078	-0.065	-0.066	-0.065	-0.063
153.600	-0.062	-0.061	-0.068	-0.063	-0.063	-0.064	-0.063
153.420	-0.064	-0.060	-0.069	-0.063	-0.062	-0.061	-0.062
153.230	-0.060	-0.059	-0.070	-0.065	-0.061	-0.061	-0.061
153.040	-0.063	-0.060	-0.071	-0.063	-0.061	-0.061	-0.063
152.850	-0.060	-0.055	-0.069	-0.061	-0.065	-0.061	-0.060
152.670	-0.057	-0.051	-0.071	-0.061	-0.061	-0.061	-0.060
152.480	-0.047	-0.050	-0.063	-0.057	-0.059	-0.060	-0.057
152.270	-0.029	-0.045	-0.059	-0.054	-0.056	-0.056	-0.055

*Tabla 9 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 4 Máquina de Visión, US1137.*

Coord	MMC	Coord	MMC
151.520	-0.082	160.700	-0.067

152.220	-0.076	161.400	-0.079
152.930	-0.078	162.120	-0.099
153.630	-0.084	162.830	-0.113
154.340	-0.083	163.530	-0.113
155.050	-0.082	164.250	-0.115
155.750	-0.071	164.950	-0.125
156.460	-0.063	165.660	-0.111
157.170	-0.066	166.380	-0.085
157.880	-0.056	167.080	-0.078
158.580	-0.066	167.780	-0.080
159.280	-0.063	168.490	-0.086
160.000	-0.062	169.190	-0.082
		169.900	-0.089

Tabla 10 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 4 MMC, US1137.

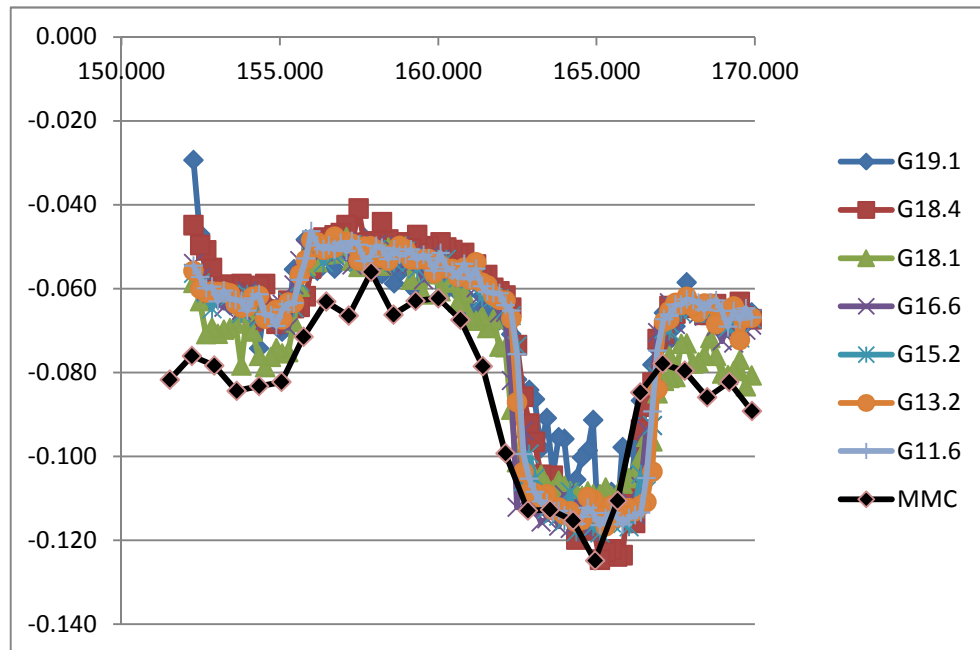
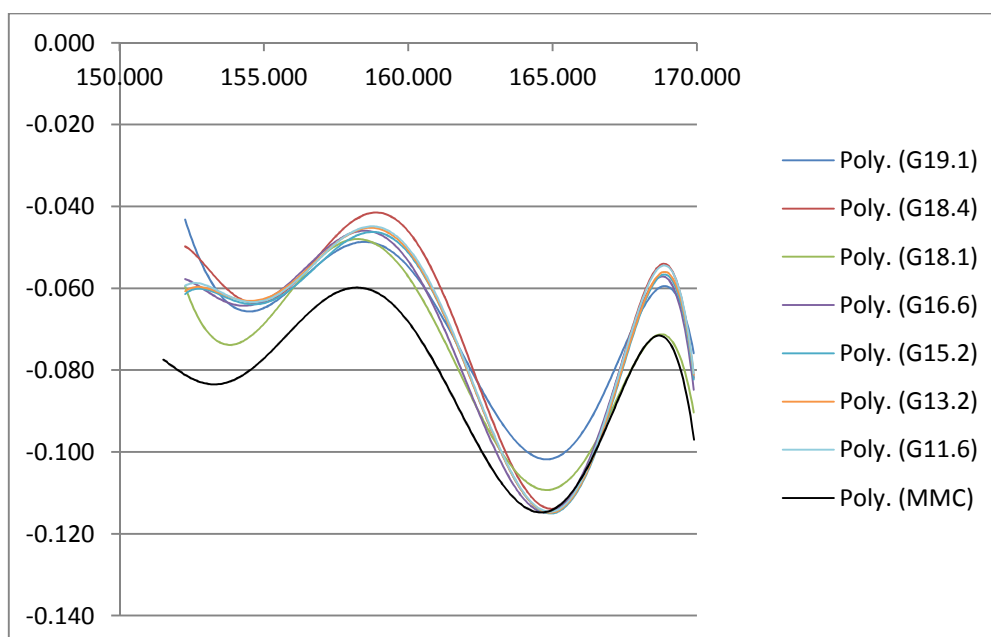


Figura 55 Anexo VII. Perfil de la zona 4 US1137.



*Figura 56 Anexo VII. Línea de tendencia de la zona 4, US1137.*

Viendo esta última gráfica, vemos cómo se sigue también la misma tendencia en los resultados obtenidos con la MMV y los obtenidos con la MMC. Comparando la línea de la MMC con el resto, vemos que a la que más se aproxima es la de 18,1.

## US2003

### Mapeados de las piezas enteras

Para la siguiente pieza vamos a repetir los pasos que hemos realizado con la pieza anterior.

Comenzamos comparando los mapeados obtenidos con Matlab, con los del programa IRENE y la MMC.

• **G19.1**

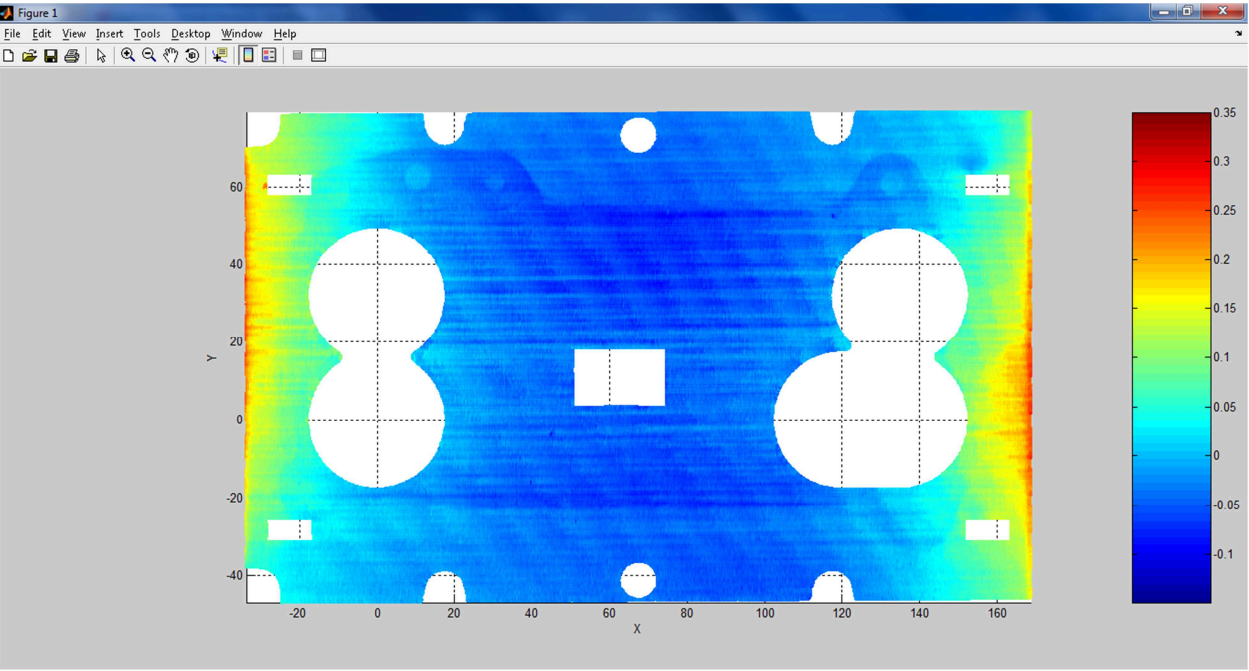


Figura 57 Anexo VII. Mapeado Matlab US2003, ganancia 19'1.

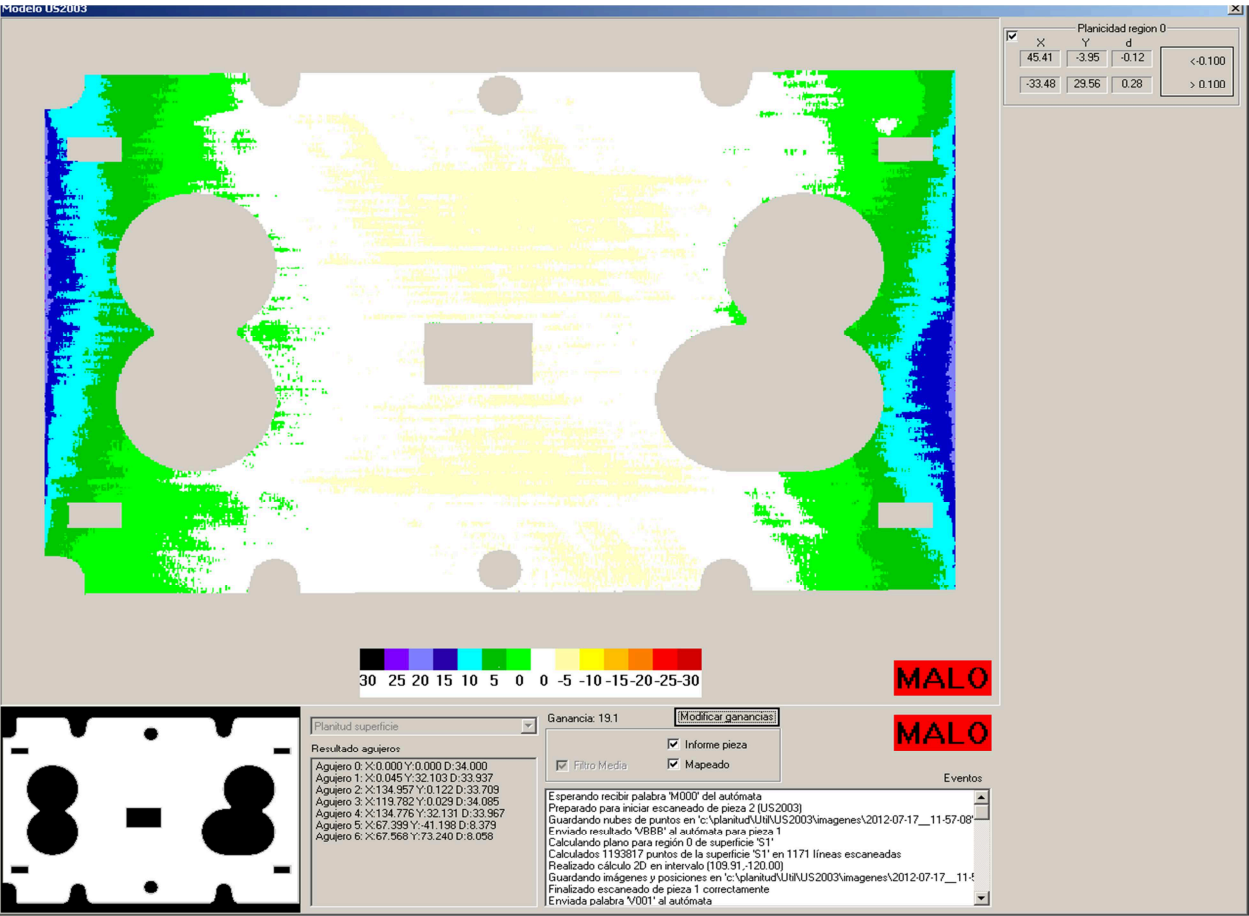


Figura 58 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2003, ganancia 19'1.

• G18.4

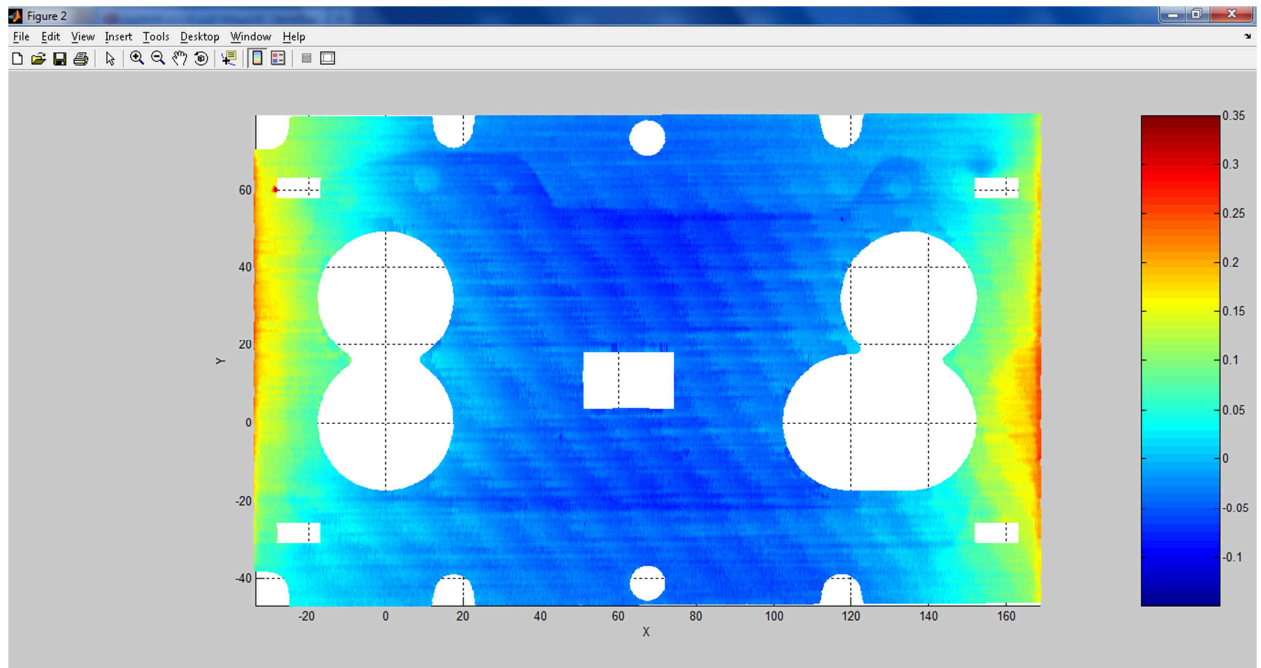


Figura 59 Anexo VII. Mapeado Matlab US2003, ganancia 18'4.

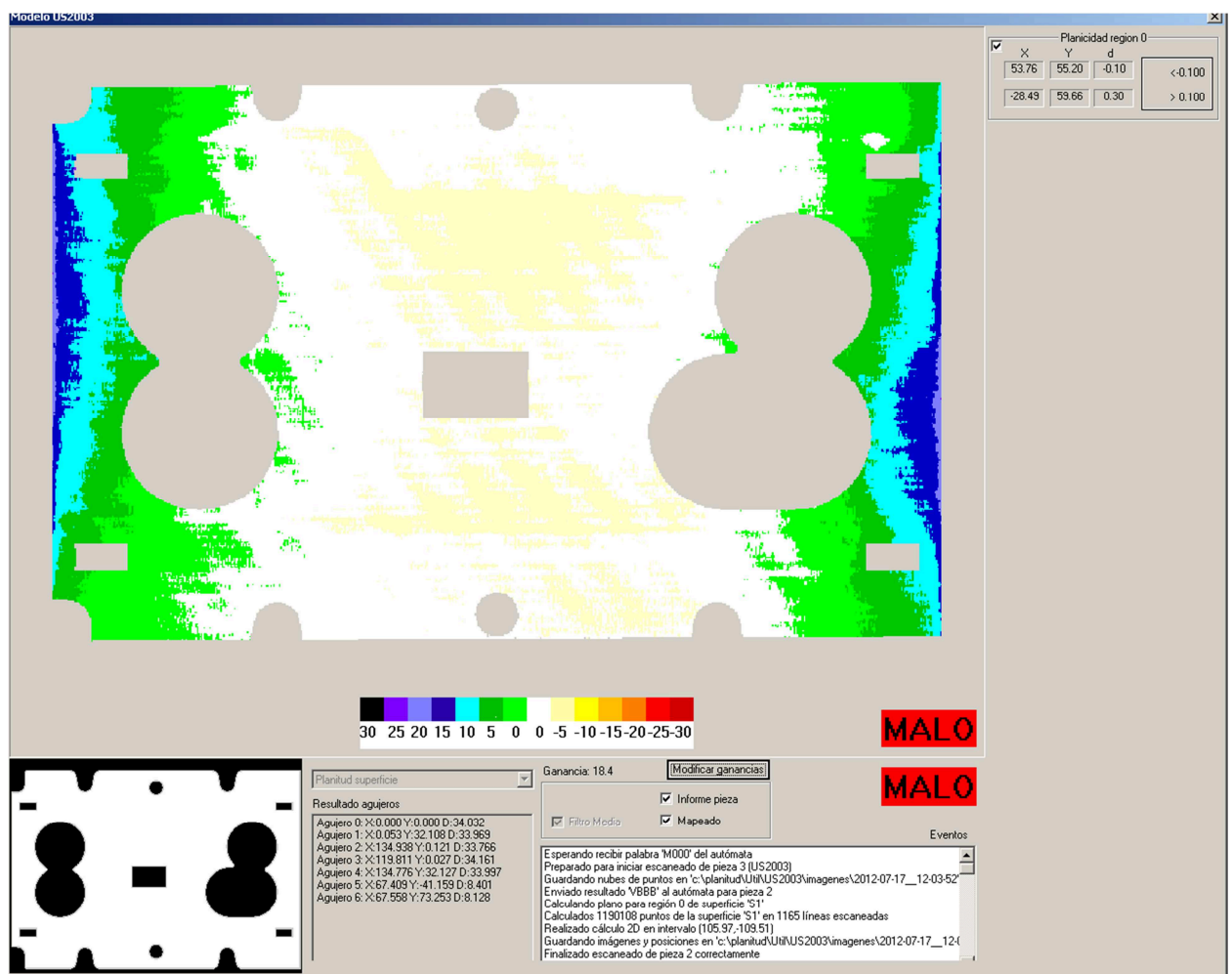


Figura 60 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2003, ganancia 18'4.

• **G18.1**

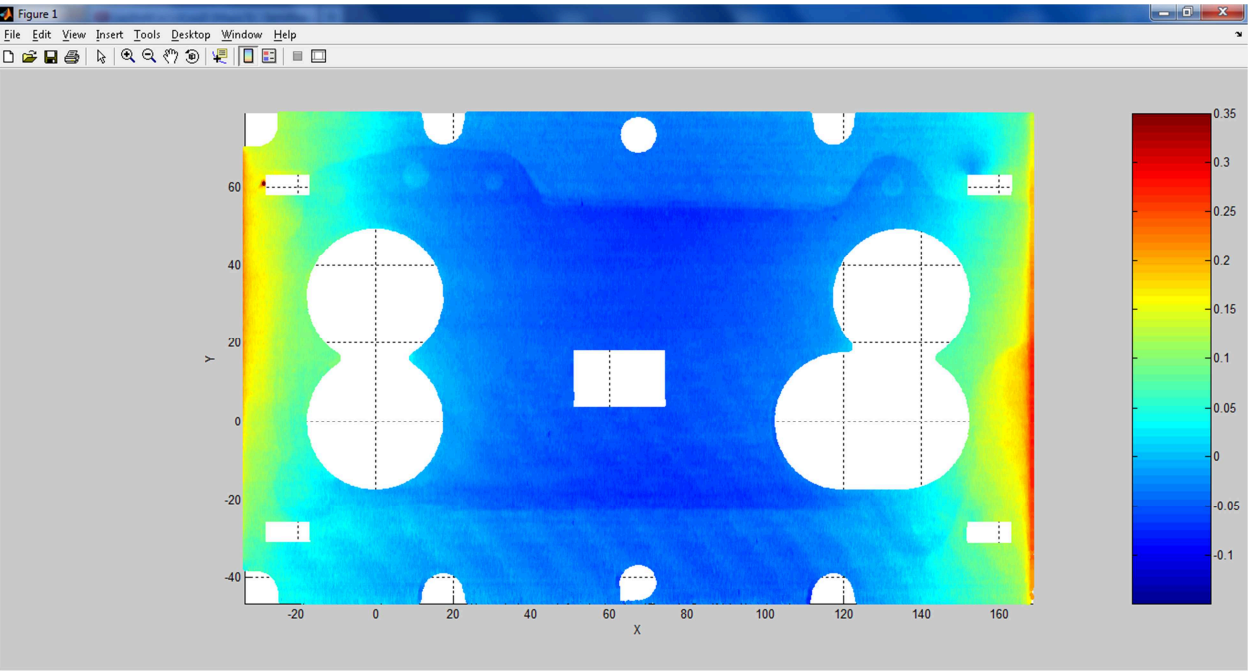


Figura 61 Anexo VII. Mapeado Matlab US2003, ganancia 18'1.

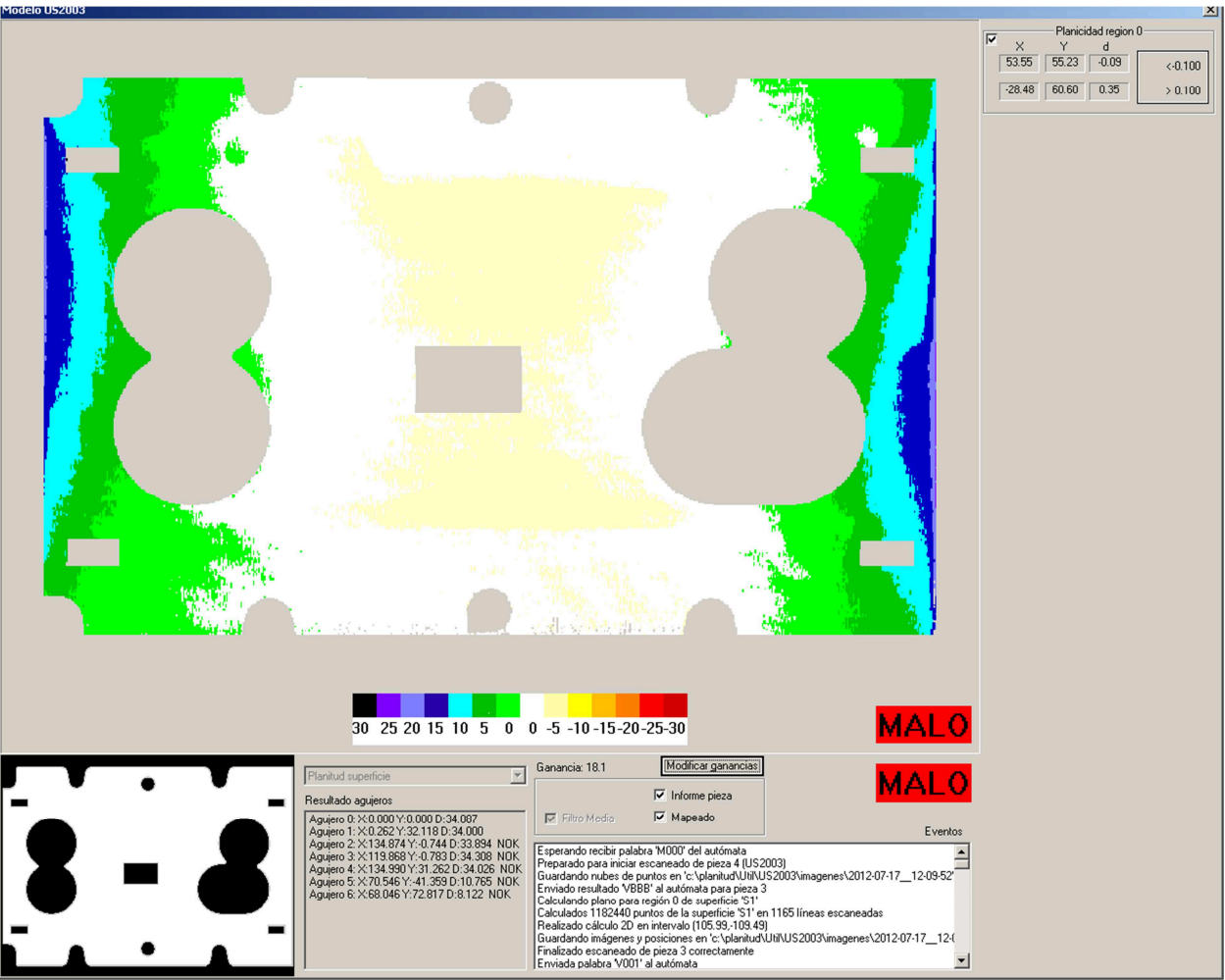


Figura 62 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2003, ganancia 18'1.



• G16.6

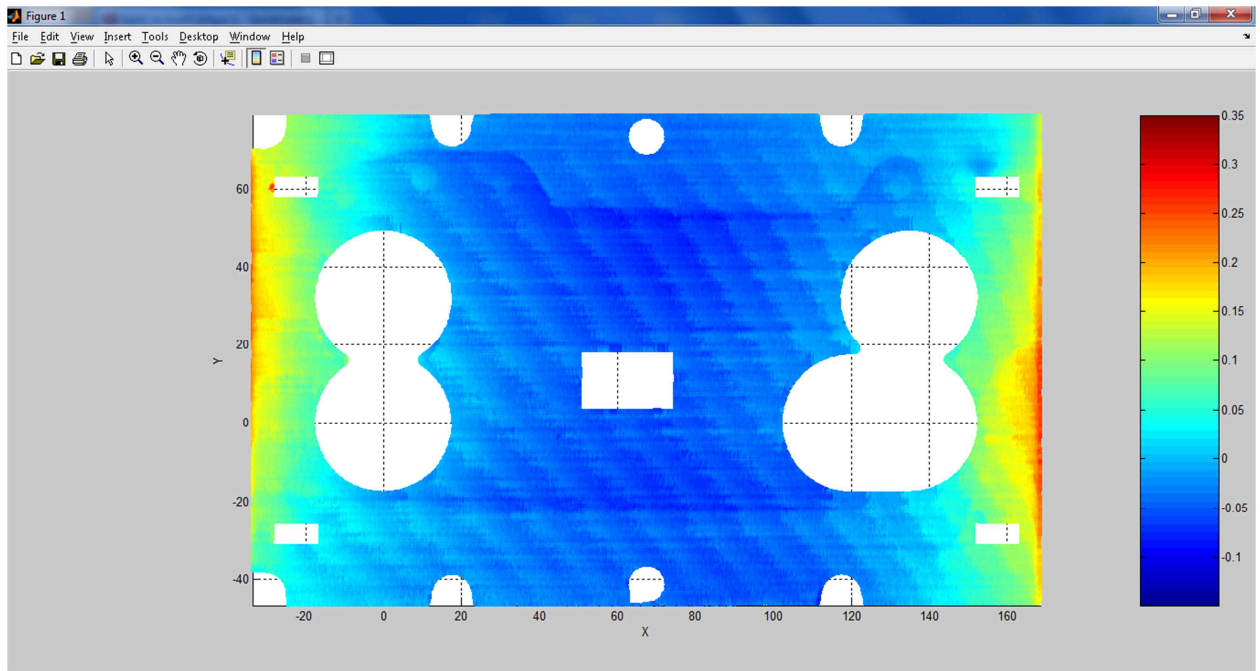


Figura 63 Anexo VII. Mapeado Matlab US2003, ganancia 16'6.

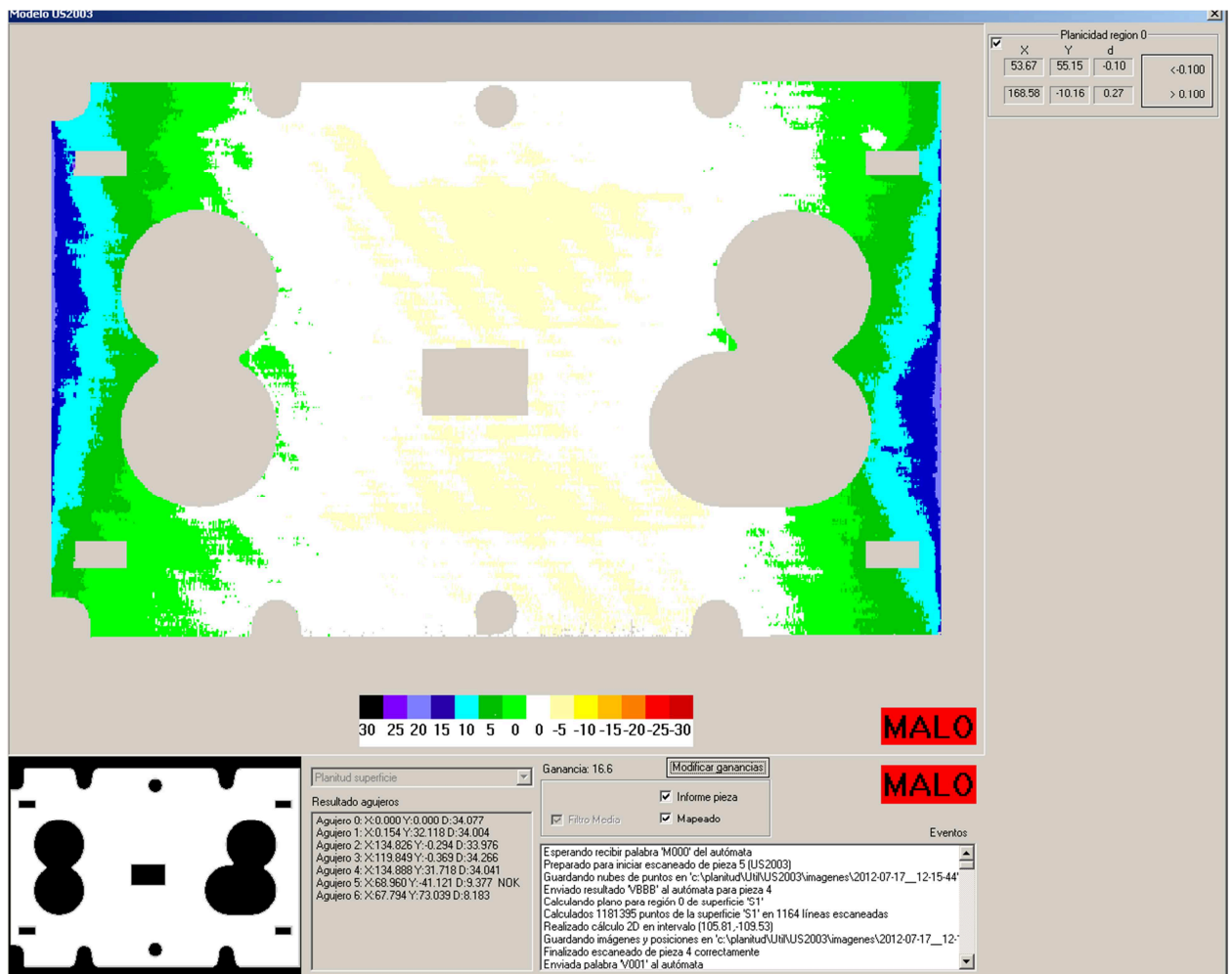


Figura 64 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2003, ganancia 16'6.

• **G15.2**

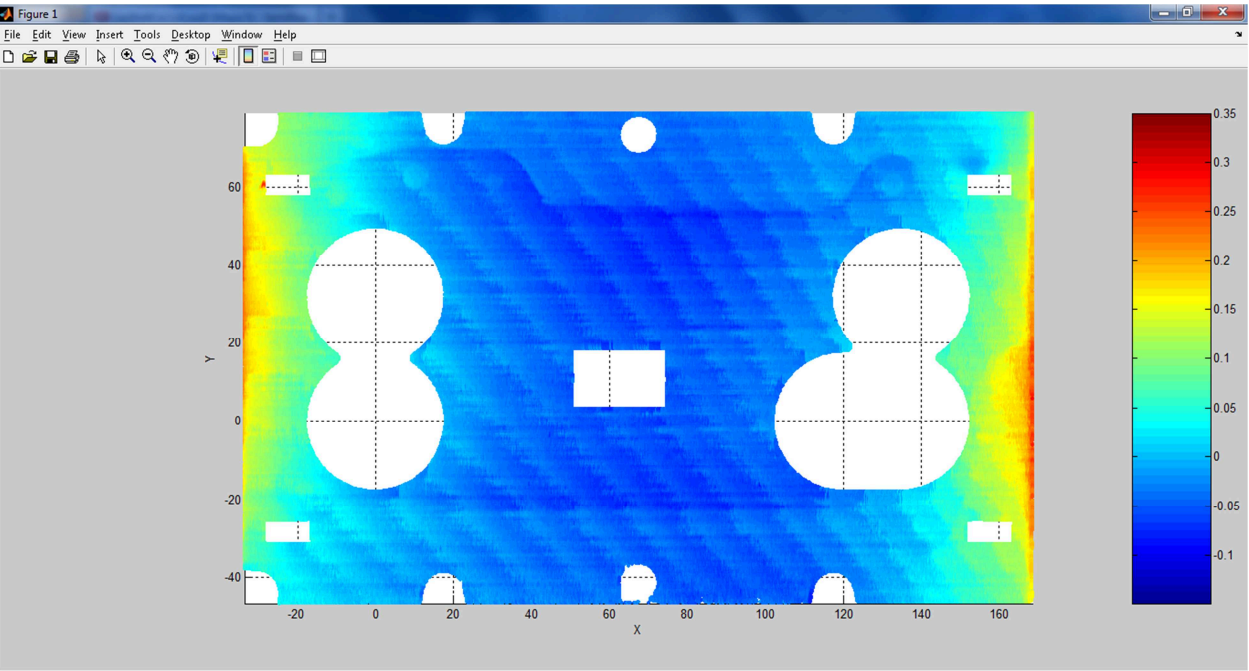


Figura 65 Anexo VII. Mapeado Matlab US2003, ganancia 15'2.

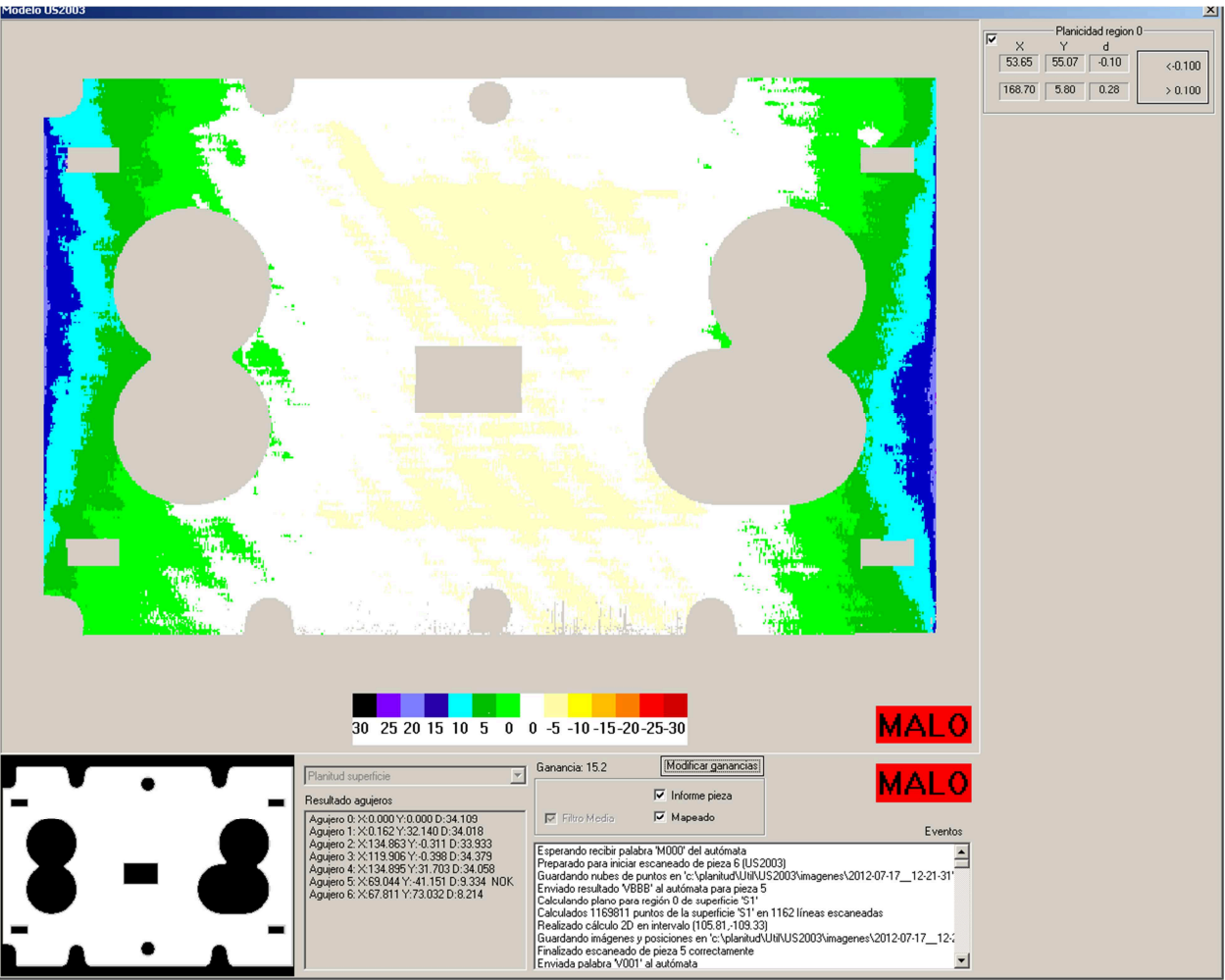


Figura 66 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2003, ganancia 15'2.



• G13.2

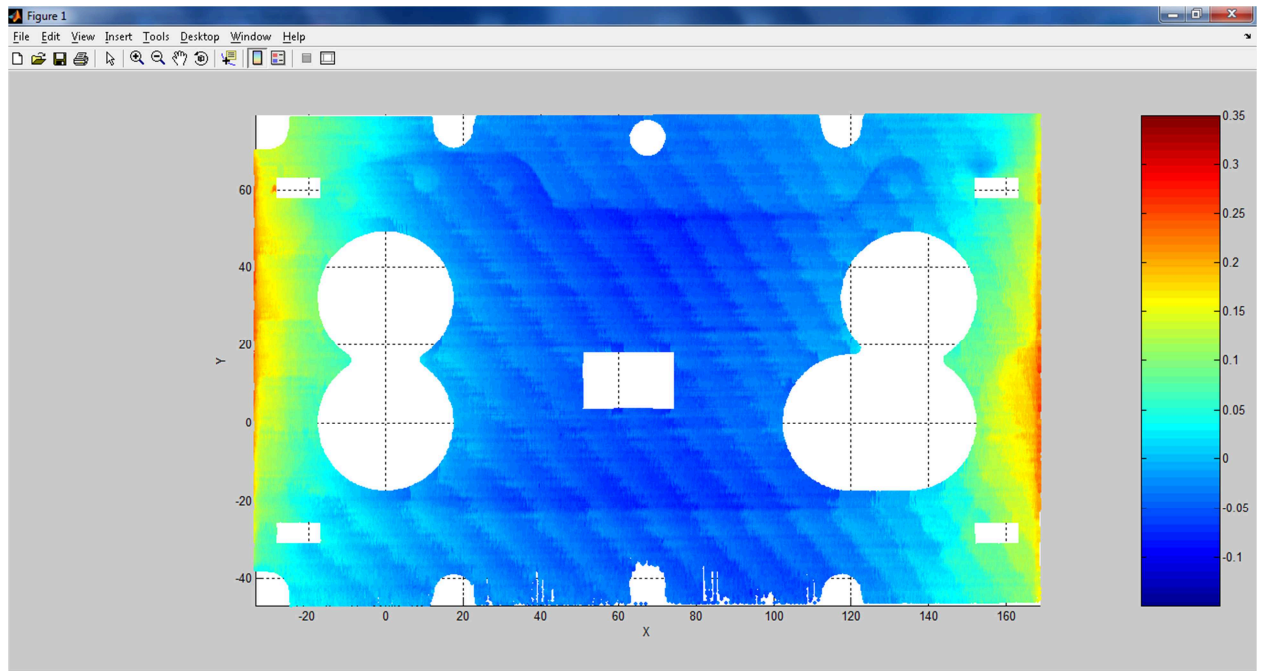


Figura 67 Anexo VII. Mapeado Matlab US2003, ganancia 13'2.

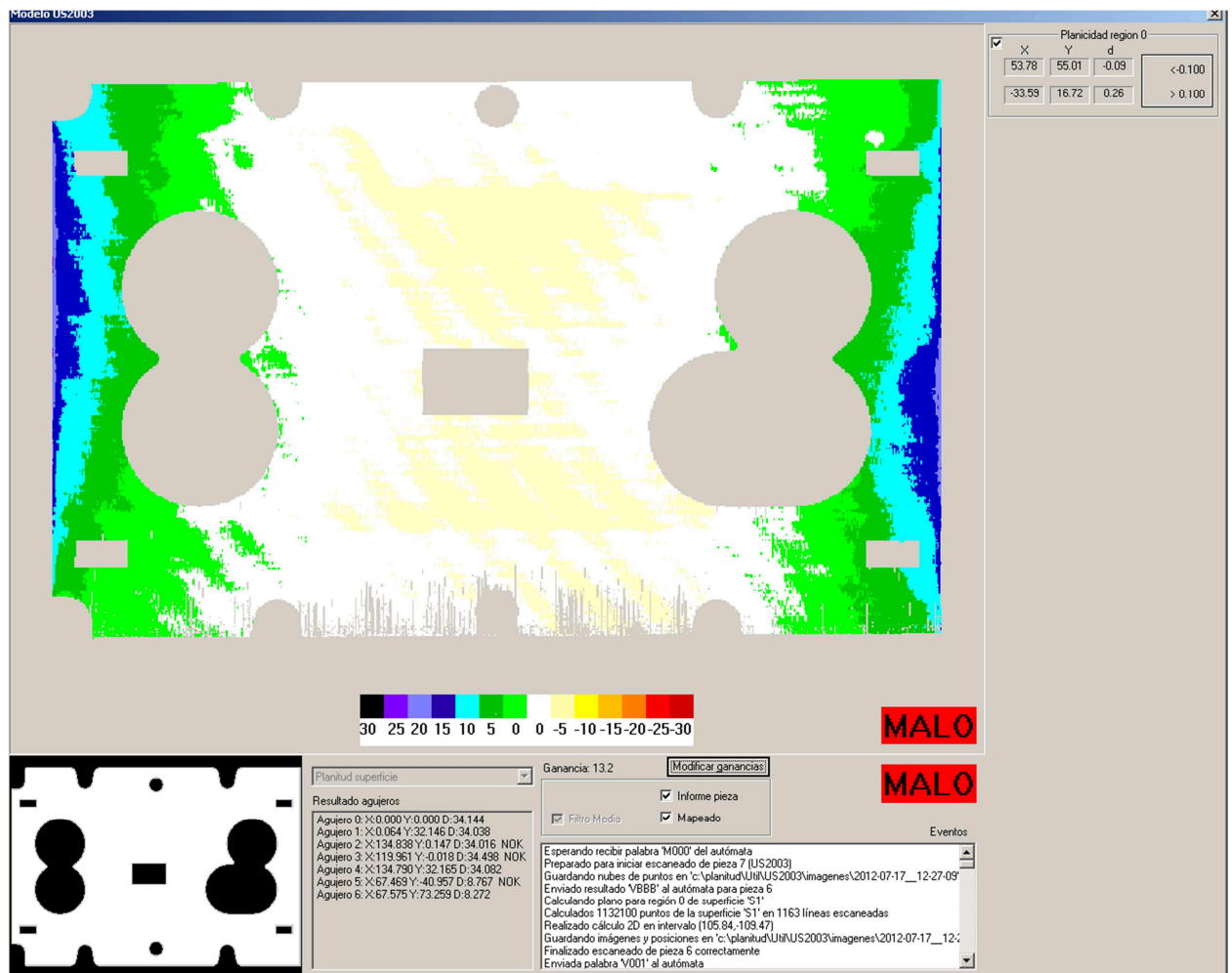
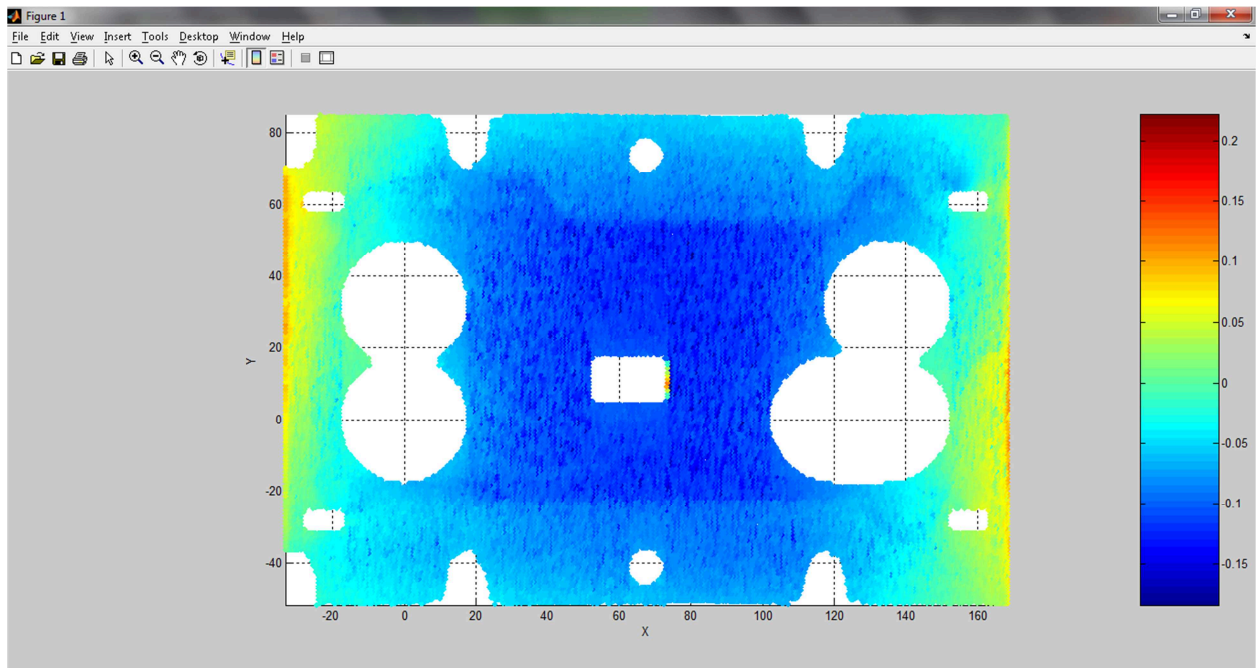


Figura 68 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2003, ganancia 13'2.

## Anexo VII

Al igual que ocurría con el caso de la US1137 vemos que los datos obtenidos con Matlab se corresponden con los del programa IRENE. También se aprecia cómo, conforme aumenta la ganancia, se van perdiendo líneas. El siguiente paso es comparar el mapeado obtenido con la MMC con los mapeados de cada ganancia para ver cuál es la ganancia idónea.



*Figura 69 Anexo VII. Mapeado obtenido con MMC US2003.*

Del mismo modo que con el caso anterior, no se puede determinar a simple vista comparando las imágenes cuál sería la ganancia idónea, aunque sí se puede apreciar lo mismo que ocurría con la ganancia de 18,1 en el caso anterior, es decir, el mapeado de colores obtenido es uniforme con la ganancia de 18,1 mientras que con el resto no ocurre lo mismo.

A continuación pasamos a estudiar las zonas concretas de la pieza.

### Selección de las zonas de estudio

El siguiente paso será delimitar las zonas de estudio. En esta pieza, los máximos se encuentran en la zona de curvatura de la pieza y por ello no los estudiaremos. En esta pieza no podemos localizar el mínimo de una forma tan exacta como el modo anterior; por ello la zona que estudiaremos para localizar el mínimo será X(50,60) e Y (50,60).

Ganancia	Xmin	Ymin
19.2	45.407	-3.952
18.4	53.755	55.205
18.1	53.553	55.227
16.6	53.671	55.146
15.2	53.645	55.067

*Tabla 11 Anexo VII. Localización del mínimo US2003.*

Aparte de la posición del mínimo estudiaremos la zona de un agujero (zona 2) y la de los límites del intercambiador (zona3).

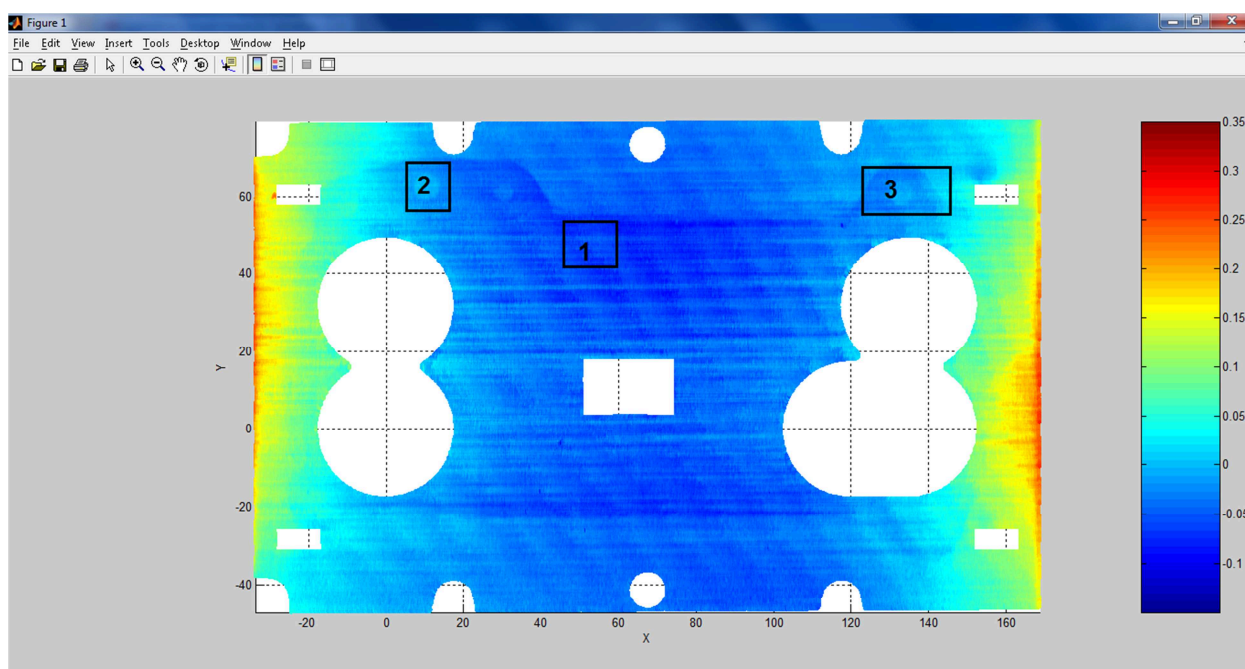


Figura 70 Anexo VII. Delimitación de las zonas de estudio US2003.

### Estudio de las zonas elegidas

#### Zona 1 (mínimo de la pieza)

Como ya hemos comentado en la selección de las zonas de estudio, la zona que vamos a estudiar para el mínimo será X(50,60) e Y (50,60).

Obtenemos de igual manera que en la pieza anterior los datos para cada una de las ganancias.

Ganancia	Media	Desv Estan	Max	Min	Recorrido	Xmin	Ymin
19.1	-0.056	0.012	-0.029	-0.086	0.057	53.779	55.013
18.4	-0.056	0.013	-0.027	-0.100	0.074	53.755	55.205
18.1	-0.054	0.013	-0.027	-0.092	0.065	53.553	55.227
16.6	-0.055	0.013	-0.024	-0.100	0.076	53.671	55.146
15.2	-0.055	0.013	-0.025	-0.100	0.075	53.645	55.067
13.2	-0.054	0.012	-0.024	-0.091	0.067	53.777	55.006
MMC	-0.052	0.020	-0.015	-0.142	0.126	53.656	53.406

Tabla 12 Anexo VII. Resultados zona del mínimo US2003.

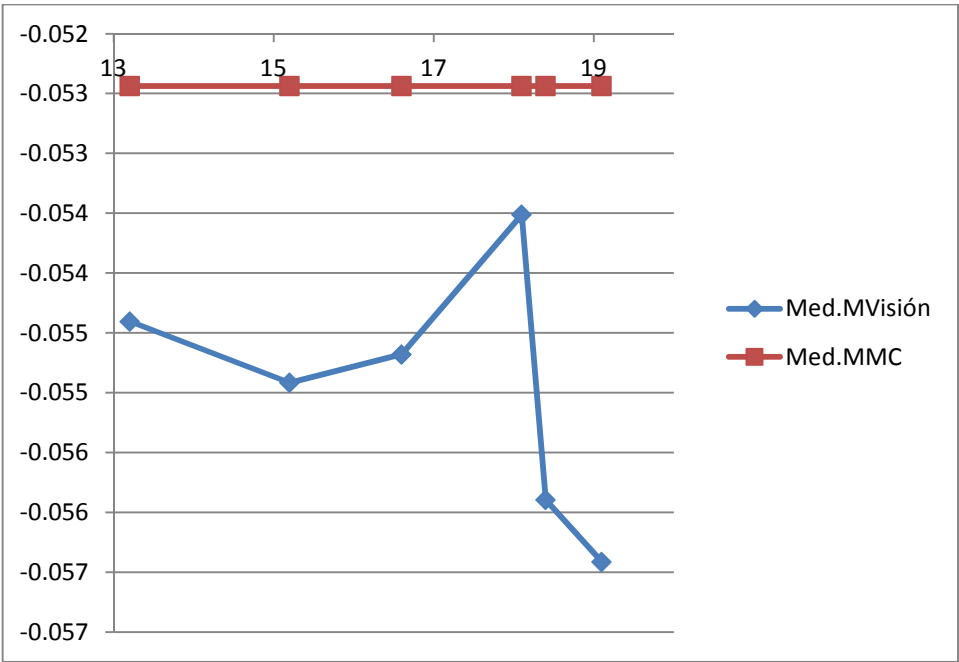


Figura 71 Anexo VII. Media zona mínimo US2003.

En esta gráfica podemos observar lo que ocurría en la pieza anterior. Se ve cómo para la ganancia de 18'1 se aproxima a la media obtenida con la MMC produciéndose así un pico.

**Comparación de los mínimos de Matlab, con los de los archivos informes.**

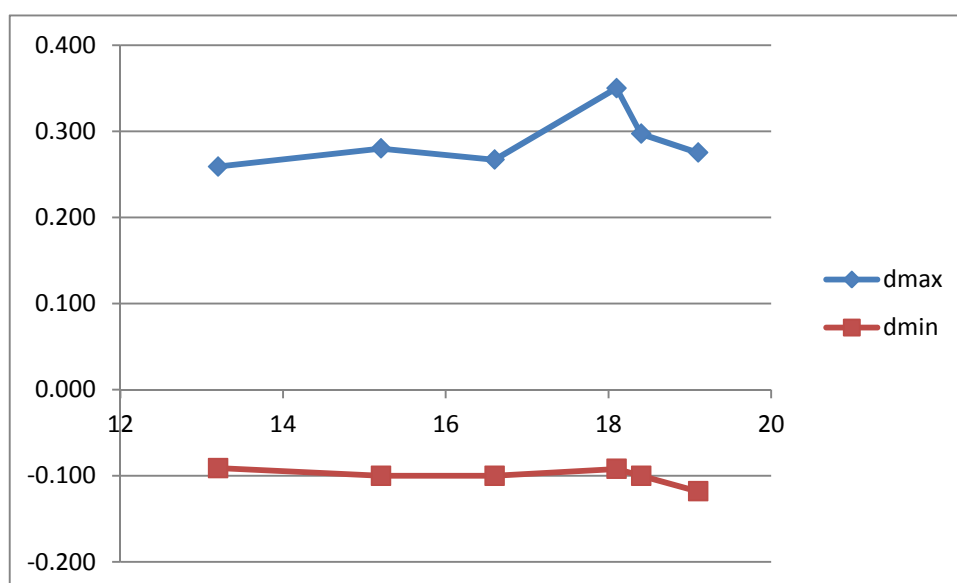
Los datos que obtenemos de los informes son los siguientes:

Ganancia	Xmax	Xmin	Ymax	Ymin	dmax	dmin	Xa0	Ya0	Da0
19.1	-33.517	45.368	29.613	-3.898	0.275	-0.118	0.000	0.000	34.000
18.4	-28.525	53.719	59.718	55.266	0.297	-0.100	0.000	0.000	34.032
18.1	-27.940	54.094	60.214	54.836	0.350	-0.092	0.000	0.000	34.087
16.6	168.821	53.909	-10.298	55.009	0.267	-0.100	0.000	0.000	34.077
15.2	168.969	53.914	5.652	54.919	0.280	-0.100	0.000	0.000	34.109
13.2	-33.604	53.763	16.817	55.105	0.259	-0.091	0.000	0.000	34.144

Xa1	Ya1	Da1	Xa2	Ya2	Da2	Xa3	Ya3	Da3
0.045	32.103	33.937	134.957	0.122	33.709	119.782	0.029	34.085
0.053	32.108	33.969	134.938	0.121	33.766	119.811	0.027	34.161
0.262	32.118	34.000	134.874	-0.744	33.894	119.868	-0.783	34.308
0.154	32.118	34.004	134.826	-0.294	33.976	119.849	-0.369	34.266
0.162	32.140	34.018	134.863	-0.311	33.933	119.906	-0.398	34.379
0.064	32.146	34.038	134.838	0.147	34.016	119.961	-0.018	34.498

Xa4	Ya4	Da4	Xa5	Ya5	Da5	Xa6	Ya6	Da6
134.776	32.131	33.967	67.399	-41.198	8.379	67.568	73.240	8.058
134.776	32.127	33.997	67.409	-41.590	8.401	67.558	73.253	8.128
134.990	31.262	34.026	70.546	-41.359	10.765	68.046	72.817	8.122
134.888	31.718	34.041	68.960	-41.121	9.377	67.794	73.039	8.183
134.895	31.703	34.058	69.044	-41.141	9.334	67.811	73.032	8.214
134.790	32.165	34.082	67.469	-40.957	8.767	67.575	73.259	8.272

*Tabla 13 Anexo VII. Datos obtenidos del archivo informes US2003.*



*Figura 72 Anexo VII. Máximos y mínimos obtenidos del archivo informes US2003.*

Del mismo modo que ocurría en la pieza anterior, se observa cómo los máximos siguen una tendencia mientras que los mínimos prácticamente se mantienen constantes. Esta tendencia de los máximos se ve influenciada porque los máximos siempre aparecen por la misma parte del plano.

En primer lugar vamos a comparar los valores de los mínimos obtenidos con Matlab, con los obtenidos con el archivo "informes" generados por el programa IRENE.

Ganancia	Min	Min_Informes
19.1	-0.118	-0.118
18.4	-0.100	-0.100
18.1	-0.092	-0.092
16.6	-0.100	-0.100
15.2	-0.100	-0.100
13.2	-0.091	-0.091

*Tabla 14 Anexo VII. Comparación de los mínimos obtenidos con Matlab, con los obtenidos del archivo informes US2003.*

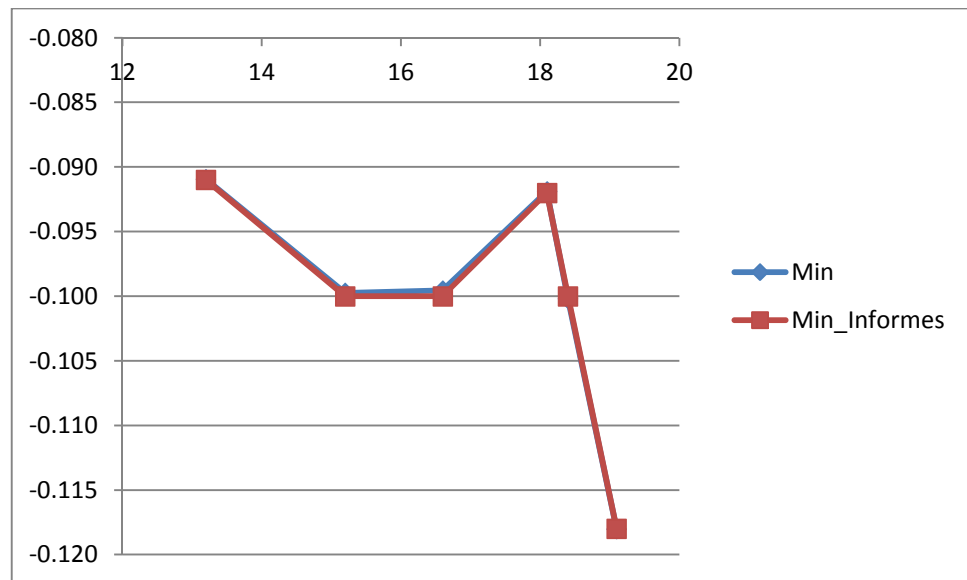


Figura 73 Anexo VII. Comparación de los mínimos obtenidos con Matlab, con los obtenidos del archivo informes US2003.

Se observa cómo los datos obtenidos son idénticos.

Igualmente comprobaremos si la traslación de los agujeros se corresponde con la traslación de los mínimos.

Ganancia	Xa0	Xa1	Xa2	Xa3	Xa4	Xa5	Xa6
19.1	0.000	0.045	134.957	119.782	134.776	67.399	67.568
18.4	0.000	0.053	134.938	119.811	134.776	67.409	67.558
18.1	0.000	0.262	134.874	119.868	134.990	70.546	68.046
16.6	0.000	0.154	134.826	119.849	134.888	68.960	67.794
15.2	0.000	0.162	134.863	119.906	134.895	69.044	67.811
13.2	0.000	0.064	134.838	119.961	134.790	67.469	67.575

Ya0	Ya1	Ya2	Ya3	Ya4	Ya5	Ya6	Xmin	Ymin
0.000	32.103	0.122	0.029	32.131	-41.198	73.240	45.407	-3.952
0.000	32.108	0.121	0.027	32.127	-41.590	73.253	53.755	55.205
0.000	32.118	-0.744	-0.783	31.262	-41.359	72.817	53.553	55.227
0.000	32.118	-0.294	-0.369	31.718	-41.121	73.039	53.671	55.146
0.000	32.140	-0.311	-0.398	31.703	-41.141	73.032	53.645	55.067
0.000	32.146	0.147	-0.018	32.165	-40.957	73.259	53.777	55.006

Tabla 15 Anexo VII. Posición de agujeros frente a las coordenadas de los mínimos obtenidos con matlab, US2003.

En las siguientes gráficas se representa cómo varían las coordenadas de los agujeros (excepto del primero que siempre es el origen) y cómo varían las coordenadas del mínimo.

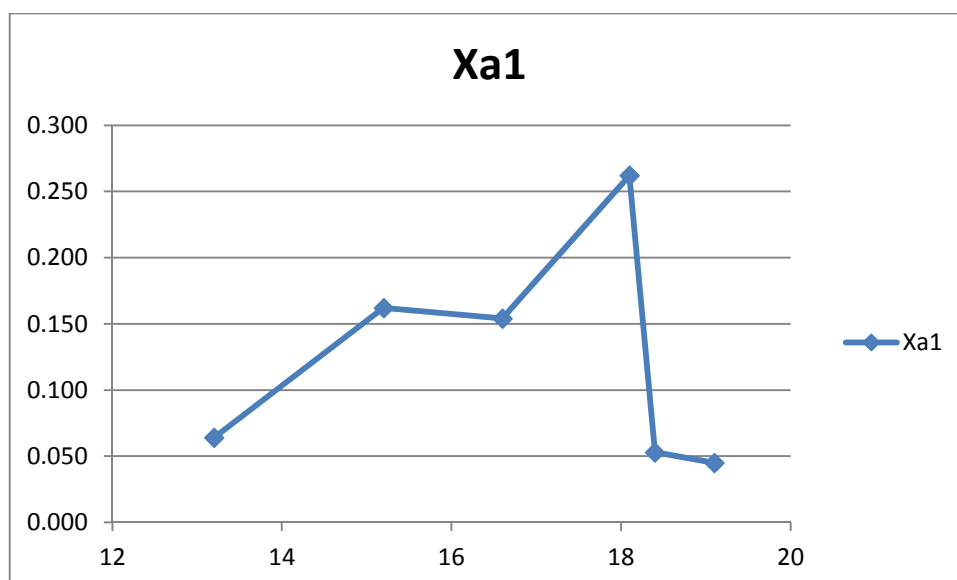


Figura 74 Anexo VII. Coordenada X del agujero 1, US2003.

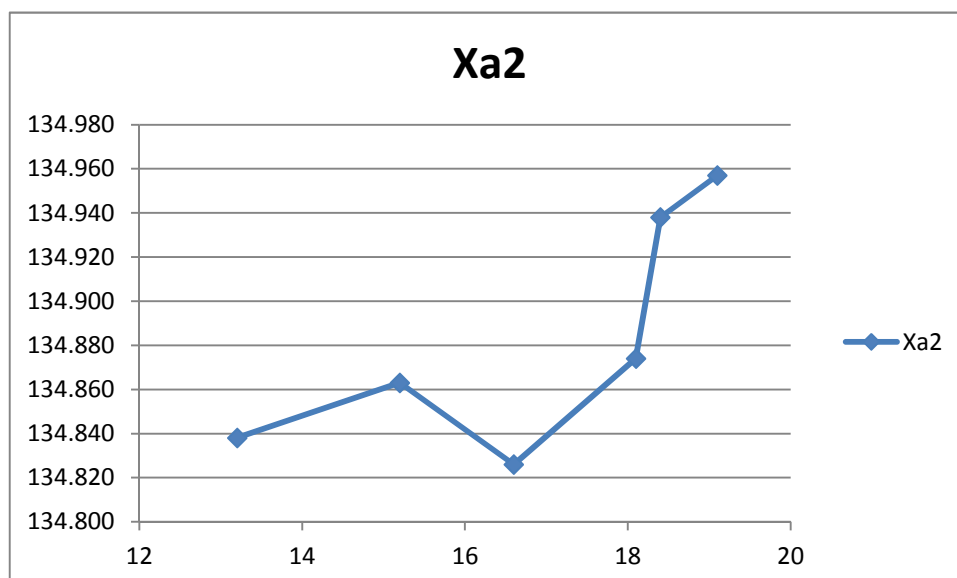


Figura 75 Anexo VII. Coordenada X del agujero 2, US2003.

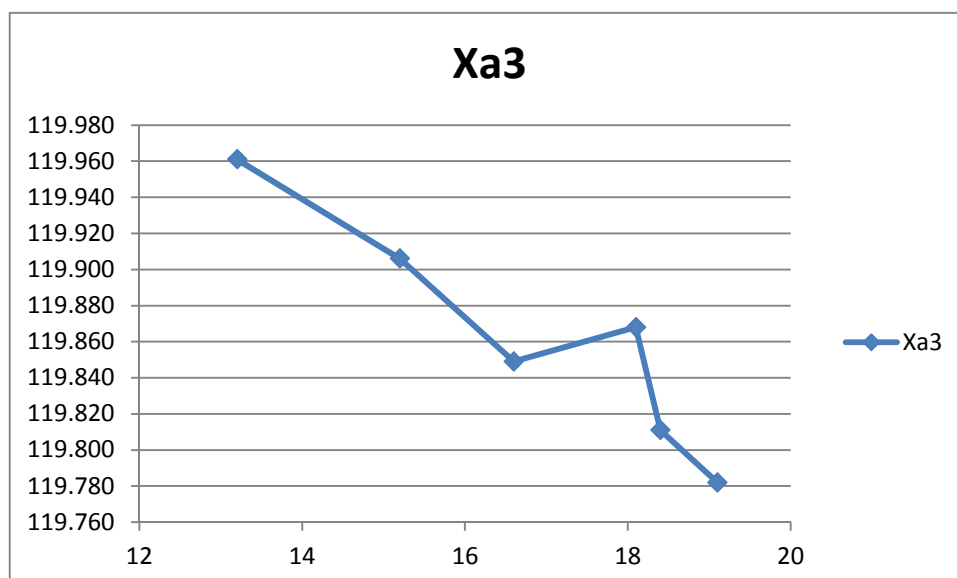


Figura 76 Anexo VII. Coordenada X del agujero 3, US2003.

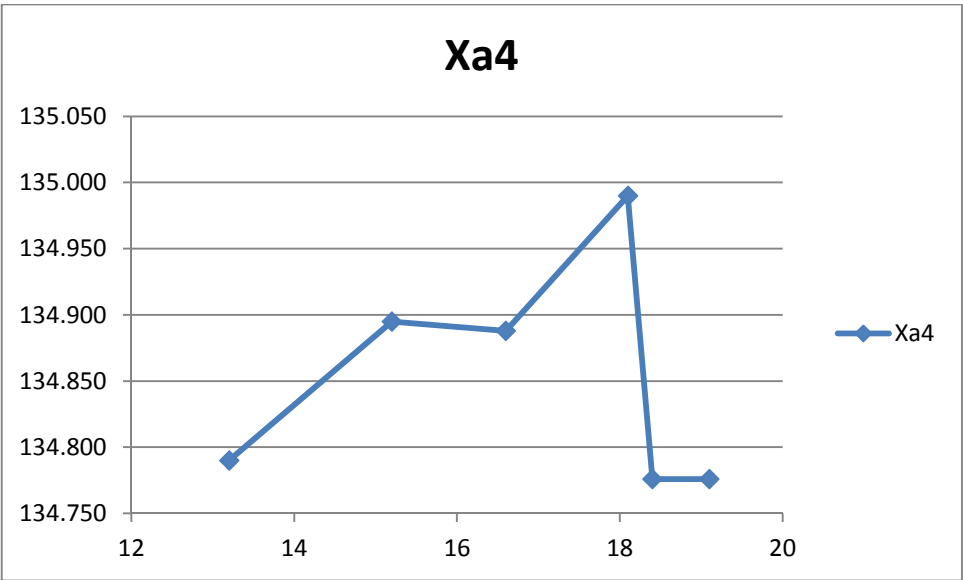


Figura 77 Anexo VII. Coordenada X del agujero 4, US2003.

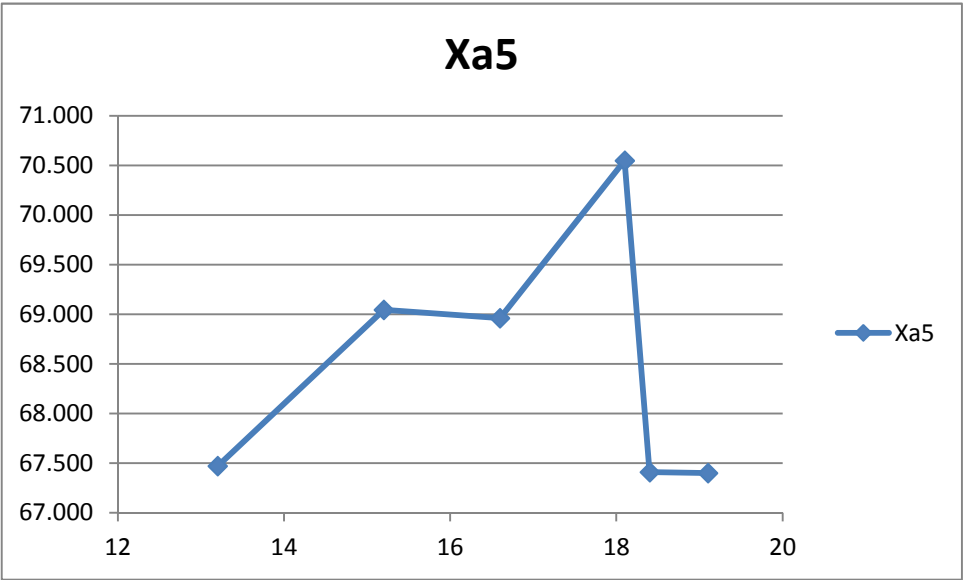


Figura 78 Anexo VII. Coordenada X del agujero 5, US2003.

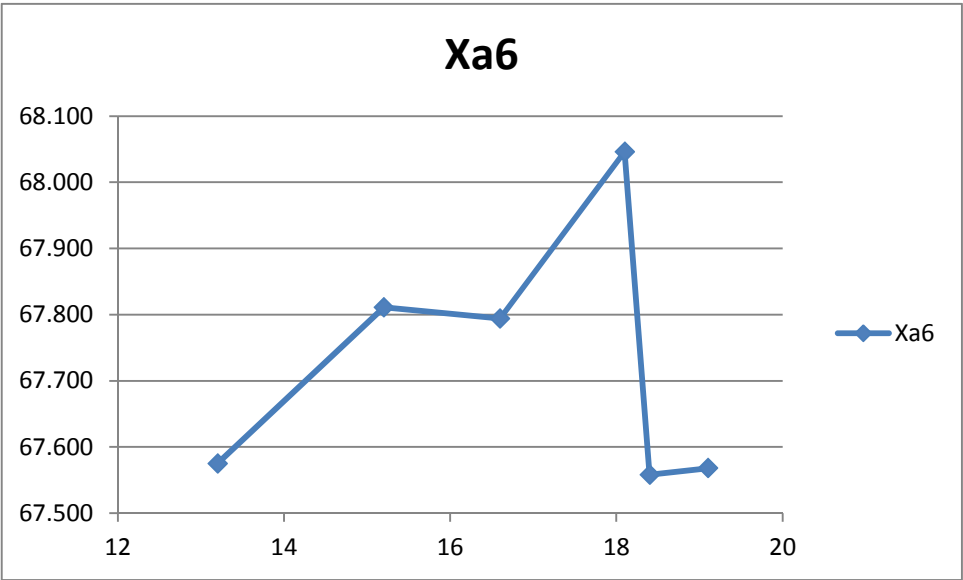


Figura 79 Anexo VII. Coordenada X del agujero 6, US2003.



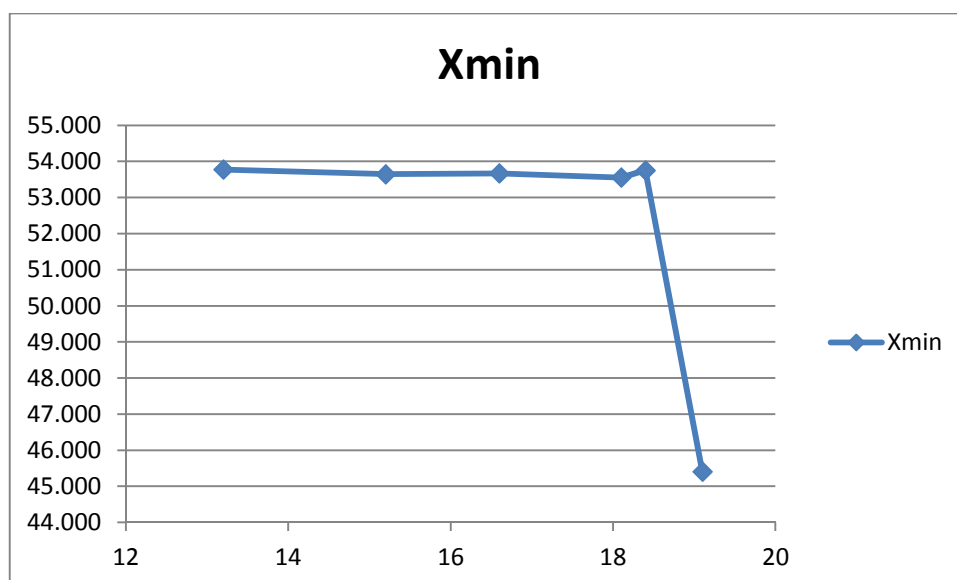


Figura 80 Anexo VII. Coordenada X del mínimo, US2003.

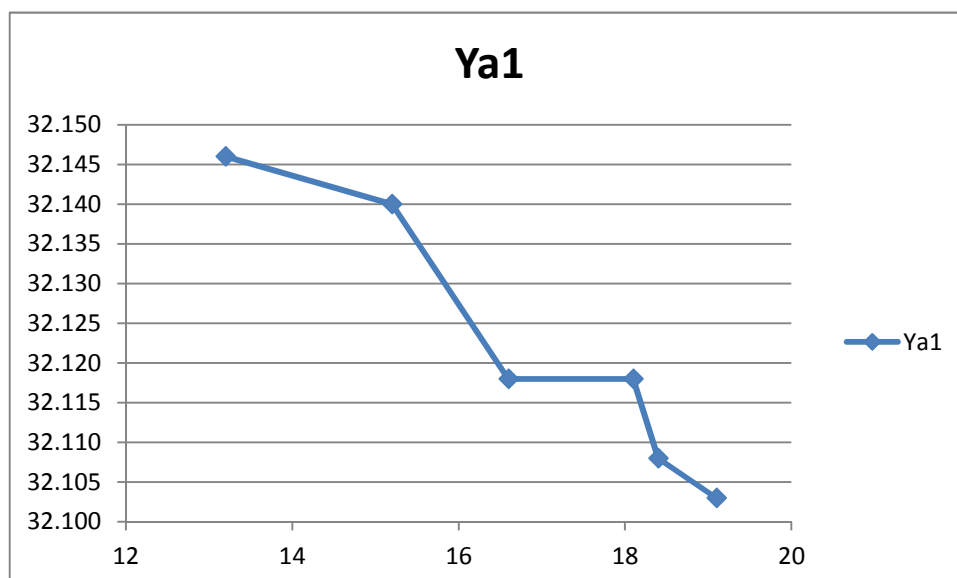


Figura 81 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 1, US2003.

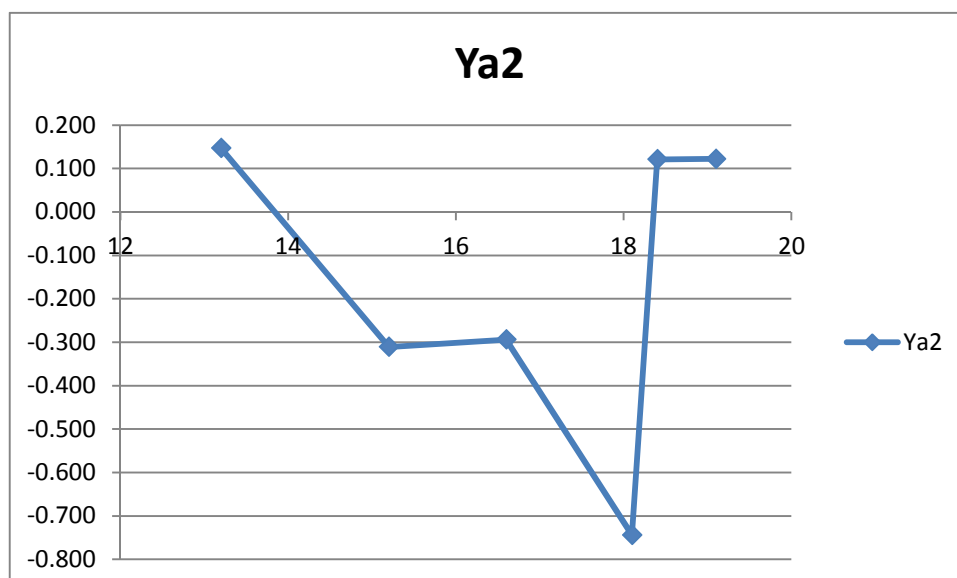


Figura 82 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 2, US2003.

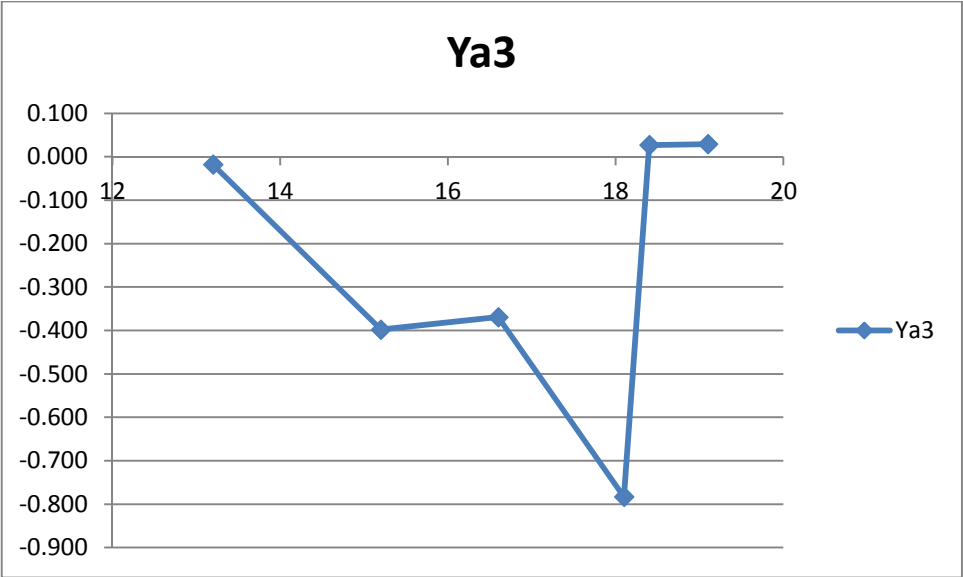


Figura 83 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 3, US2003.

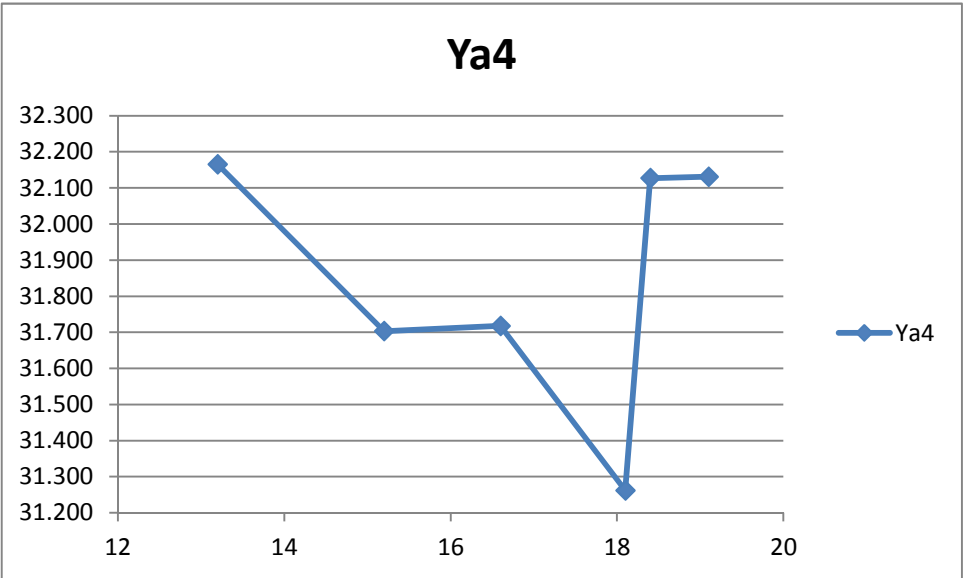


Figura 84 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 4, US2003.

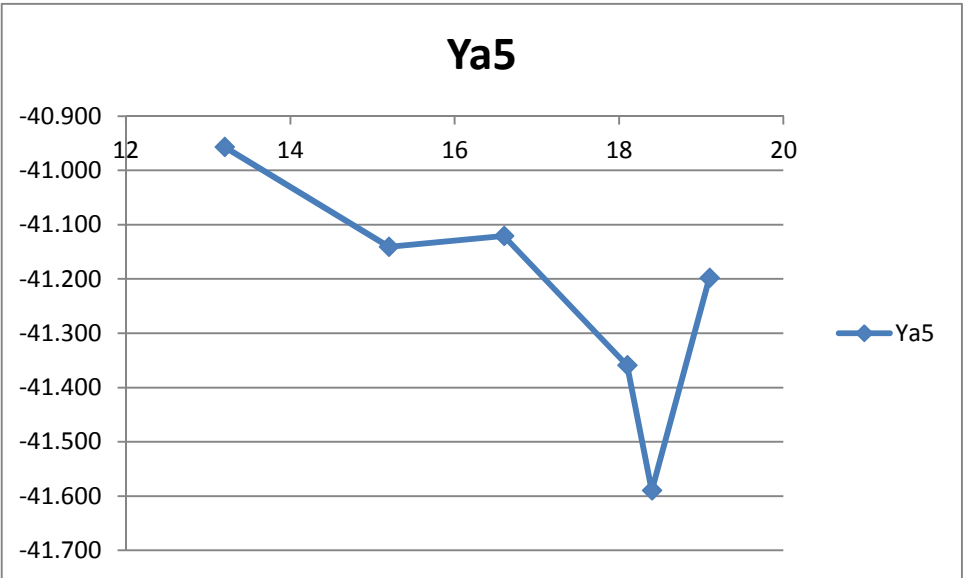
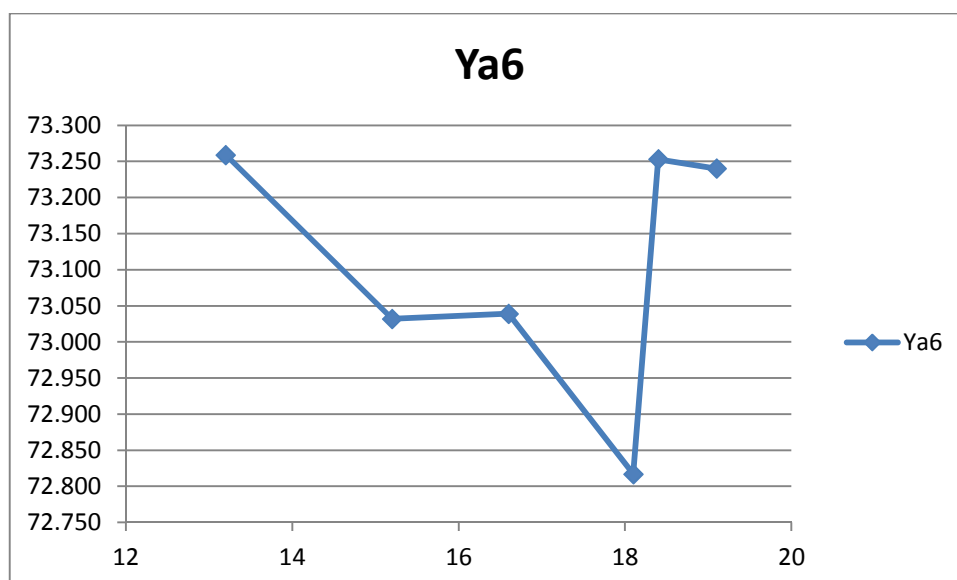
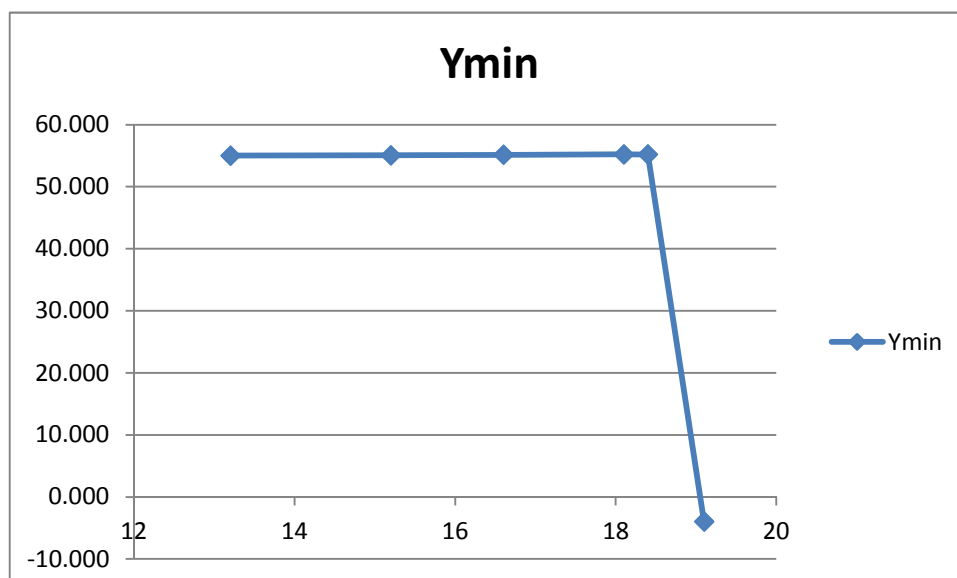


Figura 85 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 5, US2003.



*Figura 86 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 6, US2003.*



*Figura 87 Anexo VII. Coordenada Y del mínimo, US2003.*

En este caso no se aprecia tan bien como en el anterior la tendencia que siguen los agujeros, aunque si que se puede ver al menos en la coordenada X que más o menos sigue la tendencia a ganancias altas.

## Anexo VII

### Zona 2 (agujero del intercambiador)

En esta zona estudiaremos la zona central del agujero comprendida entre las coordenadas X(9,13) e Y(61,64). Además estudiaremos cómo varía una línea determinada a lo largo de la coordenada Y

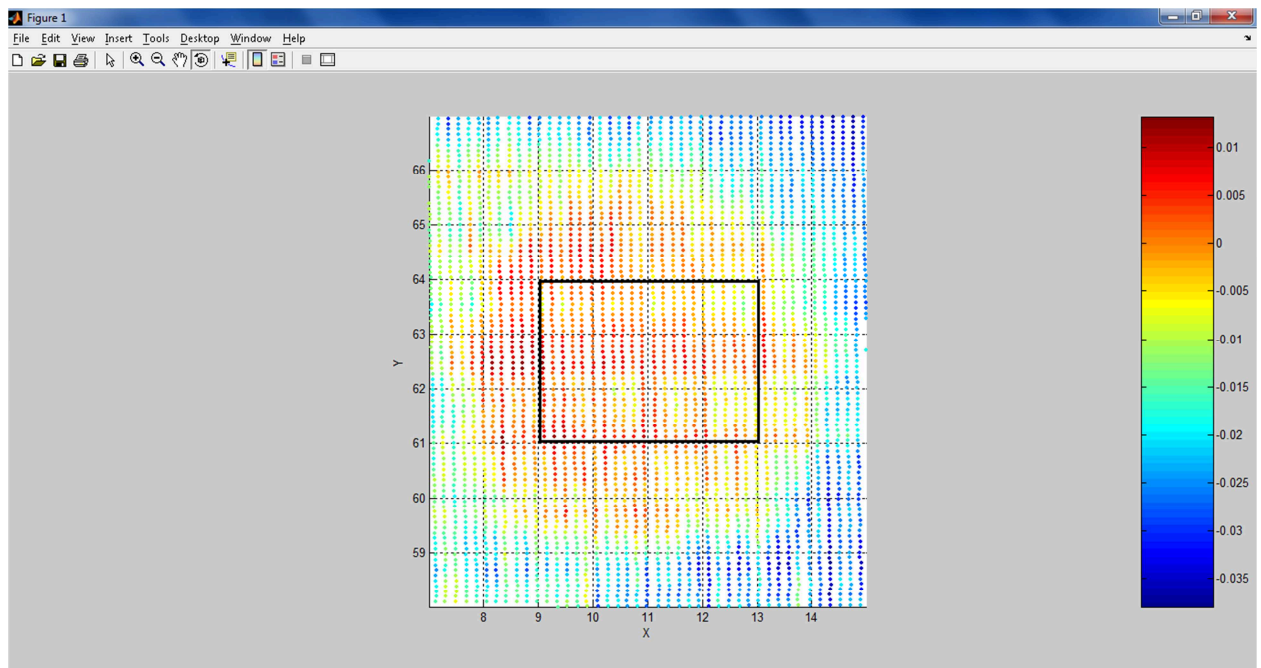


Figura 88 Anexo VII. Delimitación de la parte interna de la zona 2 US2003.

Comenzamos estudiando la región central del círculo obteniendo los siguientes resultados.

Ganancia	Media	Desv Estan	Max	Min	Recorrido	Xmax	Ymax
19.1	0.000	0.004	0.011	-0.014	0.025	9.291	61.114
18.4	-0.001	0.005	0.014	-0.016	0.030	9.469	61.116
18.1	0.002	0.004	0.014	-0.010	0.024	9.283	62.011
16.6	0.000	0.006	0.015	-0.013	0.028	9.410	61.296
15.2	0.000	0.006	0.014	-0.013	0.027	9.395	61.326
13.2	0.000	0.005	0.013	-0.014	0.027	9.131	61.018
MMC	0.007	0.008	0.017	-0.013	0.030	11.591	61.137

Tabla 16 Anexo VII. Resultados obtenidos de la parte interna de la zona 2 US2003.

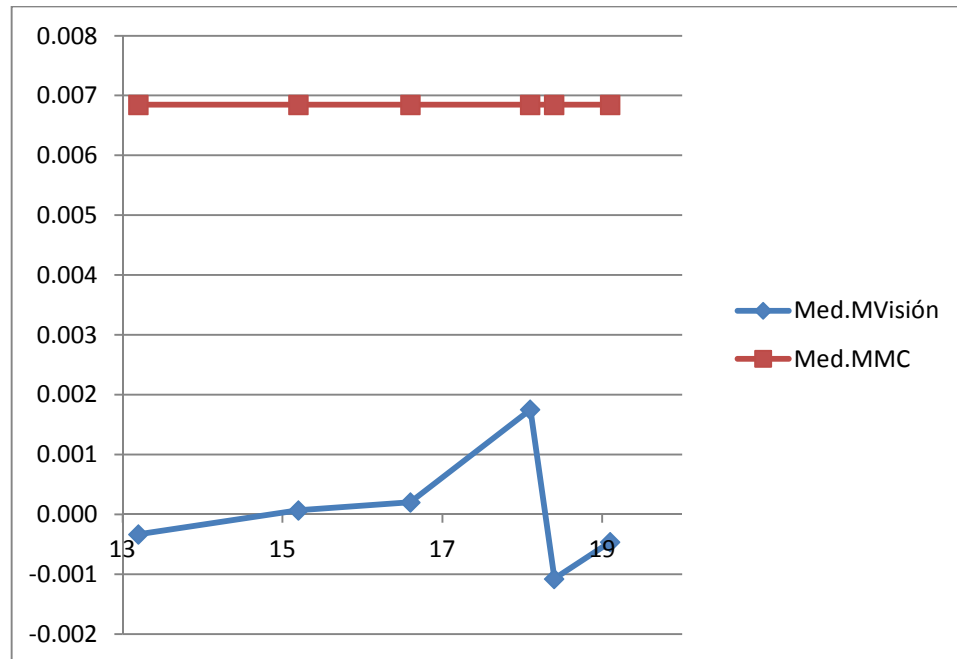


Figura 89 Anexo VII. Media zona interior del agujero US2003.

En esta figura se puede observar el patrón que se está repitiendo. La ganancia que más se aproxima produciendo un pico es la de 18,1.

Pasamos a graficar el perfil de la zona del agujero para ver si podemos sacar alguna conclusión más. Para ello miramos ahora cómo varía una coordenada Y conforme se varía la ganancia; para ello cogeremos las coordenadas X(6,16) e Y(62,62.1)

Los datos que obtenemos son los siguientes.

Coordenada	G19.1	G18.4	G18.1	G16.6	G15.2	G13.2
15.870	-0.028	-0.031	-0.026	-0.027	-0.026	-0.025
15.686	-0.027	-0.029	-0.025	-0.029	-0.025	-0.024
15.508	-0.030	-0.030	-0.025	-0.025	-0.024	-0.023
15.324	-0.025	-0.026	-0.024	-0.022	-0.022	-0.021
15.115	-0.026	-0.031	-0.026	-0.023	-0.022	-0.021
14.941	-0.025	-0.026	-0.025	-0.025	-0.022	-0.025
14.756	-0.022	-0.021	-0.021	-0.023	-0.020	-0.023
14.565	-0.023	-0.022	-0.021	-0.023	-0.021	-0.021
14.397	-0.022	-0.020	-0.020	-0.022	-0.019	-0.020
14.212	-0.018	-0.015	-0.020	-0.015	-0.014	-0.016
13.995	-0.012	-0.013	-0.020	-0.013	-0.011	-0.013
13.818	-0.008	-0.007	-0.020	-0.009	-0.008	-0.009
13.633	-0.011	-0.011	-0.015	-0.009	-0.009	-0.007
13.460	-0.009	-0.010	-0.017	-0.009	-0.008	-0.007
13.274	-0.007	-0.008	-0.018	-0.009	-0.006	-0.006
13.084	-0.004	-0.007	-0.013	-0.007	-0.007	-0.005
12.908	-0.005	-0.005	-0.007	-0.008	-0.007	-0.006
12.714	-0.005	-0.004	0.000	-0.005	-0.006	-0.004
12.533	-0.007	-0.005	-0.004	-0.008	-0.007	-0.006
12.348	-0.007	-0.005	-0.005	-0.005	-0.004	-0.005
12.172	-0.008	-0.003	-0.007	-0.005	-0.003	-0.005
11.987	-0.001	-0.002	-0.004	-0.003	0.000	-0.001
11.795	-0.003	-0.004	0.001	0.000	-0.002	-0.001
11.613	-0.005	-0.002	-0.001	-0.001	0.000	-0.001
11.437	-0.005	-0.003	-0.001	-0.004	-0.002	0.000

Anexo VII

11.236	-0.007	-0.007	0.003	-0.001	0.000	-0.001
11.062	-0.005	-0.007	0.001	0.000	0.001	-0.001
10.871	-0.004	-0.003	0.003	0.001	0.003	-0.002
10.686	-0.005	-0.003	0.003	-0.001	0.002	-0.002
10.502	0.000	-0.007	0.006	0.003	0.003	0.001
10.312	0.002	0.001	0.000	0.002	0.004	0.001
10.127	-0.008	0.000	0.001	0.005	0.006	0.002
9.944	-0.005	0.000	0.003	0.006	0.006	-0.001
9.760	-0.007	-0.006	0.006	0.004	0.006	0.003
9.568	-0.001	0.002	0.004	0.006	0.007	0.002
9.399	0.001	0.003	0.005	0.010	0.011	0.006
9.218	-0.003	0.001	0.006	0.002	0.008	0.005
9.025	-0.004	-0.001	0.007	0.008	0.010	0.007
8.841	0.001	0.004	0.007	0.006	0.007	0.004
8.648	-0.001	-0.002	0.009	0.009	0.012	0.006
8.440	0.003	0.005	0.011	0.010	0.013	0.007
8.280	-0.001	0.004	0.014	0.013	0.015	0.008
8.090	0.000	0.004	0.006	0.011	0.011	0.011
7.913	-0.001	-0.001	0.014	0.014	0.014	0.013
7.735	0.002	0.010	0.010	-0.007	0.006	0.009
7.539	-0.001	0.005	0.009	0.001	-0.002	0.009
7.366	0.002	0.001	0.012	-0.012	-0.009	0.008
7.177	-0.006	-0.002	0.013	-0.018	-0.020	-0.003
6.991	-0.011	-0.010	0.006	-0.011	-0.010	-0.011
6.817	-0.008	-0.007	0.005	-0.014	-0.012	-0.017
6.631	-0.019	-0.020	0.002	-0.008	-0.011	-0.009
6.454	-0.020	-0.015	-0.002	-0.006	-0.006	-0.009
6.268	-0.017	-0.009	-0.002	-0.011	-0.005	-0.006
6.080	-0.011	-0.010	-0.003	-0.006	-0.008	-0.012

Tabla 17 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 2 Máquina de Visión, US2003.

Coord	MMC	Coord	MMC
6.201	0.009	11.588	0.016
6.736	-0.002	12.129	0.010
6.739	0.002	12.673	0.006
6.936	0.003	13.223	0.004
7.271	0.005	13.745	-0.018
7.818	0.006	14.288	-0.018
8.341	0.018	14.817	-0.006
8.888	0.016	14.828	-0.022
9.432	0.011	15.361	-0.011
9.965	0.016	15.894	-0.005
10.515	0.007	15.911	-0.010

Tabla 18 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 2 MMC, US2003.

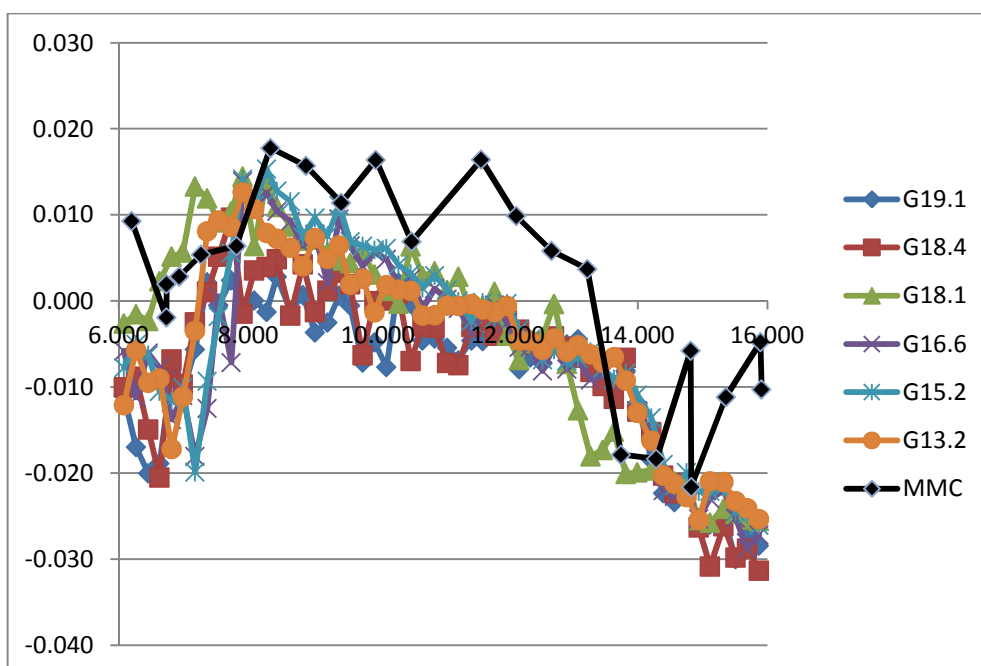


Figura 90 Anexo VII. Perfil de la zona 2 US2003.

En esta pieza, al no hacer una toma de datos con la MMC en la zona del agujero más exhaustivamente, los resultados del perfil que obtenemos son muy malos. Para poder intentar ver algo más, vamos a agregar líneas de tendencia a los resultados obtenidos.

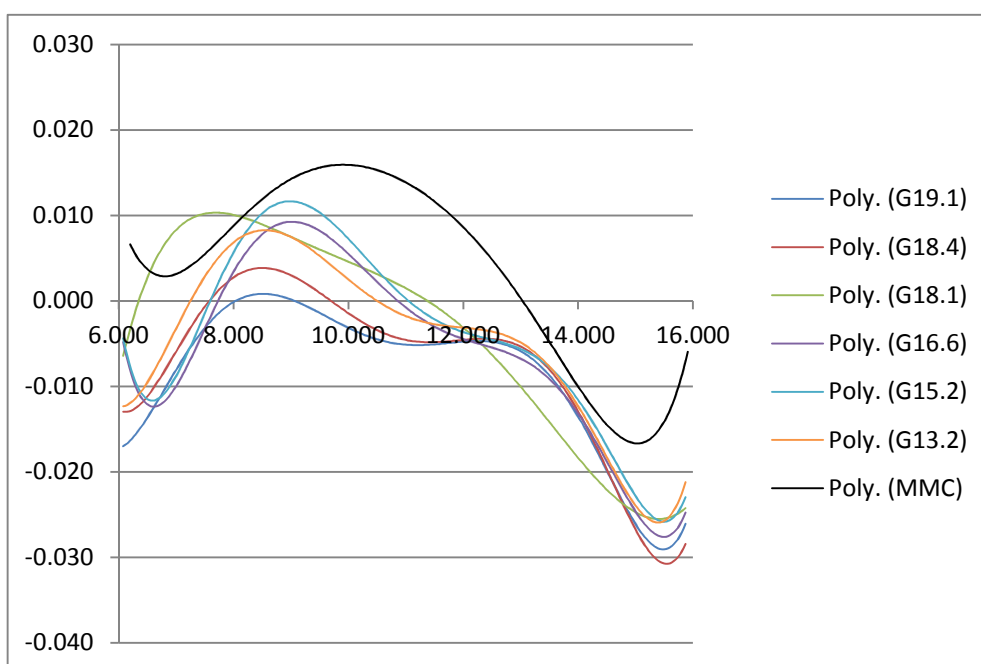


Figura 91 Anexo VII. Línea de tendencia de la zona 2, US2003.

Del mismo modo que en la pieza anterior, aunque la tendencia es parecida, los resultados de la MMC no se aproximan muy bien a los obtenidos con la MMV.

### Zona 3 (límite del intercambiador)

Al igual que hemos hecho con el agujero, vamos a ver cómo evoluciona una determinada coordenada Y a lo largo de dicha zona. Las coordenadas elegidas son X(120,140) e Y(60,60.1)

## Anexo VII

Los datos obtenidos junto con la gráfica correspondiente son los siguientes:

Coordenada	G19.1	G18.4	G18.1	G16.6	G15.2	G13.2
139.880	-0.003	0.001	-0.013	0.001	0.004	-0.001
139.700	-0.006	-0.002	-0.017	-0.002	0.004	-0.001
139.510	-0.007	-0.002	-0.016	0.001	0.003	-0.009
139.330	-0.009	-0.005	-0.010	-0.004	-0.003	-0.003
139.140	-0.001	0.004	-0.012	-0.002	0.000	-0.006
138.950	-0.014	-0.002	-0.013	0.002	0.005	-0.006
138.780	-0.007	0.001	-0.013	-0.005	-0.004	-0.011
138.590	-0.005	0.001	-0.013	-0.011	-0.007	-0.007
138.420	-0.008	-0.008	-0.015	-0.010	-0.010	-0.012
138.220	-0.009	-0.004	-0.016	-0.012	-0.013	-0.013
138.040	-0.012	-0.004	-0.014	-0.016	-0.014	-0.013
137.860	-0.009	-0.009	-0.013	-0.010	-0.013	-0.013
137.670	-0.018	-0.010	-0.015	-0.012	-0.014	-0.015
137.490	-0.005	-0.004	-0.018	-0.013	-0.009	-0.012
137.310	-0.009	-0.005	-0.016	-0.014	-0.016	-0.014
137.120	-0.009	-0.018	-0.018	-0.010	-0.013	-0.013
136.930	-0.010	-0.012	-0.017	-0.015	-0.014	-0.010
136.750	-0.008	-0.009	-0.017	-0.013	-0.011	-0.011
136.570	-0.009	-0.012	-0.020	-0.016	-0.015	-0.012
136.360	-0.012	-0.010	-0.019	-0.013	-0.013	-0.013
136.180	-0.012	-0.014	-0.018	-0.012	-0.010	-0.013
136.010	-0.008	-0.013	-0.015	-0.014	-0.012	-0.007
135.820	-0.007	-0.012	-0.010	-0.008	-0.006	-0.004
135.640	-0.011	-0.014	-0.005	-0.003	-0.004	-0.002
135.460	-0.008	-0.008	-0.004	-0.004	0.000	0.001
135.270	-0.004	-0.005	-0.002	-0.002	0.000	-0.002
135.080	0.003	0.000	-0.007	-0.006	-0.002	-0.005
134.900	-0.001	-0.003	-0.012	-0.008	-0.005	-0.004
134.710	0.000	-0.005	-0.013	-0.007	-0.006	-0.003
134.530	0.002	-0.005	-0.013	-0.008	-0.008	-0.004
134.340	-0.002	-0.007	-0.018	-0.010	-0.008	-0.007
134.150	-0.001	-0.009	-0.016	-0.008	-0.008	-0.005
133.960	-0.006	-0.003	-0.014	-0.008	-0.008	-0.006
133.780	-0.002	-0.009	-0.017	-0.009	-0.005	-0.005
133.600	-0.002	-0.006	-0.010	-0.009	-0.010	-0.006
133.430	-0.002	-0.008	-0.017	-0.012	-0.010	-0.005
133.230	-0.004	-0.004	-0.013	-0.005	-0.006	-0.002
133.050	-0.002	-0.009	-0.010	-0.005	-0.005	-0.005
132.860	-0.002	-0.009	-0.009	-0.003	-0.002	-0.002
132.670	-0.002	-0.006	-0.011	-0.005	-0.005	-0.004
132.510	0.003	-0.001	-0.020	-0.008	-0.008	-0.002
132.320	0.001	-0.003	-0.012	-0.006	-0.005	-0.003
132.130	0.003	-0.007	-0.017	-0.007	-0.006	0.001
131.950	-0.005	-0.002	-0.012	-0.003	-0.004	-0.001
131.730	0.002	-0.004	-0.014	-0.007	-0.006	-0.003
131.560	-0.002	0.000	-0.014	-0.008	-0.006	-0.005
131.380	0.004	-0.007	-0.015	-0.007	-0.005	-0.003
131.190	0.004	-0.004	-0.011	-0.003	-0.002	-0.001
131.020	-0.003	-0.008	-0.010	-0.002	-0.002	-0.001
130.830	-0.006	-0.002	-0.008	-0.003	-0.001	0.001
130.650	0.001	-0.004	-0.012	-0.004	-0.001	-0.001
130.470	0.003	0.000	-0.015	-0.003	-0.004	-0.003
130.280	-0.004	0.000	-0.019	-0.001	-0.001	-0.010
130.100	0.003	-0.002	-0.026	-0.006	-0.010	-0.012
129.920	-0.011	-0.007	-0.025	-0.015	-0.011	-0.018



129.730	-0.008	-0.015	-0.024	-0.005	-0.008	-0.023
129.550	-0.016	-0.009	-0.026	-0.011	-0.009	-0.015
129.380	-0.018	-0.012	-0.026	-0.014	-0.015	-0.021
129.170	-0.016	-0.011	-0.027	-0.012	-0.010	-0.021
128.980	-0.024	-0.017	-0.025	-0.006	-0.016	-0.012
128.810	-0.014	-0.014	-0.026	-0.017	-0.009	-0.022
128.620	-0.021	-0.015	-0.023	-0.005	-0.006	-0.023
128.450	-0.027	-0.017	-0.030	-0.013	-0.015	-0.019
128.260	-0.014	-0.012	-0.025	-0.027	-0.022	-0.025
128.070	-0.019	-0.027	-0.028	-0.023	-0.026	-0.032
127.890	-0.024	-0.022	-0.027	-0.029	-0.031	-0.025
127.700	-0.025	-0.023	-0.028	-0.028	-0.030	-0.034
127.520	-0.023	-0.035	-0.032	-0.032	-0.032	-0.032
127.330	-0.028	-0.021	-0.031	-0.034	-0.037	-0.031
127.140	-0.030	-0.035	-0.028	-0.030	-0.030	-0.030
126.970	-0.030	-0.035	-0.026	-0.029	-0.031	-0.027
126.780	-0.030	-0.033	-0.030	-0.032	-0.028	-0.030
126.600	-0.029	-0.033	-0.030	-0.028	-0.032	-0.029
126.410	-0.025	-0.032	-0.032	-0.029	-0.033	-0.030
126.210	-0.023	-0.033	-0.032	-0.034	-0.032	-0.029
126.040	-0.028	-0.033	-0.032	-0.030	-0.031	-0.028
125.860	-0.029	-0.032	-0.030	-0.031	-0.027	-0.032
125.680	-0.030	-0.033	-0.035	-0.031	-0.031	-0.033
125.500	-0.025	-0.032	-0.035	-0.034	-0.035	-0.031
125.300	-0.029	-0.033	-0.032	-0.033	-0.030	-0.034
125.110	-0.028	-0.032	-0.036	-0.035	-0.035	-0.033
124.930	-0.026	-0.034	-0.037	-0.038	-0.038	-0.033
124.750	-0.032	-0.035	-0.042	-0.037	-0.035	-0.031
124.580	-0.034	-0.037	-0.041	-0.035	-0.034	-0.033
124.380	-0.032	-0.035	-0.040	-0.039	-0.037	-0.030
124.180	-0.027	-0.033	-0.035	-0.031	-0.029	-0.031
124.000	-0.033	-0.036	-0.041	-0.037	-0.035	-0.033
123.830	-0.035	-0.037	-0.035	-0.034	-0.032	-0.032
123.640	-0.033	-0.033	-0.039	-0.034	-0.034	-0.030
123.470	-0.029	-0.040	-0.035	-0.036	-0.033	-0.028
123.270	-0.031	-0.036	-0.029	-0.031	-0.029	-0.027
123.080	-0.033	-0.035	-0.022	-0.025	-0.026	-0.023
122.900	-0.027	-0.035	-0.021	-0.025	-0.023	-0.020
122.710	-0.024	-0.032	-0.021	-0.022	-0.018	-0.013
122.530	-0.020	-0.028	-0.016	-0.013	-0.014	-0.012
122.340	-0.020	-0.025	-0.014	-0.015	-0.014	-0.015
122.160	-0.017	-0.019	-0.018	-0.018	-0.018	-0.011
121.970	-0.009	-0.010	-0.018	-0.014	-0.014	-0.013
121.780	-0.005	-0.018	-0.016	-0.014	-0.015	-0.012
121.600	-0.013	-0.011	-0.020	-0.016	-0.016	-0.014
121.410	-0.004	-0.016	-0.015	-0.015	-0.016	-0.010
121.240	-0.008	-0.015	-0.010	-0.013	-0.014	-0.008
121.060	-0.010	-0.011	-0.015	-0.013	-0.015	-0.011
120.860	-0.005	-0.012	-0.017	-0.016	-0.016	-0.012
120.680	-0.008	-0.015	-0.014	-0.014	-0.014	-0.011
120.500	-0.016	-0.014	-0.020	-0.013	-0.013	-0.011
120.320	-0.010	-0.016	-0.014	-0.013	-0.013	-0.011
120.130	-0.006	-0.014	-0.013	-0.013	-0.011	-0.010

Tabla 19 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 3 Máquina de Visión, US2003.

Coord	MMC	Coord	MMC	Coord	MMC
120.010	-0.009	127.550	-0.027	134.030	-0.003

120.540	-0.013	128.640	-0.031	134.580	-0.010
121.620	-0.012	129.180	-0.025	135.110	-0.001
122.710	-0.014	129.720	-0.036	135.660	-0.021
123.240	-0.023	130.260	-0.017	136.190	-0.016
123.780	-0.033	130.800	-0.005	136.740	-0.009
124.860	-0.031	131.330	-0.007	137.260	-0.022
125.400	-0.024	131.880	-0.016	137.800	-0.016
125.950	-0.026	132.400	-0.010	138.340	-0.014
126.480	-0.031	132.950	-0.013	138.880	-0.013
127.020	-0.028	133.490	-0.018	139.430	-0.011
				139.970	-0.012

Tabla 20 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 3 MMC, US2003.

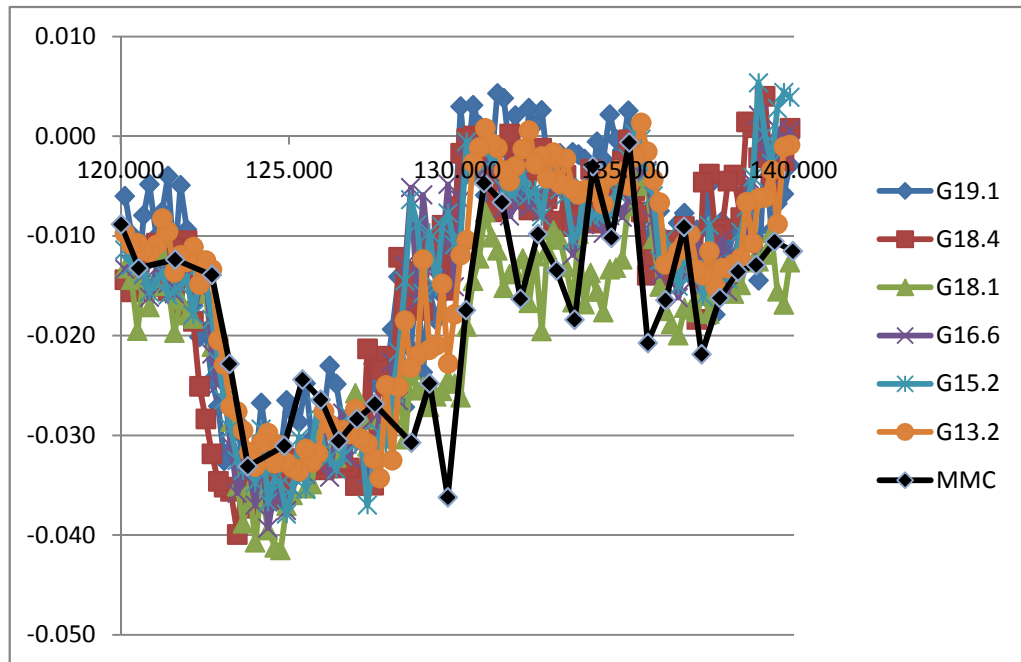
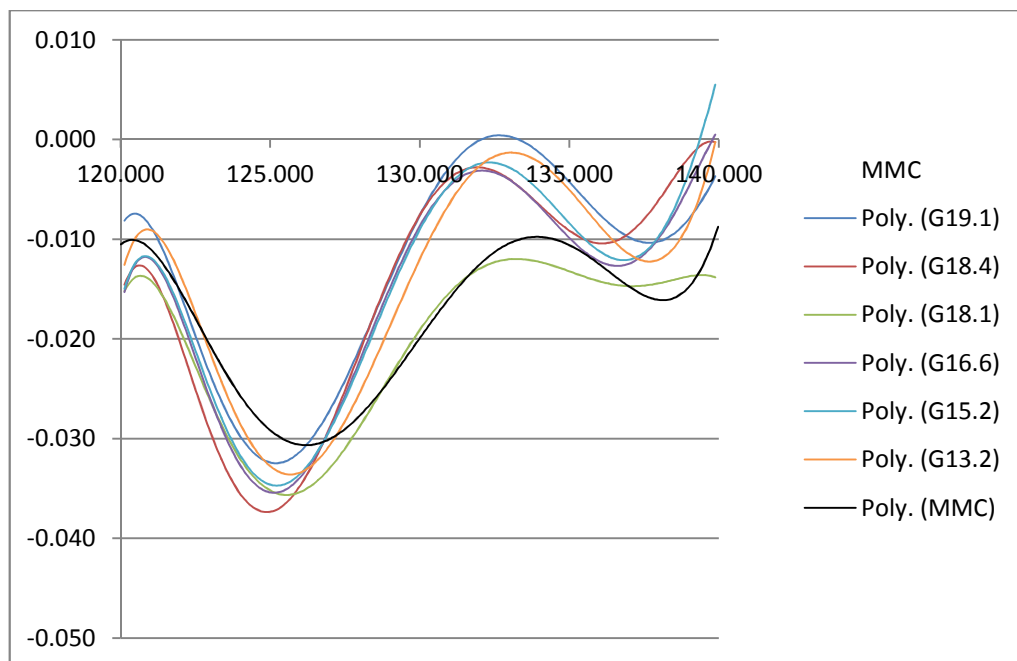


Figura 92 Anexo VII. Perfil de la zona 3 US2003.

Para intentar ver más claros los resultados agregamos una línea de tendecia polinomial de grado 6.



*Figura 93 Anexo VII. Línea de tendencia de la zona 3, US2003.*

En este caso, al ser mayor el rango de medida si se observa cómo se aproxima más a la ganancia de 18.1.

## **US2010**

### **Mapeados de las piezas enteras**

Seguimos el mismo procedimiento realizado en las otras dos piezas y comenzamos comparando los mapeados obtenidos con Matlab con los obtenidos con el programa IRENE y con la máquina de medir por coordenadas.

- **G19.1**

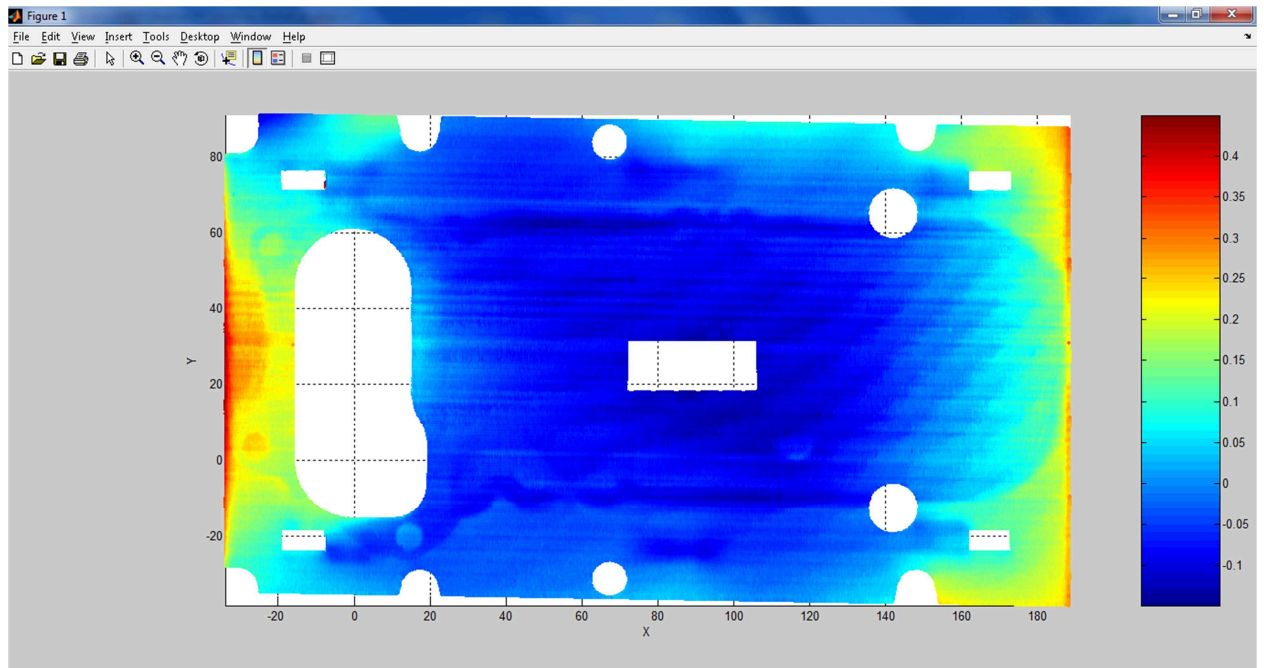


Figura 94 Anexo VII. Mapeado Matlab US2010, ganancia 19'1.

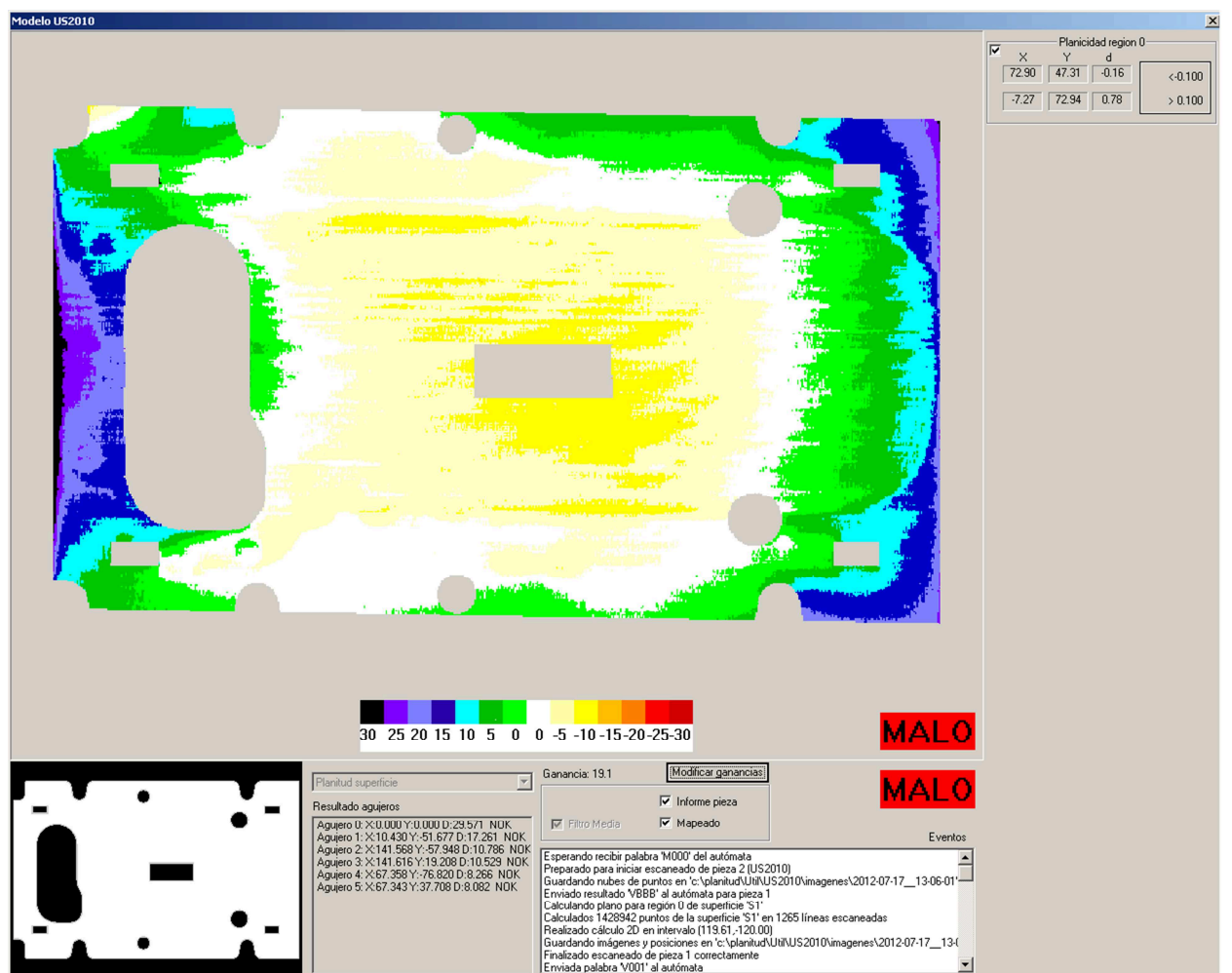


Figura 95 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2010, ganancia 19'1.

• G18.4

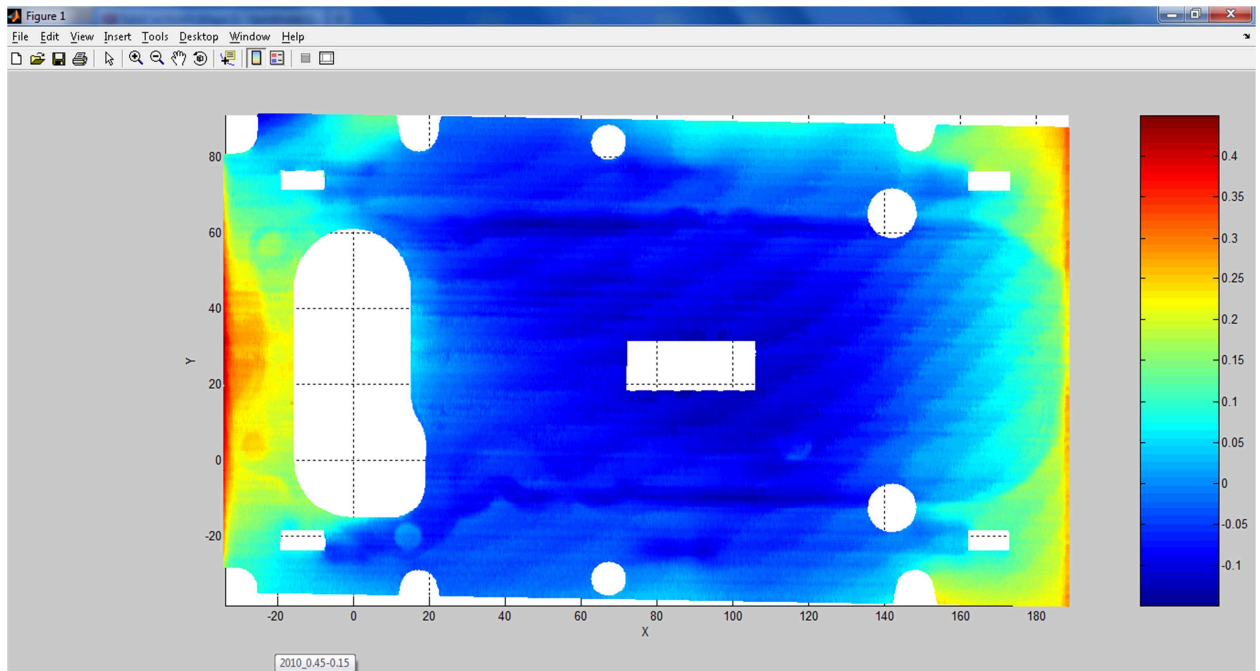


Figura 96 Anexo VII. Mapeado Matlab US2010, ganancia 18'4.

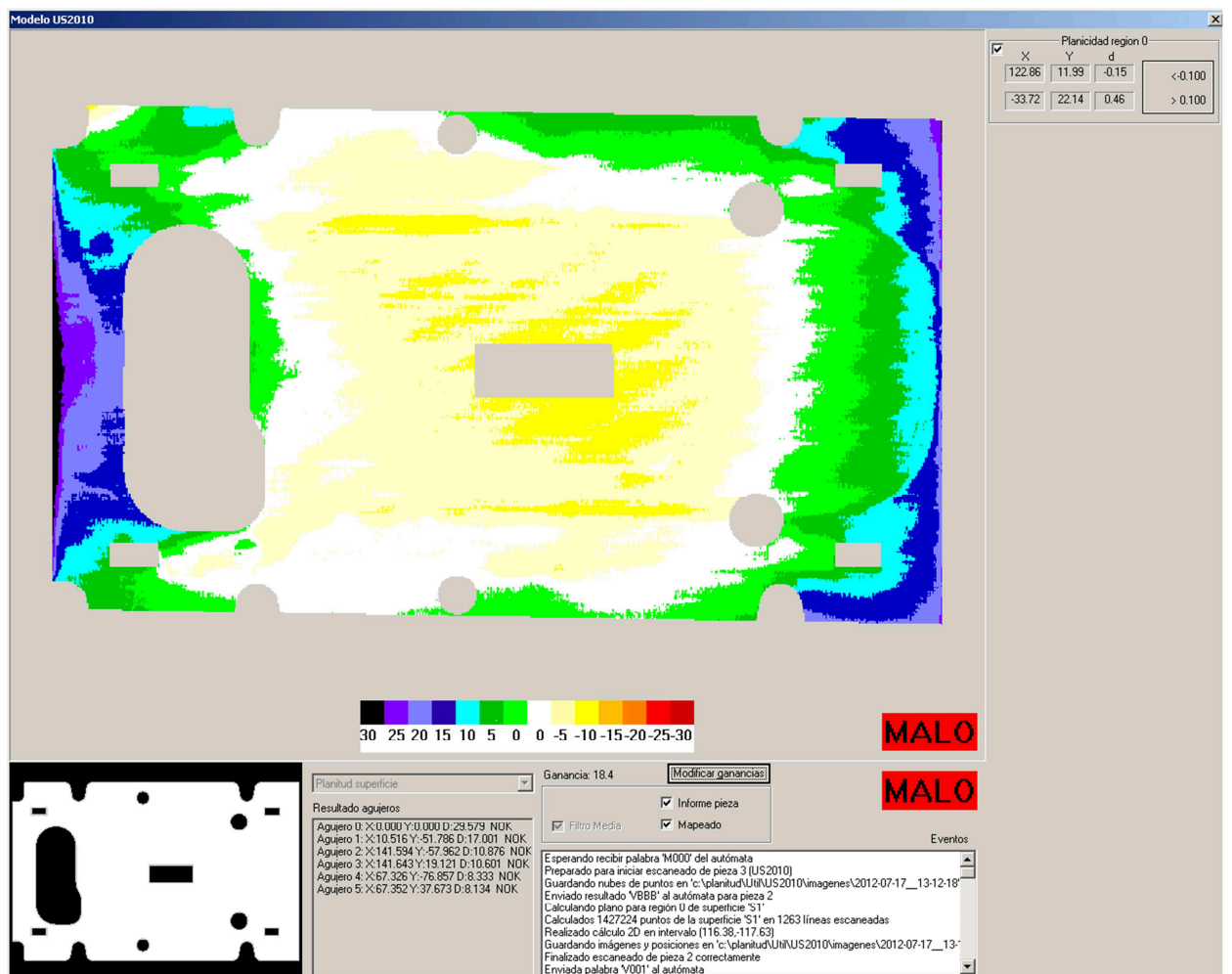


Figura 97 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2010, ganancia 18'4.



- **G18.1**

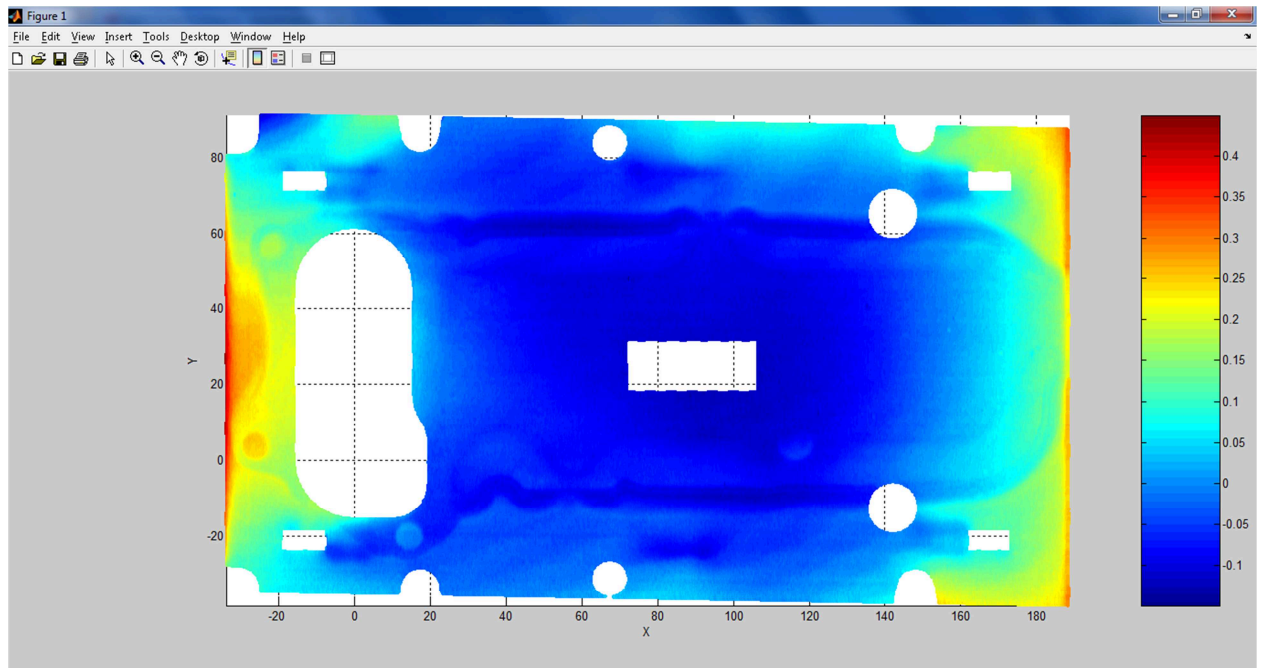


Figura 98 Anexo VII. Mapeado Matlab US2010, ganancia 18'1.

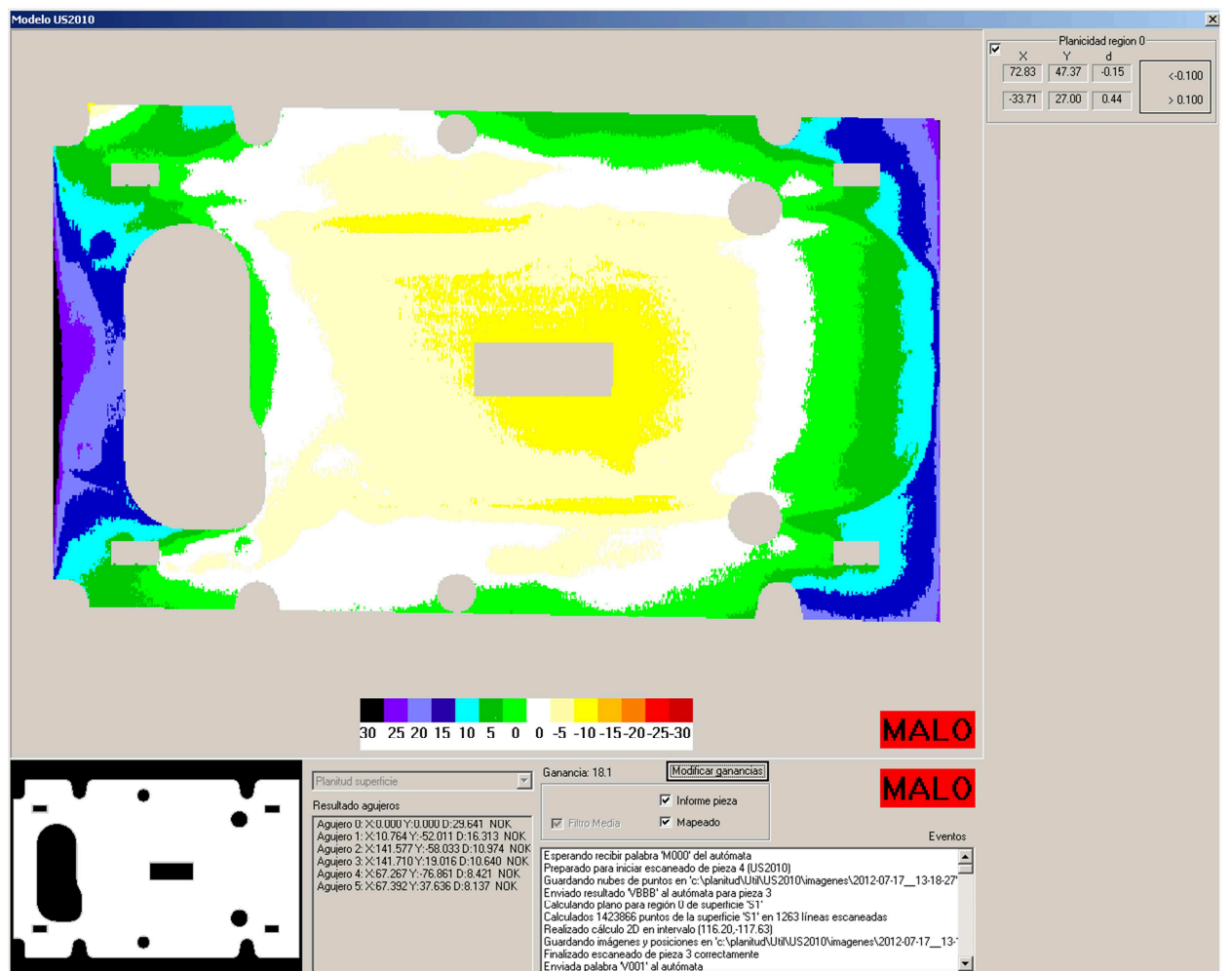


Figura 99 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2010, ganancia 18'1.

• G16.6

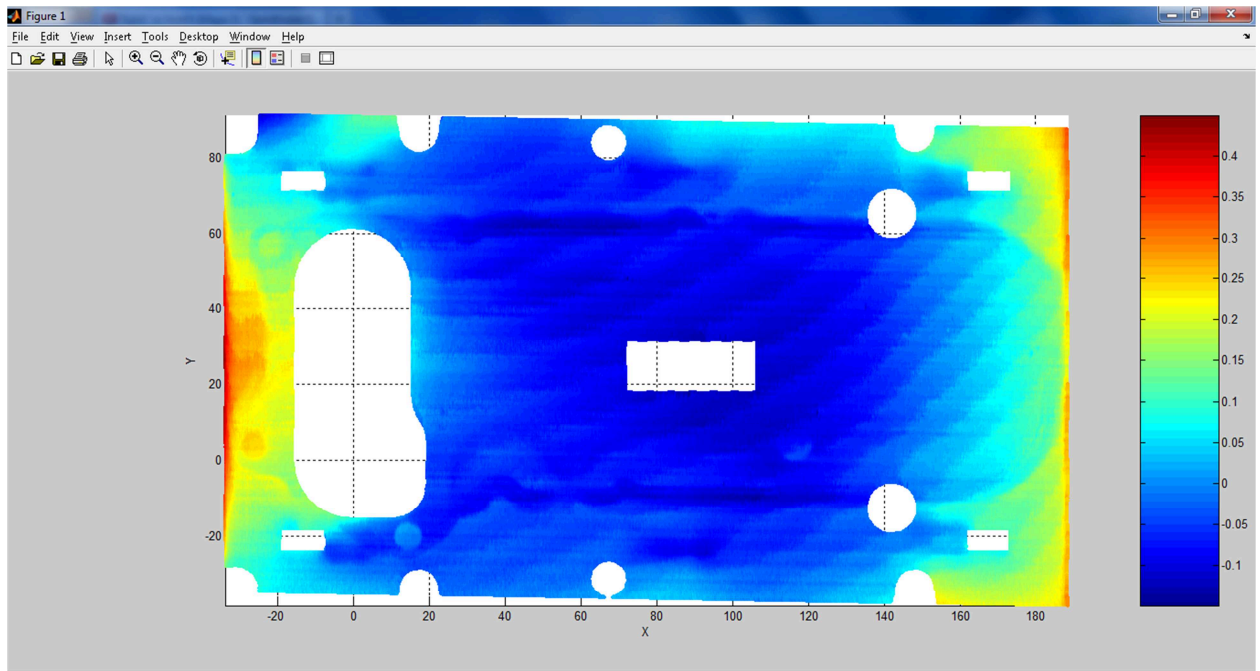


Figura 100 Anexo VII. Mapeado Matlab US2010, ganancia 16'6.

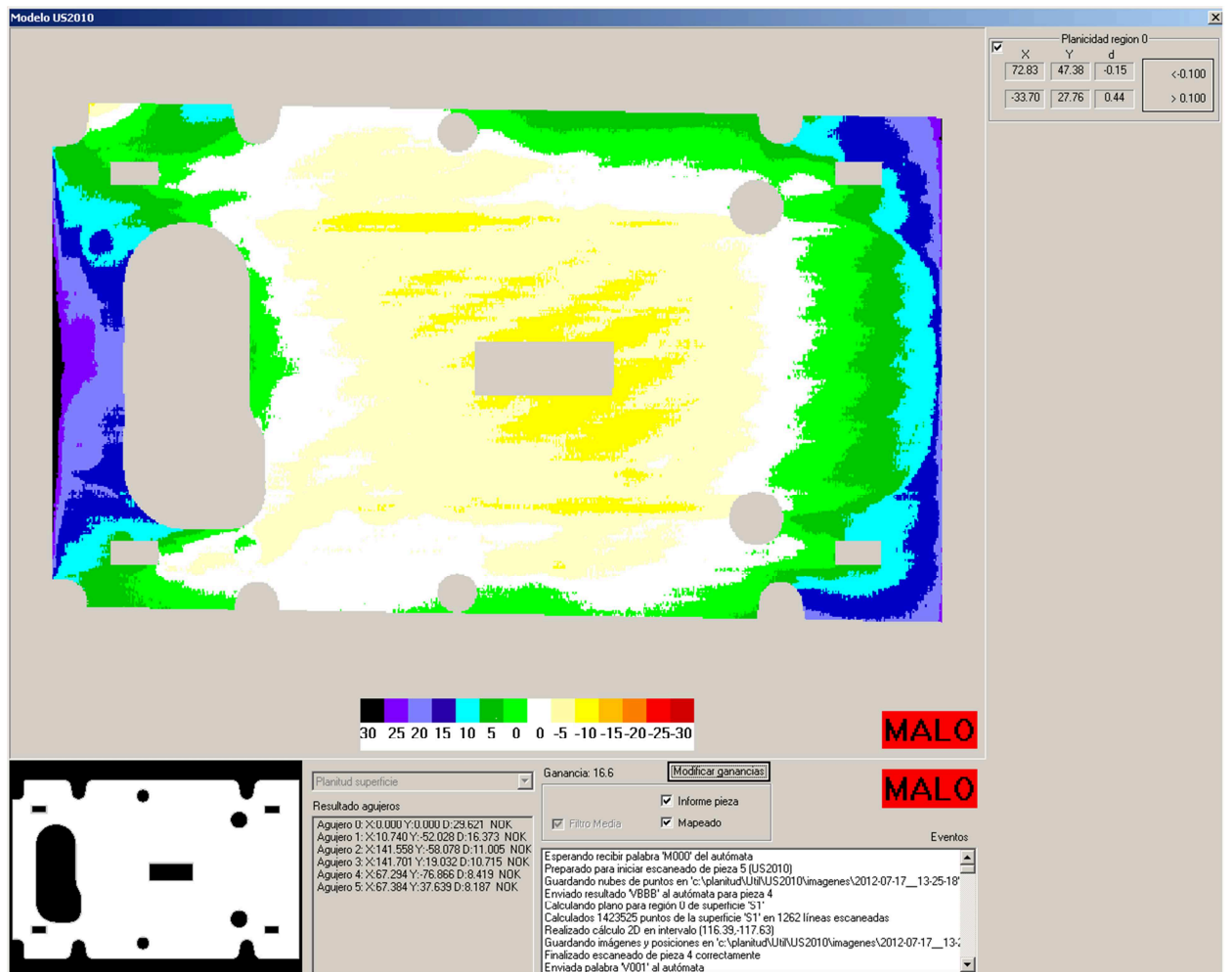


Figura 101 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2010, ganancia 16'6.

- **G15.2**

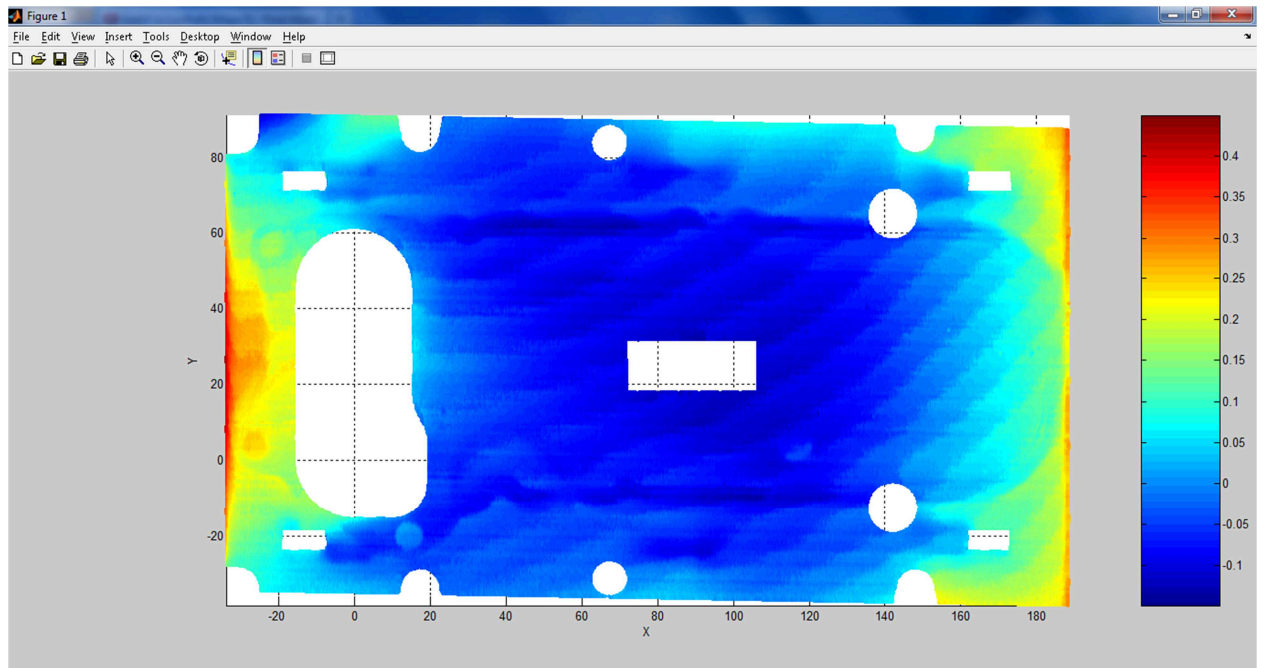


Figura 102 Anexo VII. Mapeado Matlab US2010, ganancia 15'2.

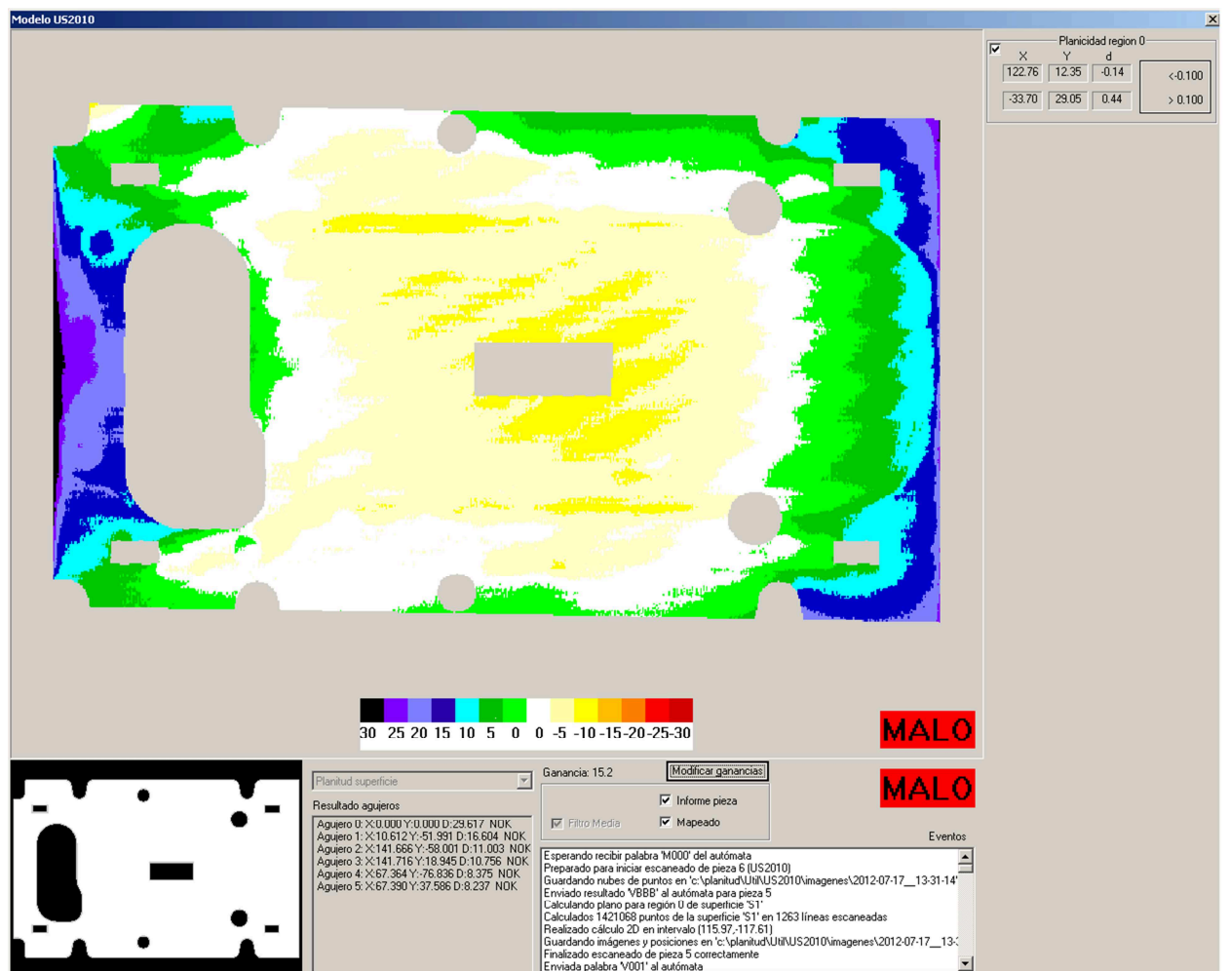


Figura 103 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2010, ganancia 15'2.



• G13.2

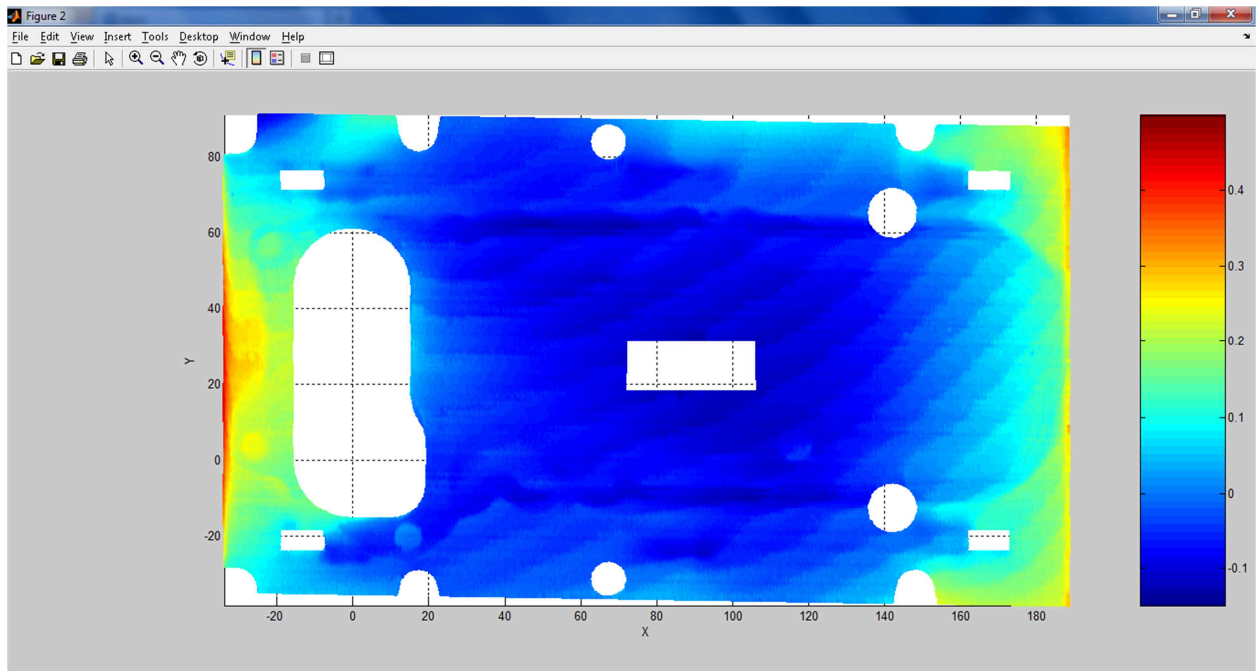


Figura 104 Anexo VII. Mapeado Matlab US2010, ganancia 13'2.

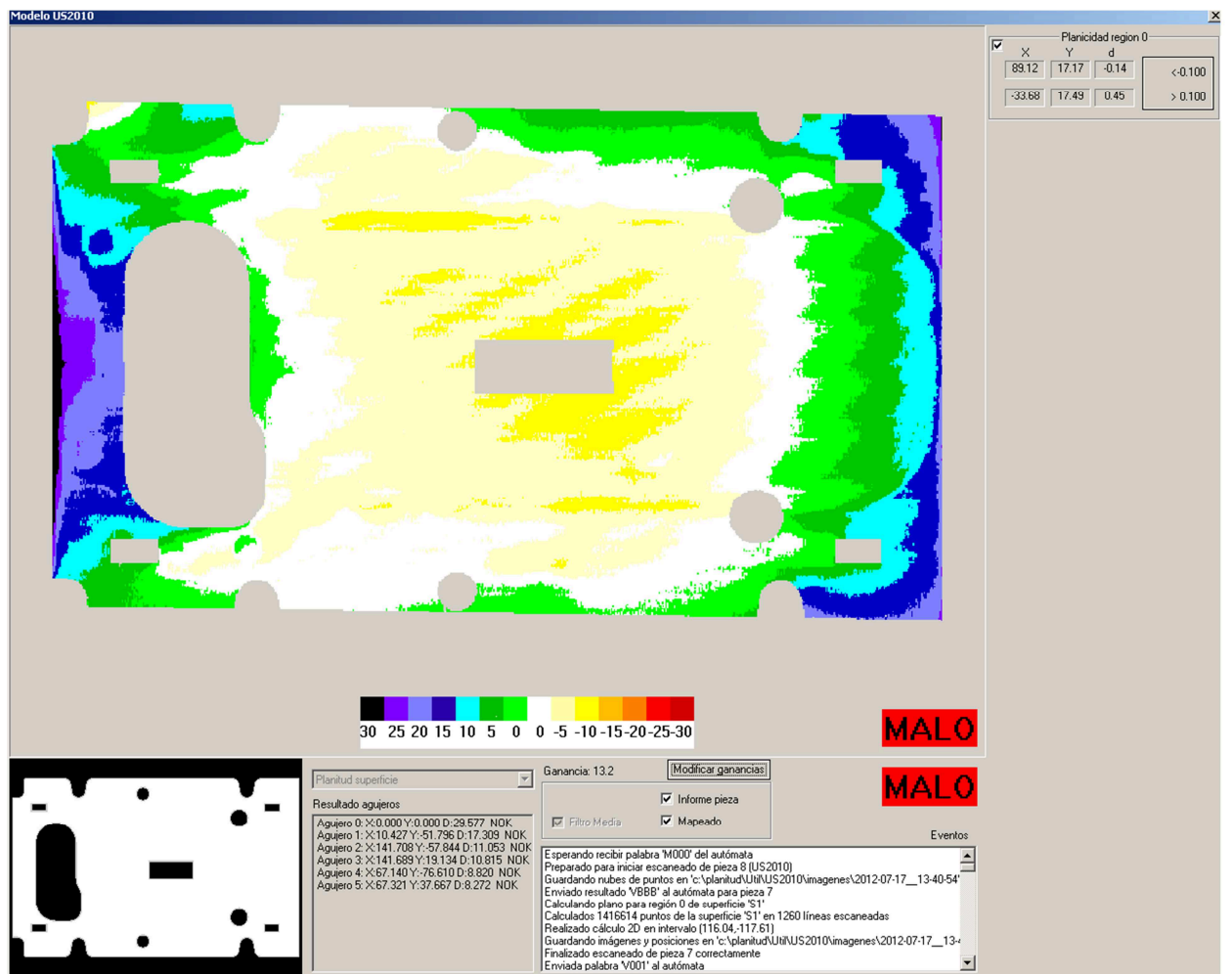
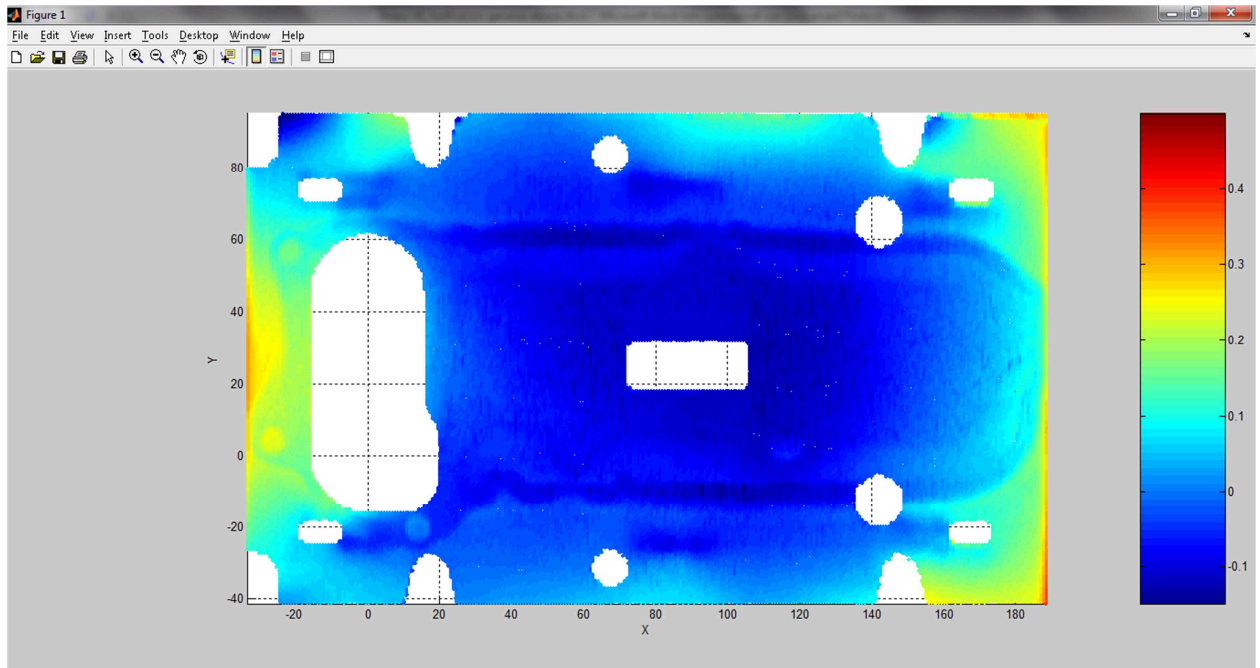


Figura 105 Anexo VII. Mapeado máquina de visión US2010, ganancia 13'2.

## Anexo VII

Al igual que ocurría con los casos anteriores, vemos cómo los mapeados obtenidos con Matlab se corresponden con los obtenidos con el programa IRENE.

A continuación se muestran los resultados obtenidos con la MMC.



*Figura 106 Anexo VII. Mapeado obtenido con MMC US2010.*

Del mismo modo que en los otros dos casos, se puede apreciar cómo la ganancia de 18,1 no muestra ese efecto como de olas que muestran el resto de las ganancias. Vemos que lo mismo ocurre con el mapeado de la MMC.

Lo siguiente que haremos será delimitar las zonas de estudio de las cuales obtendremos resultados más precisos para así determinar cual será la ganancia idónea.

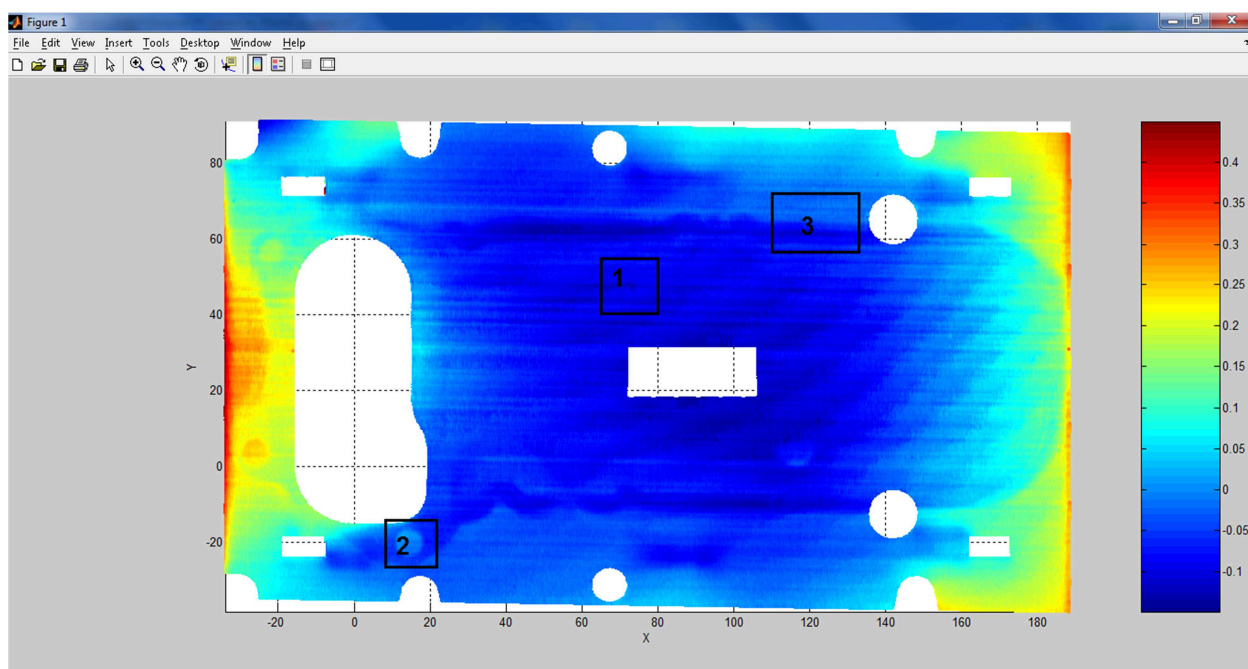
### Selección de las zonas de estudio

A continuación escogemos las zonas de estudio. Al igual que ocurría en el caso anterior, la zona de máximos se localiza en las zonas de curvatura de la pieza y por ello las descartamos. Dicho esto, estudiaremos la zona del mínimo y cogeremos adicionalmente 2 zonas para ver cómo evoluciona el perfil de la zona desgastada.

Para estudiar el mínimo cogeremos la siguiente zona X(65,80) e Y(40,55)

Ganancia	Xmin	Ymin
19.2	72.901	47.311
18.4	122.860	11.995
18.1	72.874	47.567
16.6	72.831	47.378
15.2	122.760	12.349
13.2	89.119	17.165

*Tabla 21 Anexo VII. Localización del mínimo US2010.*



*Figura 107 Anexo VII. Delimitación de las zonas de estudio U2010.*

Por lo tanto las zonas serán: la zona 1 que será la del mínimo, la zona 2 que será la zona del agujero del intercambiador de calor y finalmente la zona 3 que será la zona límite del intercambiador de calor.

### Estudio de las zonas elegidas

**Zona 1** (mínimo de la superficie).

Como ya hemos comentado, para estudiar esta zona, las coordenadas que cogemos son las siguientes X(65,80) e Y(40,55).

Los datos que obtenemos son los siguientes:

Ganancia	Media	Desv Estand	Max	Min	Recorrido	Xmin	Ymin
19.1	-0.090	0.012	-0.054	-0.164	0.110	72.901	47.311
18.4	-0.092	0.011	-0.055	-0.142	0.088	72.853	47.229
18.1	-0.095	0.009	-0.070	-0.147	0.077	72.827	47.369
16.6	-0.091	0.010	-0.058	-0.147	0.090	72.831	47.378
15.2	-0.091	0.011	-0.058	-0.123	0.065	72.609	47.145
13.2	-0.090	0.011	-0.057	-0.139	0.082	72.716	47.185
MMC	-0.098	0.012	-0.073	-0.130	0.057	71.435	42.771

*Tabla 22 Anexo VII. Resultados zona del mínimo US2010.*

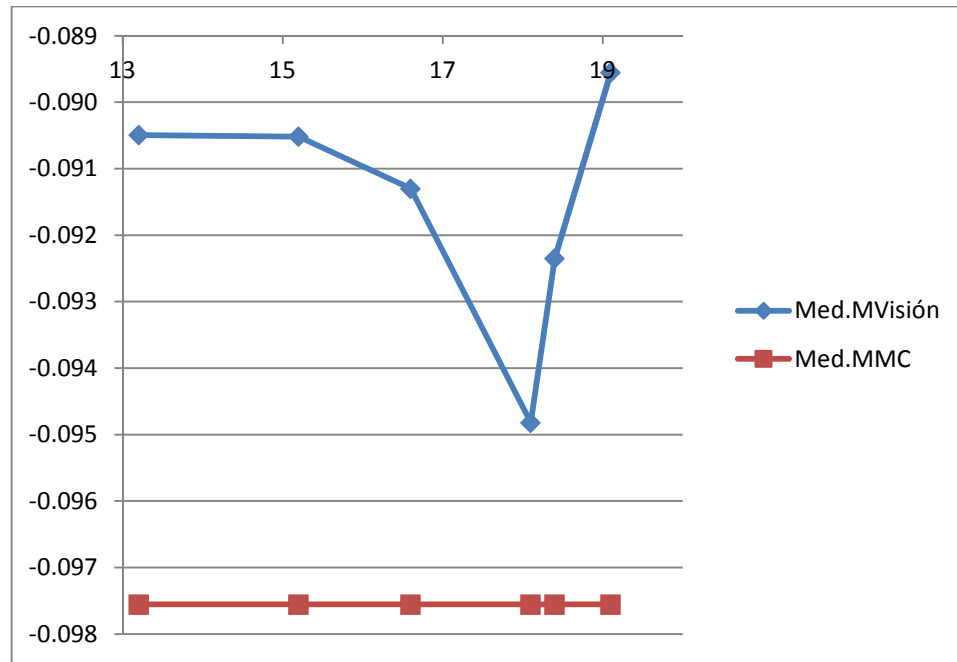


Figura 108 Anexo VII. Media zona mínimo 2010.

Igual que con los casos anteriores vemos que el pico producido por la ganancia de 18,1 hace que sea la que más se aproxime a la media de la MMC. En este caso se produce la particularidad de que la media de la MMC se encuentra por debajo de los resultados de la MMV.

### Comparación de los mínimos de Matlab, con los de los archivos informes.

Los datos que obtenemos de los informes son los siguientes:

Ganancia	Xmax	Xmin	Ymax	Ymin	dmax	dmin	Xa0	Ya0	Da0	Xa1	Ya1	Da1
19.1	-7.566	72.607	27.540	1.909	0.779	-0.164	0.000	0.000	29.571	10.430	-51.677	17.261
18.4	-33.990	122.581	-23.305	-33.454	0.461	-0.150	0.000	0.000	29.579	10.516	-51.786	17.001
18.1	-33.937	72.599	-18.520	1.847	0.442	-0.147	0.000	0.000	29.641	10.764	-52.011	16.313
16.6	-33.935	72.597	-17.765	1.848	0.440	-0.147	0.000	0.000	29.621	10.740	-52.028	16.373
15.2	-33.918	122.542	-16.483	-33.181	0.436	-0.140	0.000	0.000	29.617	10.612	-51.991	16.604
13.2	-33.977	88.820	-27.894	-28.223	0.448	-0.144	0.000	0.000	29.577	10.427	-51.796	17.309

Xa2	Ya2	Da2	Xa3	Ya3	Da3	Xa4	Ya4	Da4	Xa5	Ya5	Da5
141.568	-57.948	10.786	141.616	19.208	10.529	67.358	-76.820	8.266	67.343	37.708	8.082
141.594	-57.962	10.876	141.643	19.121	10.601	67.326	-76.857	8.333	67.352	37.673	8.134
141.577	-58.033	10.974	141.710	19.016	10.640	67.267	-76.861	8.421	67.392	37.636	8.137
141.558	-58.078	11.005	141.701	19.032	10.715	67.294	-76.866	8.419	67.384	37.639	8.187
141.666	-58.001	11.003	141.716	18.945	10.756	67.364	-76.836	8.375	67.390	37.586	8.237
141.708	-57.844	11.053	141.689	19.134	10.815	67.140	-76.610	8.820	67.321	37.667	8.272

Tabla 23 Anexo VII. Datos obtenidos del archivo informes US2010.

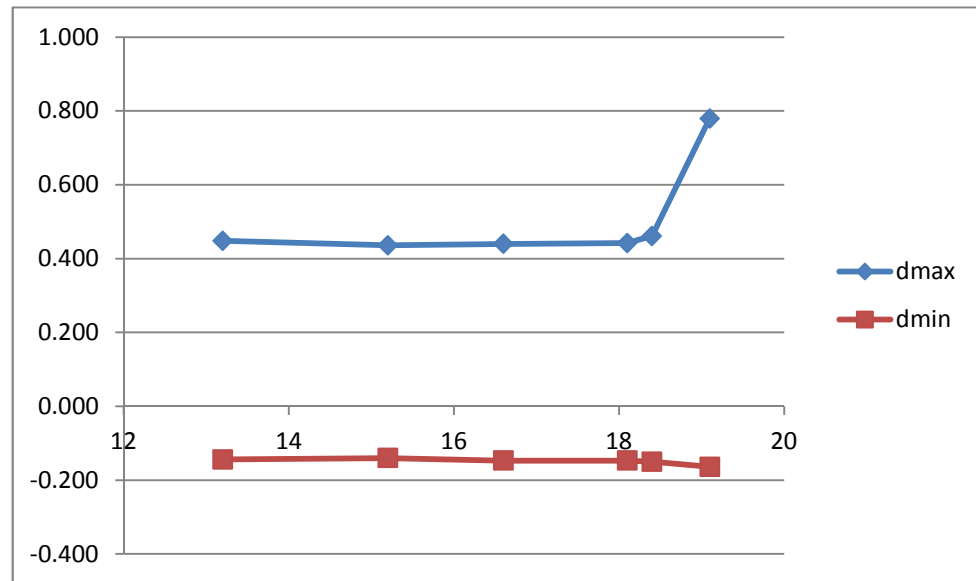


Figura 109 Anexo VII. Máximos y mínimos obtenidos del archivo informes US2010.

Vemos que se repite el mismo patrón que en las piezas anteriores, es decir, los mínimos se mantienen prácticamente constantes mientras que los máximos, no.

Ganancia	Min	Min_Informes
19.1	-0.164	-0.164
18.4	-0.150	-0.150
18.1	-0.147	-0.147
16.6	-0.147	-0.147
15.2	-0.140	-0.140
13.2	-0.144	-0.144

Tabla 24 Anexo VII. Comparación de los mínimos obtenidos con Matlab, con los obtenidos del archivo informes US2010

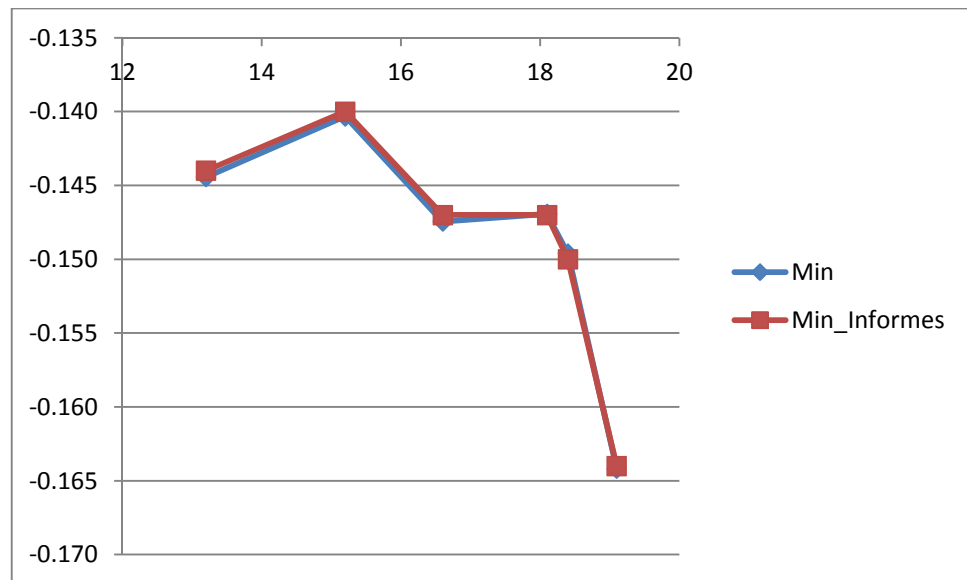


Figura 110 Anexo VII. Comparación de los mínimos obtenidos con Matlab, con los obtenidos del archivo informes, US2010.

Se observa cómo los datos obtenidos son idénticos.

También comprobaremos si la traslación de los agujeros se corresponde con la traslación de los mínimos

Ganancia	Xa0	Xa1	Xa2	Xa3	Xa4	Xa5
19.1	0.000	10.430	141.568	141.616	67.358	67.343
18.4	0.000	10.516	141.594	141.643	67.326	67.352
18.1	0.000	10.764	141.577	141.710	67.267	67.392
16.6	0.000	10.740	141.558	141.701	67.294	67.384
15.2	0.000	10.612	141.666	141.716	67.364	67.390
13.2	0.000	10.427	141.708	141.689	67.140	67.321

Ya0	Ya1	Ya2	Ya3	Ya4	Ya5	Xmin	Ymin
0.000	-51.677	-57.948	19.208	-76.820	37.708	72.901	47.311
0.000	-51.786	-57.962	19.121	-76.857	37.673	122.860	11.995
0.000	-52.011	-58.033	19.016	-76.861	37.636	72.874	47.567
0.000	-52.028	-58.078	19.032	-76.866	37.639	72.831	47.378
0.000	-51.991	-58.001	18.945	-76.836	37.586	122.760	12.349
0.000	-51.796	-57.844	19.134	-76.610	37.667	89.119	17.165

Tabla 25 Anexo VII. Posición de agujeros frente a las coordenadas de los mínimos obtenidos con matlab, US2010.

En las siguientes gráficas se representa cómo varían las coordenadas de los agujeros (excepto del primero que siempre es el origen) y cómo varían las coordenadas del mínimo

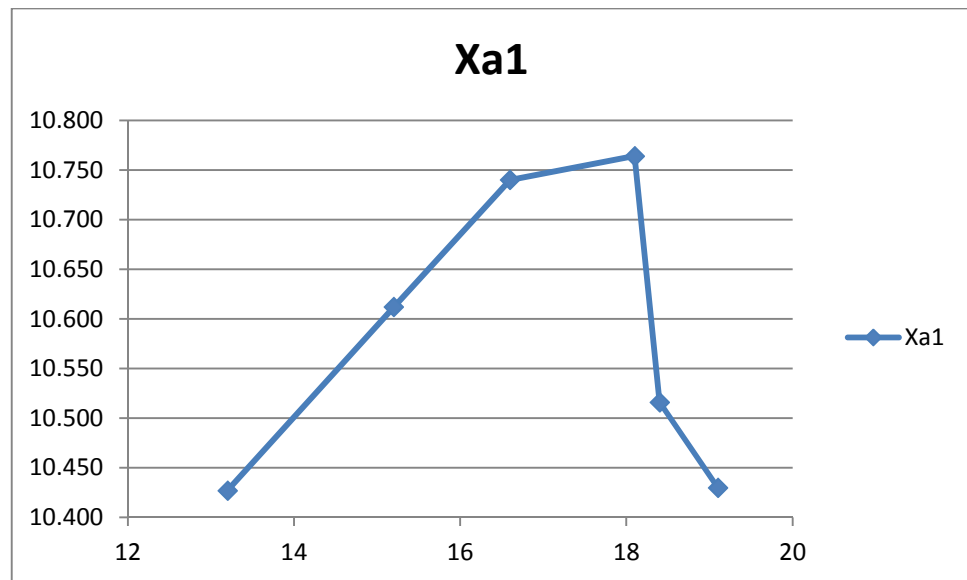


Figura 111 Anexo VII. Coordenada X del agujero 1, US2010.

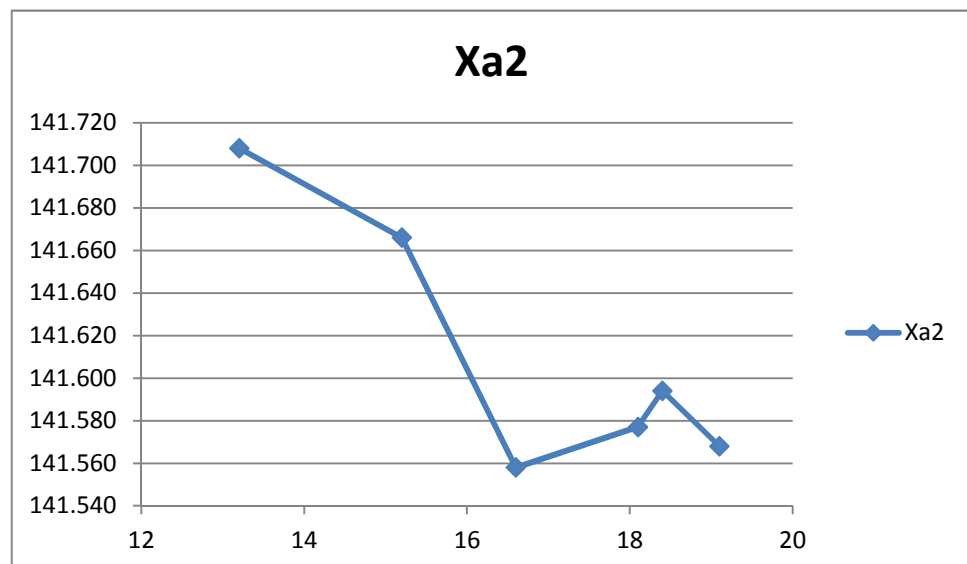


Figura 112 Anexo VII. Coordenada X del agujero 2, US2010.

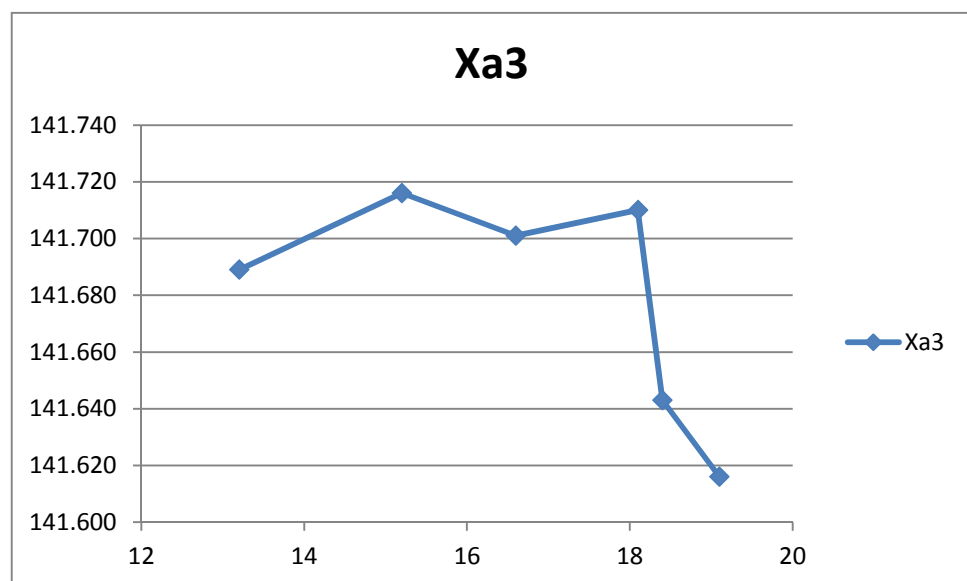


Figura 113 Anexo VII. Coordenada X del agujero 3, US2010.

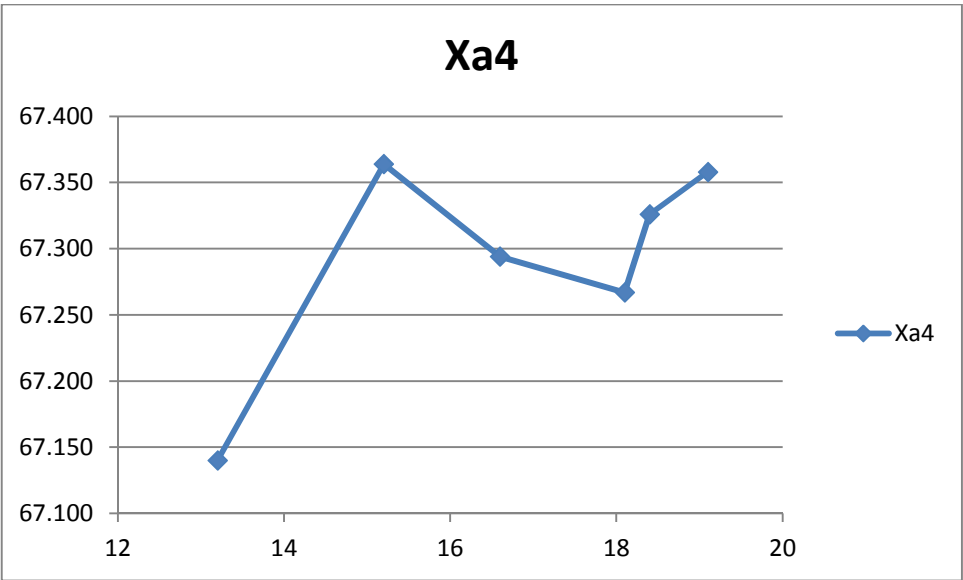


Figura 114 Anexo VII. Coordenada X del agujero 4, US2010.

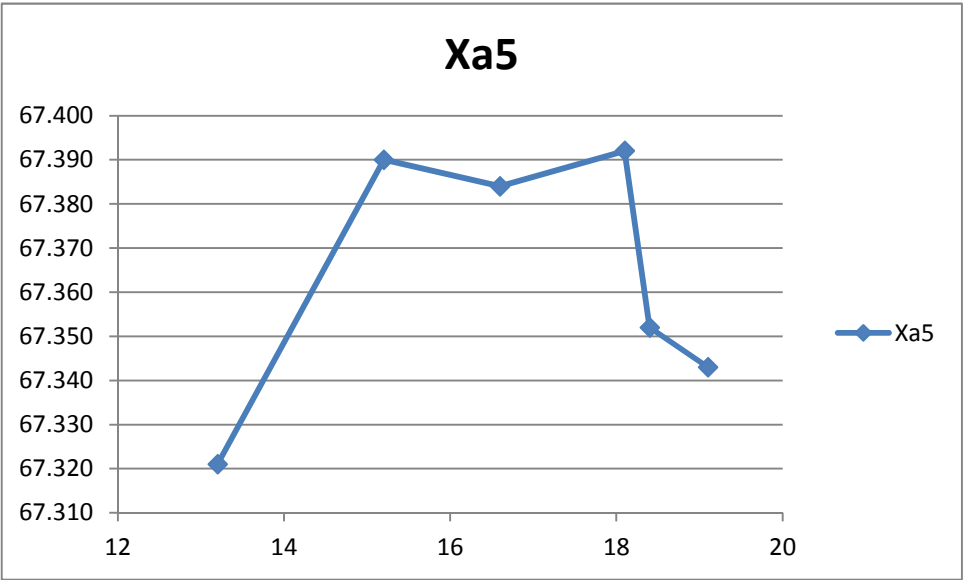


Figura 115 Anexo VII. Coordenada X del agujero 5, US2010.

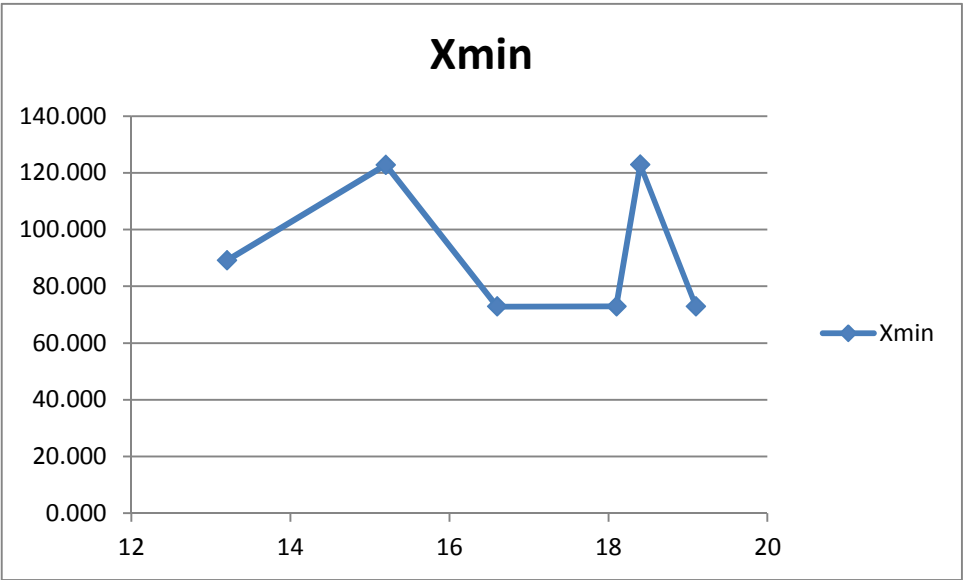


Figura 116 Anexo VII. Coordenada X del mínimo, US2010.



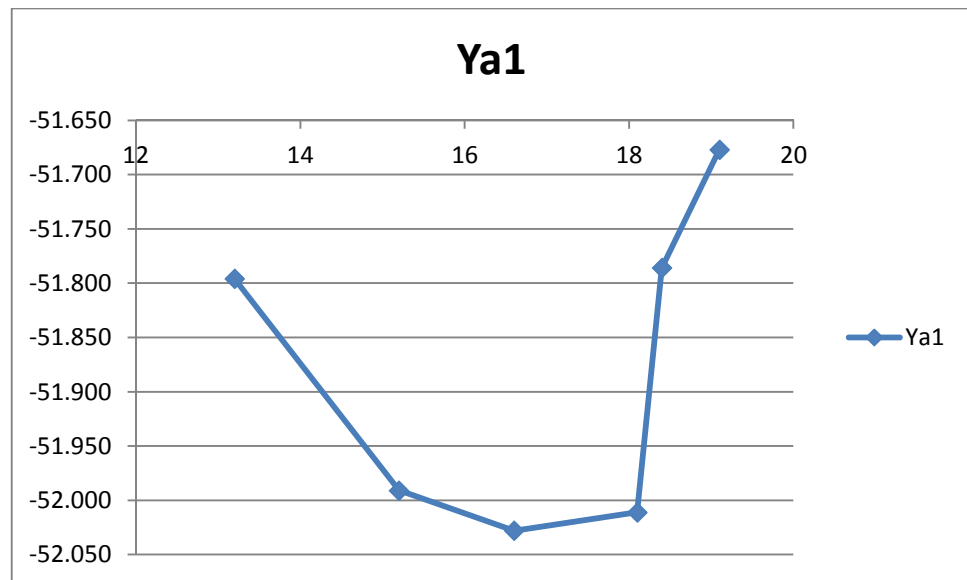


Figura 117 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 1, US2010.

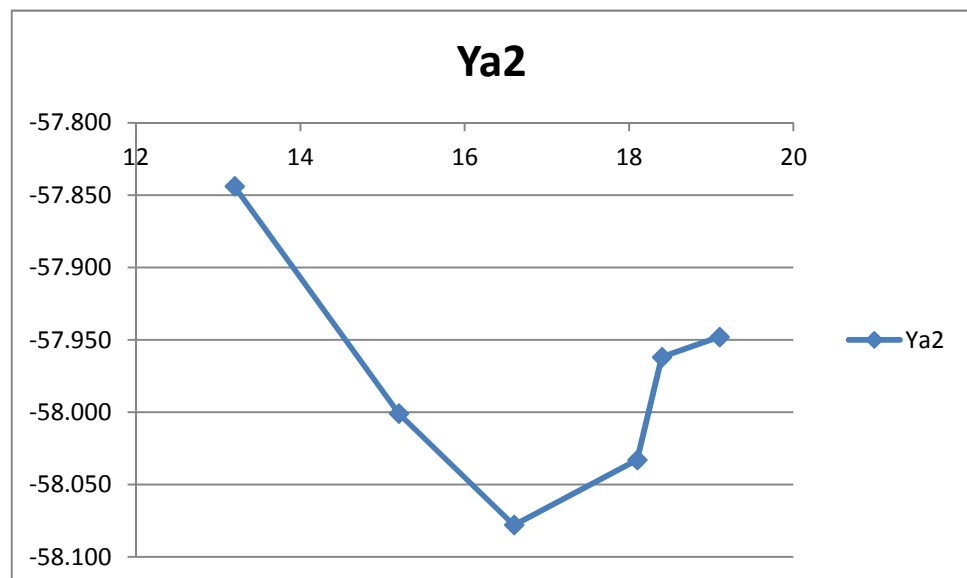


Figura 118 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 2, US2010.

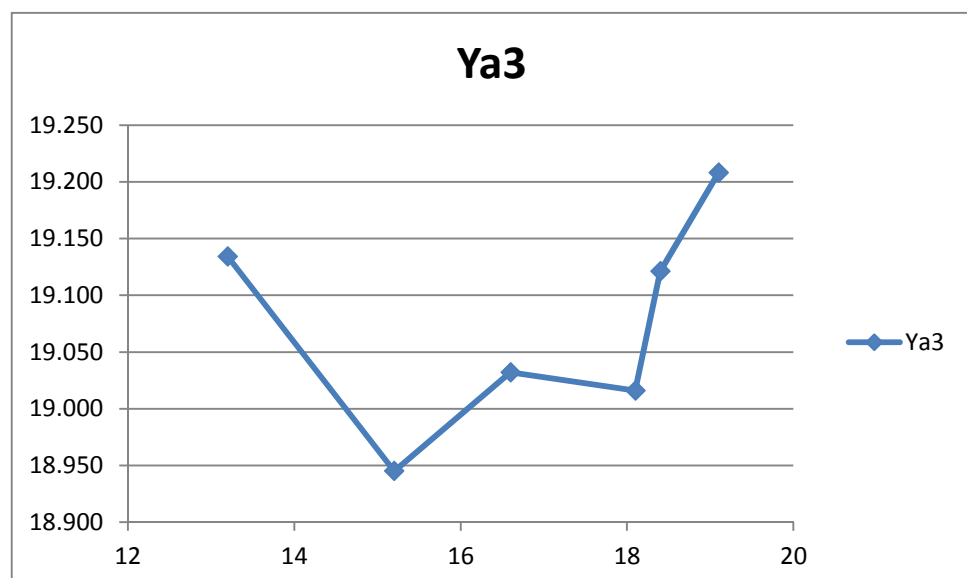


Figura 119 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 3, US2010.

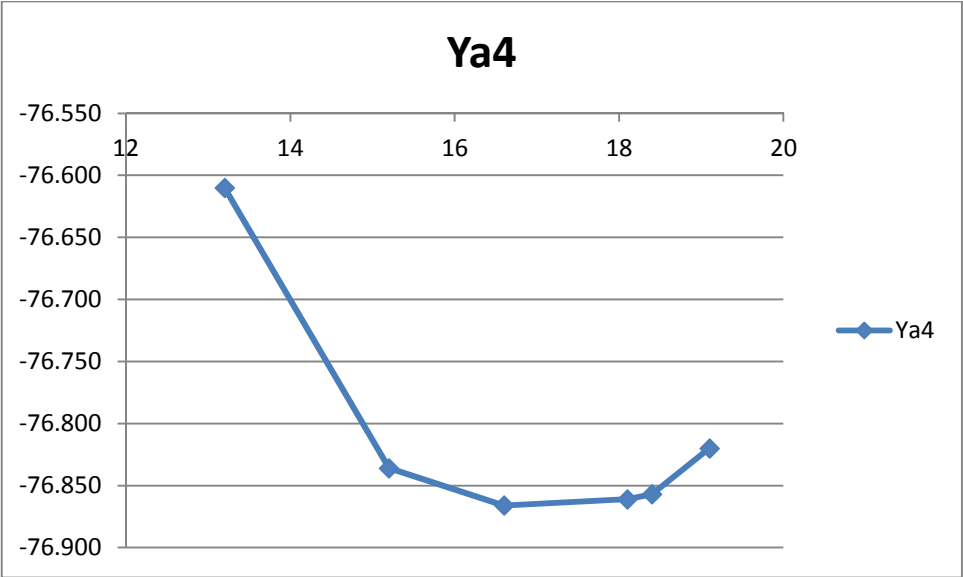


Figura 120 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 4, US2010.

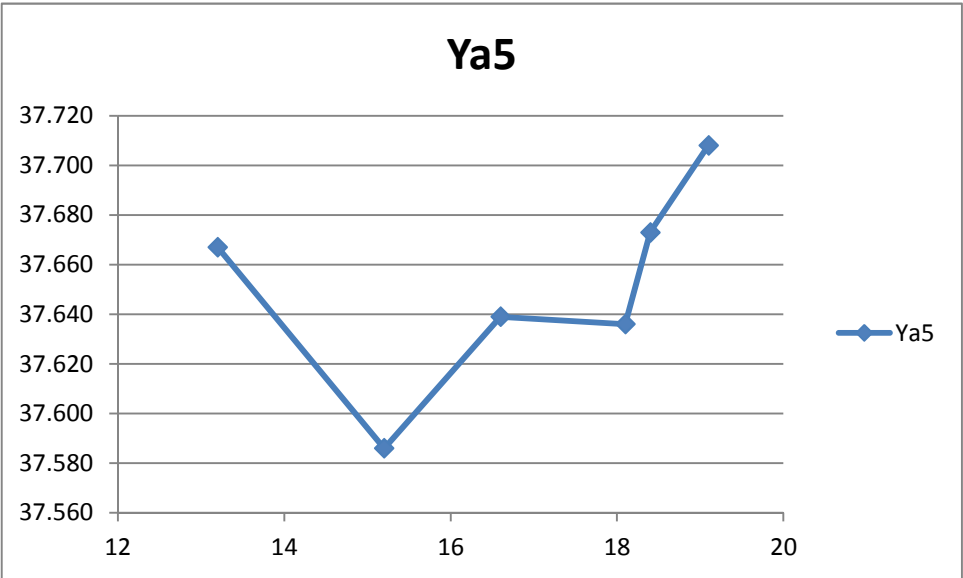


Figura 121 Anexo VII. Coordenada Y del agujero 5, US2010.

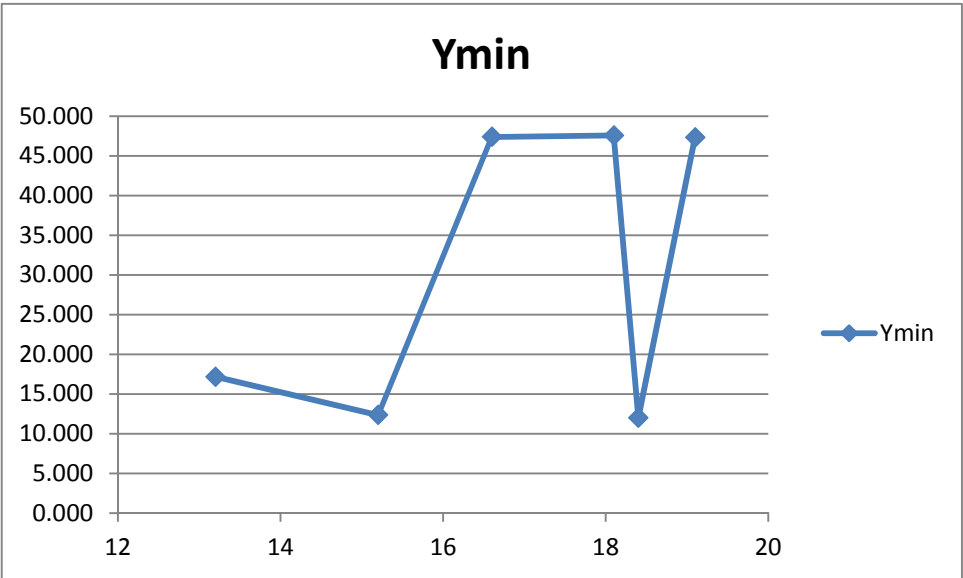
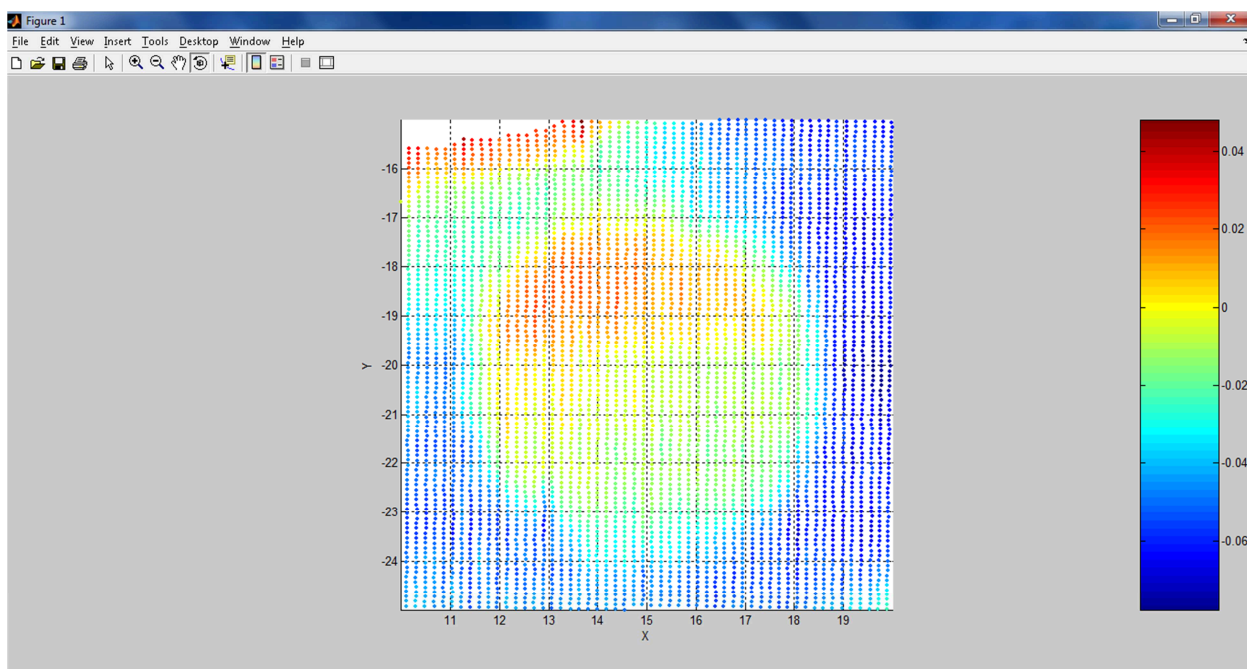


Figura 122 Anexo VII. Coordenada Y del mínimo, US2010.

Del mismo modo que ocurre en los casos anteriores a ganancias bajas no se corresponde la traslación de los agujeros con las del mínimo debido a los malos alineamientos producidos.

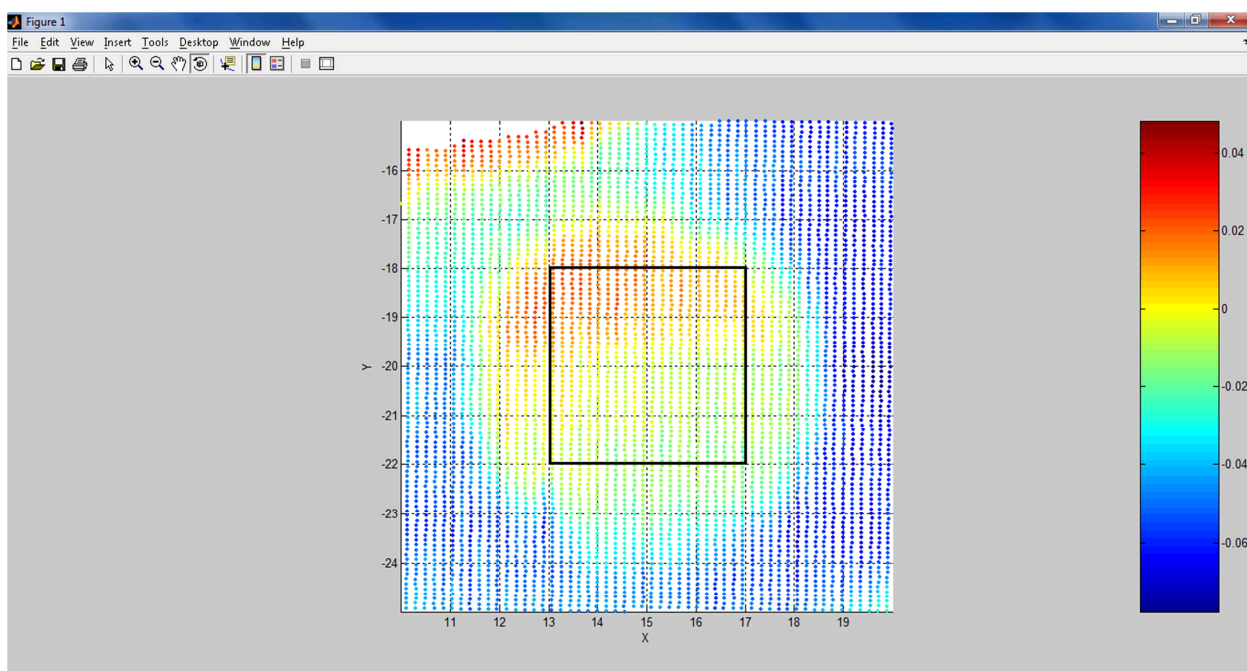
### **Zona 2** (agujero del intercambiador)

La siguiente zona será el círculo que se produce al desgastarse el útil con el intercambiador.



*Figura 123 Anexo VII. Delimitación de la zona 2 US2010.*

En un principio vamos a estudiar la zona central del círculo del mismo modo que hemos realizado en los otros casos. Para ello la zona que someteremos a estudio será  $X(13,17)$  e  $Y(-22,-18)$ .



*Figura 124 Anexo VII. Delimitación de la parte interna de la zona 2 US2010.*

Los datos obtenidos junto con las correspondientes gráficas obtenidas son los siguientes.

## Anexo VII

Ganancia	Media	Desv Estan	Max	Min	Recorrido	Xmax	Ymax
19.1	0.000	0.010	0.021	-0.021	0.042	13.659	-18.329
18.4	-0.002	0.010	0.019	-0.021	0.040	13.231	-18.089
18.1	-0.004	0.007	0.015	-0.015	0.031	13.313	-18.196
16.6	-0.003	0.009	0.019	-0.020	0.039	13.171	-18.004
15.2	-0.002	0.009	0.019	-0.020	0.040	13.498	-18.125
13.2	-0.001	0.008	0.021	-0.020	0.041	13.323	-18.178
MMC	-0.001	0.006	0.012	-0.016	0.027	13.620	-18.036

Tabla 26 Anexo VII. Resultados obtenidos de la parte interna de la zona 2 US2010.

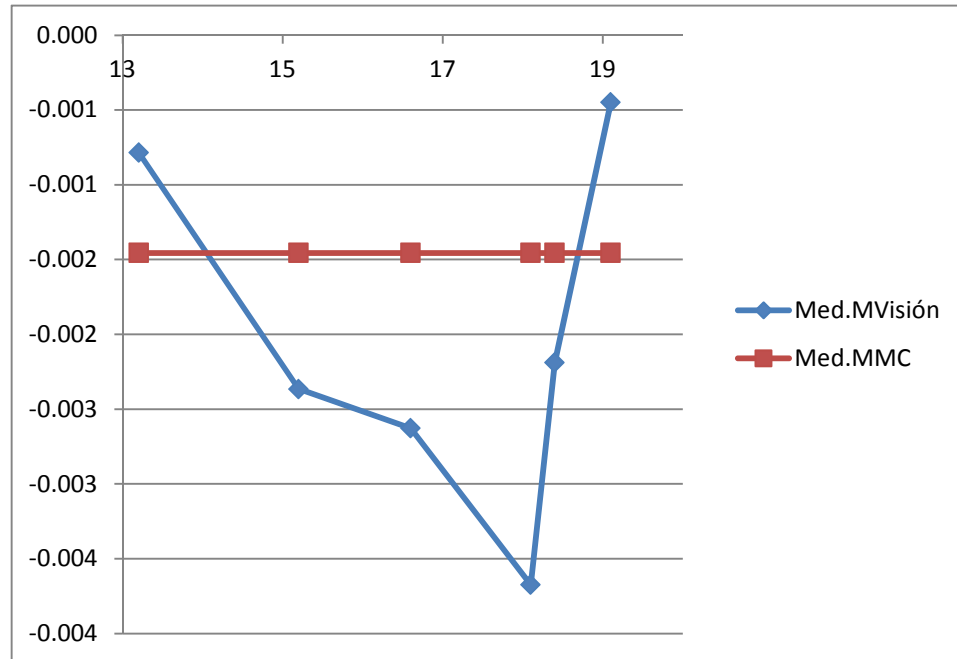


Figura 125 Anexo VII. Media zona interior del agujero US2010.

Aunque en este caso la ganancia 18,1 no es la que se aproxima, si que podemos seguir viendo el mismo patrón que se estaba repitiendo hasta ahora.

Para ver cómo evoluciona el perfil de la planitud, estudiaremos cómo evoluciona el perfil de la planitud a lo largo de la coordenada Y(-20), para ello, la zona que someteremos a estudio será X(11,19) e Y(-20,-19.9), con lo que conseguiremos aislar una única línea.

Coordenada	G19.1	G18.4	G18.1	G16.6	G15.2	G13.2
18.831	-0.061	-0.073	-0.062	-0.080	-0.078	-0.069
18.653	-0.050	-0.064	-0.055	-0.068	-0.068	-0.064
18.472	-0.035	-0.058	-0.047	-0.058	-0.059	-0.038
18.289	-0.031	-0.040	-0.033	-0.037	-0.033	-0.022
18.093	-0.015	-0.026	-0.026	-0.024	-0.027	-0.015
17.906	-0.014	-0.018	-0.014	-0.018	-0.018	-0.011
17.733	-0.019	-0.015	-0.011	-0.012	-0.012	-0.013
17.551	-0.009	-0.010	-0.009	-0.010	-0.013	-0.008
17.365	-0.009	-0.012	-0.011	-0.013	-0.012	-0.008
17.179	-0.015	-0.013	-0.009	-0.012	-0.011	-0.013
16.972	-0.011	-0.015	-0.013	-0.016	-0.016	-0.010
16.799	-0.011	-0.015	-0.009	-0.011	-0.012	-0.009
16.610	-0.012	-0.015	-0.012	-0.014	-0.012	-0.009
16.428	-0.009	-0.012	-0.009	-0.013	-0.011	-0.007
16.259	-0.013	-0.014	-0.010	-0.012	-0.011	-0.014

16.063	-0.011	-0.018	-0.012	-0.016	-0.015	-0.008
15.876	-0.009	-0.013	-0.009	-0.013	-0.011	-0.009
15.699	-0.008	-0.012	-0.008	-0.010	-0.011	-0.007
15.504	-0.011	-0.012	-0.009	-0.011	-0.009	-0.013
15.318	-0.005	-0.012	-0.008	-0.010	-0.012	-0.008
15.130	-0.006	-0.007	-0.004	-0.007	-0.007	-0.005
14.954	-0.007	-0.010	-0.010	-0.010	-0.008	-0.006
14.769	-0.005	-0.009	-0.008	-0.009	-0.007	-0.006
14.573	-0.007	-0.005	-0.004	-0.005	-0.006	-0.005
14.395	-0.006	-0.010	-0.009	-0.009	-0.007	-0.003
14.209	-0.007	-0.008	-0.006	-0.007	-0.005	-0.011
14.013	-0.001	-0.007	-0.006	-0.007	-0.007	0.000
13.838	0.000	0.000	-0.006	0.001	0.000	0.001
13.655	-0.008	-0.006	0.000	-0.005	-0.004	-0.007
13.475	0.002	-0.007	-0.004	-0.006	-0.004	0.005
13.287	0.003	0.003	0.000	0.004	0.005	0.002
13.093	0.006	0.000	0.009	-0.001	0.001	0.004
12.921	-0.002	0.001	0.000	0.003	0.001	0.001
12.732	0.004	-0.001	0.003	0.001	0.001	0.004
12.549	0.005	-0.004	0.005	-0.001	0.001	0.003
12.367	-0.003	-0.003	0.001	-0.001	0.002	0.002
12.178	0.004	-0.005	0.002	0.000	0.001	0.007
11.983	-0.003	0.000	-0.001	0.003	0.003	0.004
11.806	-0.004	-0.006	0.005	0.002	0.005	0.000
11.626	-0.016	-0.008	0.004	-0.002	0.000	-0.019
11.436	-0.030	-0.030	-0.003	-0.021	-0.019	-0.031
11.261	-0.039	-0.041	-0.014	-0.024	-0.023	-0.042
11.078	-0.045	-0.043	-0.028	-0.040	-0.037	-0.046

Tabla 27 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 2 Máquina de Visión, US2010.

Coord	MMC	Coord	MMC	Coord	MMC
11.001	0.02674	13.751	0.02265	16.506	0.02138
11.139	0.0248	13.892	0.02001	16.643	0.01838
11.281	0.02646	14.035	0.01992	16.788	0.01634
11.426	0.02921	14.169	0.02057	16.919	0.01114
11.559	0.02969	14.302	0.01958	17.050	0.00557
11.684	0.03197	14.443	0.01676	17.186	-0.0036
11.826	0.0303	14.587	0.01735	17.327	-0.0128
11.968	0.02983	14.723	0.01946	17.467	-0.0191
12.105	0.03016	14.861	0.02012	17.607	-0.0224
12.235	0.02835	14.994	0.0199	17.749	-0.0228
12.378	0.02596	15.129	0.01728	17.883	-0.0245
12.518	0.02614	15.272	0.01626	18.026	-0.0241
12.655	0.02808	15.415	0.0187	18.160	-0.023
12.785	0.0236	15.539	0.02121	18.296	-0.0266
12.930	0.0208	15.683	0.01889	18.437	-0.0285
13.058	0.02008	15.826	0.0201	18.576	-0.0282
13.202	0.01742	15.957	0.01984	18.711	-0.0313
13.342	0.01651	16.098	0.02004	18.850	-0.0318
13.485	0.01723	16.239	0.02187	18.994	-0.0306
13.622	0.0197	16.372	0.02408		

Tabla 28 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 2 MMC, US2010.

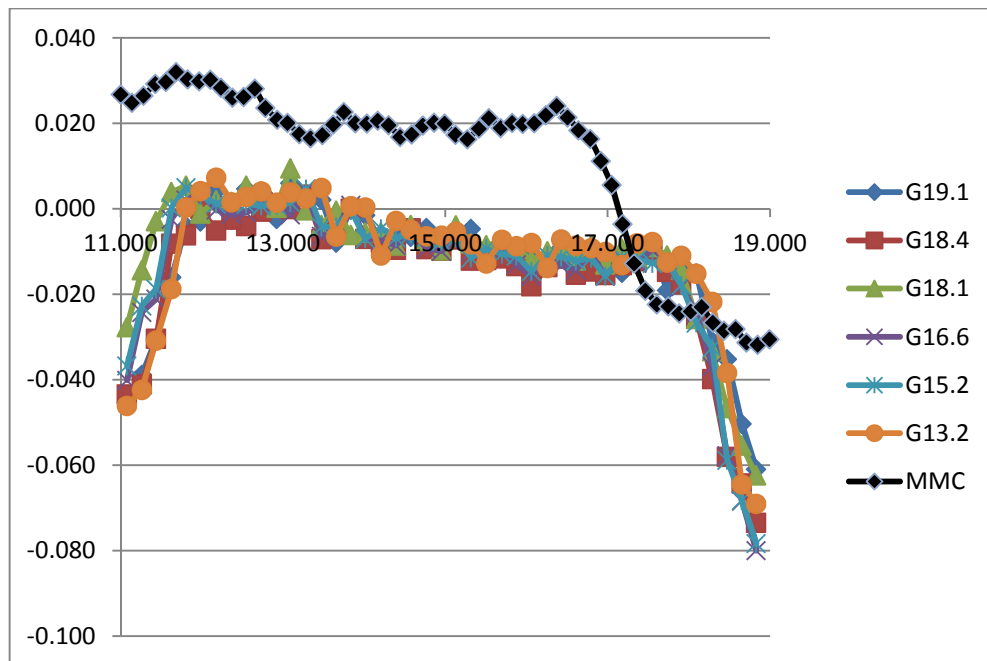


Figura 126 Anexo VII. Perfil de la zona 2 US2010.

Puesto que, a pesar de filtrar los datos, las gráficas obtenidas no muestran mucha información, vamos a intentar sacar algo a partir de agregar líneas de tendencia polinomiales de grado 6.

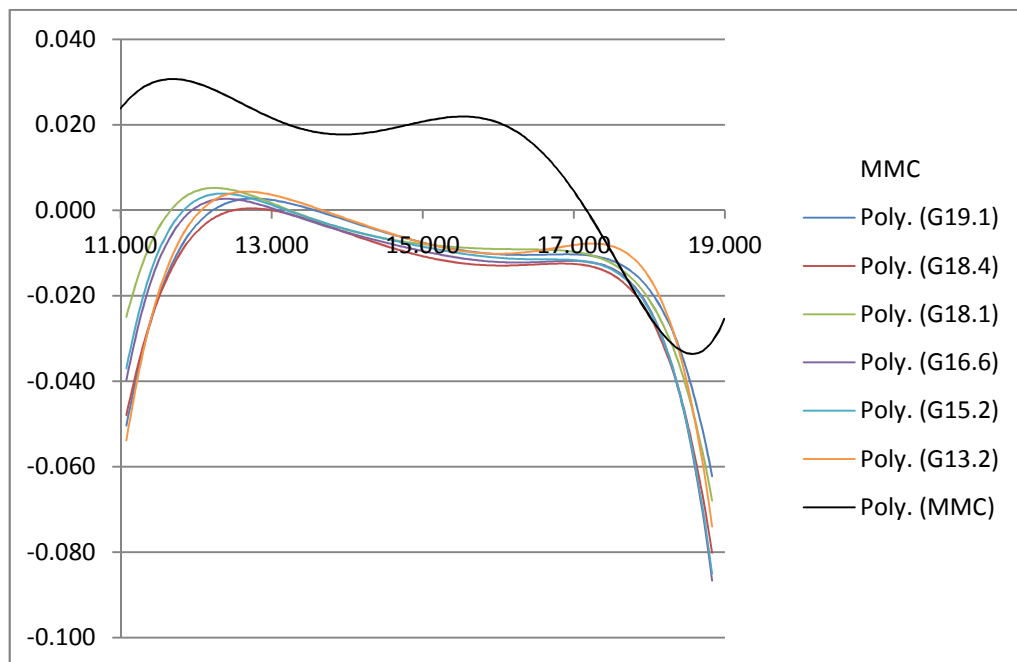
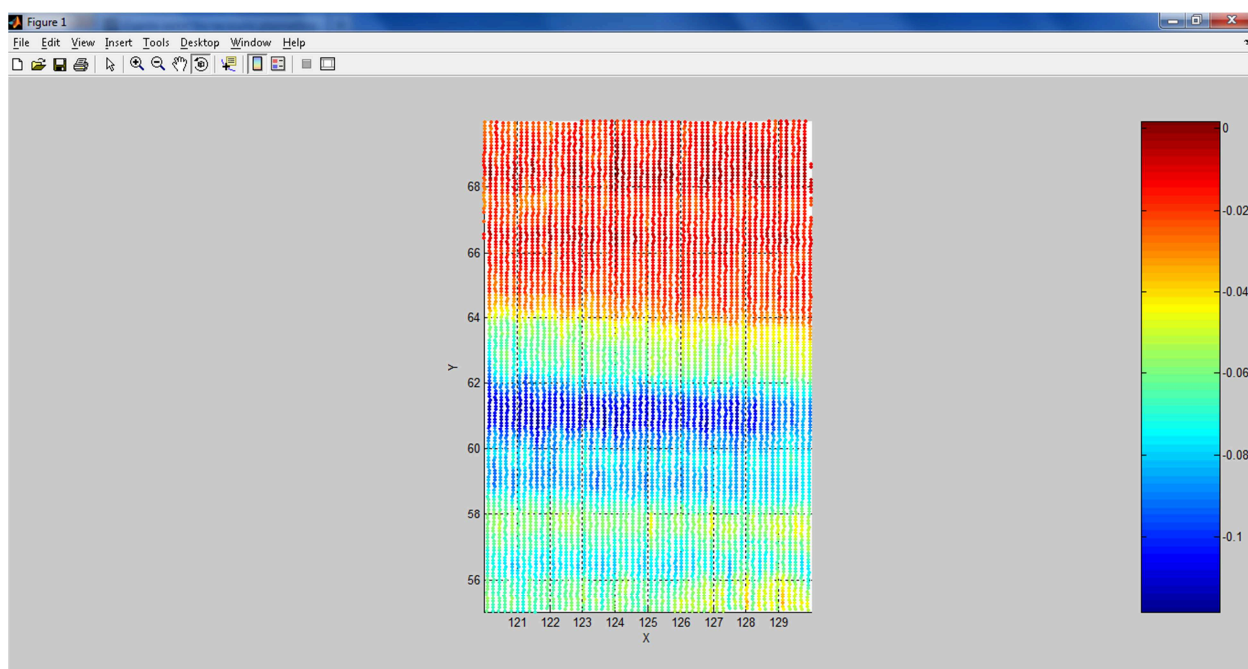


Figura 127 Anexo VII. Línea de tendencia de la zona 2, US2010.

Del mismo modo que pasa en los agujeros de las otras piezas, vemos que se sigue la misma tendencia, pero no se aproxima a los valores obtenidos con la MMV.

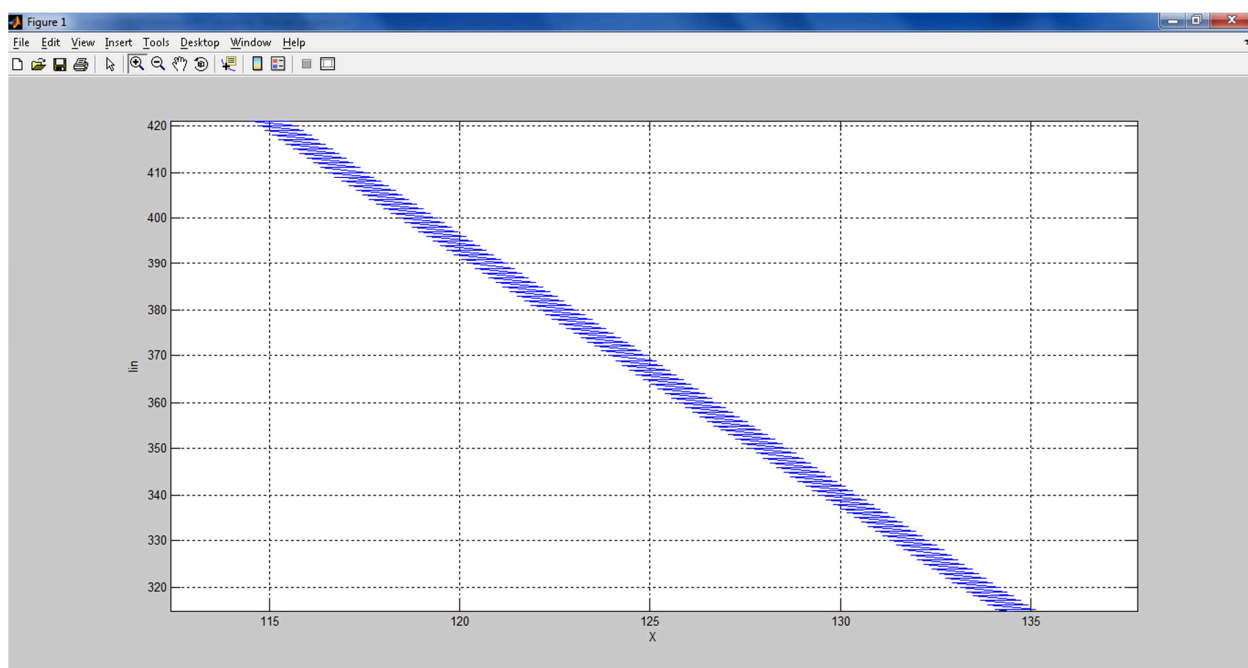
### Zona 3 (límite intercambiador)

Finalmente, la zona a estudiar será la del límite del intercambiador, donde se puede apreciar claramente un cambio de planitud.



*Figura 128 Anexo VII. Delimitación zona 3 US2010.*

Para estudiar este caso, vamos a estudiar una única línea que será la que se corresponda con la coordenada de X(125).



*Figura 129 Anexo VII. Correspondencia de las líneas con su respectivas coordenadas X US2010.*

Vemos que se corresponde aproximadamente con la línea 368. Para estudiarla, utilizaremos el programa 3 y la zona de estudio será Lin(368,368) e Y(55,70)

Repetimos el proceso para cada una de las ganancias y obtenemos los siguientes resultados.

Coordenada	G19.1	G18.4	G18.1	G16.6	G15.2	G13.2
55.026	-0.053143	-0.071971	-0.068971	-0.070655	-0.062278	-0.065526
55.124	-0.054564	-0.072428	-0.068634	-0.072821	-0.061605	-0.068084
55.221	-0.055882	-0.07429	-0.068026	-0.072552	-0.063978	-0.070951

Anexo VII

55.320	-0.053741	-0.073037	-0.068077	-0.072534	-0.064239	-0.071162
55.416	-0.060365	-0.075222	-0.068019	-0.074075	-0.064313	-0.070401
55.514	-0.0613	-0.076302	-0.067725	-0.074217	-0.063719	-0.068769
55.613	-0.062607	-0.07621	-0.067918	-0.073819	-0.063552	-0.06779
55.710	-0.064695	-0.077029	-0.068303	-0.074417	-0.066555	-0.067177
55.808	-0.071091	-0.07744	-0.068296	-0.074849	-0.069455	-0.066933
55.906	-0.07072	-0.076762	-0.067575	-0.074861	-0.072996	-0.06935
56.003	-0.07157	-0.080878	-0.067755	-0.077476	-0.075114	-0.071508
56.101	-0.076325	-0.083471	-0.068142	-0.076506	-0.074916	-0.071901
56.199	-0.077263	-0.082677	-0.067817	-0.076576	-0.078116	-0.072359
56.297	-0.079572	-0.083716	-0.067361	-0.080455	-0.077894	-0.072177
56.394	-0.081027	-0.082778	-0.066878	-0.080125	-0.077443	-0.072075
56.491	-0.079261	-0.080631	-0.066483	-0.078082	-0.0766	-0.072068
56.589	-0.080615	-0.079411	-0.066402	-0.076975	-0.076521	-0.072407
56.687	-0.078557	-0.077826	-0.066245	-0.076339	-0.076279	-0.072885
56.785	-0.076124	-0.076586	-0.065989	-0.075296	-0.075399	-0.072623
56.883	-0.071947	-0.074986	-0.066457	-0.074128	-0.074728	-0.071955
56.980	-0.068381	-0.07341	-0.067461	-0.072558	-0.075211	-0.072305
57.078	-0.072154	-0.072404	-0.067144	-0.072383	-0.075959	-0.072259
57.175	-0.073256	-0.07195	-0.066312	-0.072887	-0.075232	-0.071141
57.273	-0.066755	-0.070868	-0.067976	-0.071693	-0.074021	-0.070128
57.370	-0.060257	-0.069793	-0.069839	-0.069708	-0.074264	-0.069761
57.467	-0.057361	-0.069716	-0.070743	-0.068951	-0.074664	-0.069189
57.566	-0.057116	-0.069431	-0.070222	-0.069658	-0.074746	-0.068952
57.664	-0.054636	-0.06936	-0.070433	-0.070303	-0.07548	-0.068953
57.760	-0.054775	-0.069859	-0.070811	-0.070356	-0.076296	-0.069165
57.857	-0.055517	-0.070816	-0.071863	-0.070496	-0.077374	-0.070268
57.956	-0.056076	-0.071126	-0.072892	-0.071031	-0.078717	-0.072369
58.054	-0.060994	-0.073671	-0.074634	-0.073102	-0.080102	-0.074472
58.151	-0.062947	-0.075057	-0.076945	-0.074851	-0.082198	-0.076961
58.249	-0.064003	-0.077582	-0.079299	-0.077119	-0.084923	-0.079076
58.347	-0.068526	-0.079905	-0.080478	-0.079672	-0.087758	-0.081096
58.444	-0.074978	-0.081701	-0.081808	-0.082337	-0.089357	-0.083022
58.542	-0.077866	-0.082419	-0.083569	-0.084419	-0.090535	-0.085314
58.640	-0.079144	-0.083975	-0.086004	-0.085882	-0.091946	-0.087073
58.738	-0.082406	-0.086006	-0.087636	-0.087443	-0.092178	-0.088053
58.835	-0.08562	-0.087098	-0.088824	-0.087907	-0.091985	-0.087814
58.933	-0.084795	-0.085864	-0.090078	-0.086941	-0.091975	-0.087883
59.031	-0.085747	-0.086607	-0.089898	-0.086185	-0.091633	-0.087493
59.128	-0.084177	-0.085852	-0.089024	-0.085153	-0.090307	-0.086161
59.226	-0.08209	-0.084371	-0.08905	-0.08379	-0.08844	-0.084826
59.323	-0.080023	-0.082174	-0.089166	-0.082115	-0.086802	-0.084161
59.420	-0.080819	-0.081441	-0.089021	-0.080787	-0.085643	-0.08343
59.518	-0.079104	-0.080545	-0.08892	-0.079506	-0.084673	-0.082123
59.616	-0.078699	-0.079852	-0.089264	-0.078276	-0.08383	-0.081184
59.713	-0.075847	-0.078329	-0.089373	-0.076911	-0.084788	-0.082065
59.811	-0.079809	-0.08163	-0.089303	-0.077924	-0.085443	-0.082577
59.908	-0.080009	-0.082981	-0.089891	-0.079619	-0.085883	-0.08358
60.006	-0.080935	-0.083815	-0.090718	-0.081044	-0.086437	-0.084084
60.104	-0.082471	-0.084765	-0.092916	-0.082368	-0.086332	-0.084436
60.201	-0.084084	-0.084832	-0.093764	-0.083485	-0.086764	-0.085249
60.300	-0.084721	-0.085266	-0.093293	-0.084777	-0.087955	-0.086353
60.397	-0.086701	-0.087243	-0.092826	-0.086268	-0.088906	-0.087255
60.494	-0.090969	-0.088253	-0.092036	-0.090311	-0.089074	-0.087975
60.592	-0.098191	-0.089225	-0.091216	-0.095208	-0.089301	-0.088722
60.690	-0.10095	-0.090023	-0.090586	-0.096308	-0.089475	-0.089133
60.787	-0.10246	-0.090918	-0.09031	-0.097214	-0.088821	-0.090784
60.885	-0.10094	-0.089353	-0.090176	-0.098859	-0.088058	-0.090856
60.983	-0.099938	-0.088704	-0.090498	-0.097829	-0.087592	-0.091231



61.081	-0.10118	-0.089326	-0.089022	-0.098333	-0.087155	-0.09066
61.178	-0.10272	-0.088579	-0.088297	-0.097796	-0.086447	-0.089167
61.275	-0.1013	-0.08726	-0.088547	-0.096268	-0.085391	-0.087781
61.373	-0.10105	-0.087105	-0.088665	-0.094782	-0.083404	-0.086111
61.470	-0.099063	-0.084758	-0.088686	-0.093189	-0.082054	-0.084267
61.568	-0.092609	-0.082964	-0.088593	-0.089362	-0.080948	-0.082111
61.666	-0.083788	-0.080978	-0.087983	-0.084018	-0.079174	-0.080295
61.762	-0.079781	-0.080005	-0.086264	-0.082331	-0.077165	-0.077856
61.860	-0.076789	-0.077683	-0.084624	-0.080176	-0.075035	-0.073613
61.957	-0.071047	-0.072885	-0.082649	-0.075971	-0.073661	-0.072338
62.054	-0.07076	-0.070936	-0.079813	-0.074998	-0.071914	-0.070035
62.152	-0.067143	-0.068014	-0.07867	-0.072522	-0.070074	-0.068289
62.250	-0.060541	-0.066046	-0.076072	-0.070941	-0.069382	-0.06747
62.347	-0.059967	-0.06602	-0.073783	-0.070736	-0.067999	-0.066282
62.445	-0.057635	-0.064411	-0.071433	-0.069842	-0.066384	-0.064992
62.543	-0.055594	-0.062761	-0.069219	-0.068293	-0.064288	-0.063839
62.640	-0.054644	-0.060055	-0.067714	-0.066206	-0.063428	-0.063654
62.737	-0.055087	-0.058998	-0.066597	-0.065084	-0.063492	-0.063404
62.835	-0.056966	-0.058289	-0.065545	-0.064266	-0.063188	-0.062182
62.932	-0.057172	-0.058214	-0.064538	-0.063318	-0.062324	-0.060702
63.030	-0.054388	-0.05761	-0.063861	-0.061851	-0.061271	-0.058737
63.127	-0.053148	-0.057262	-0.062456	-0.060282	-0.060041	-0.056996
63.225	-0.053079	-0.056274	-0.059638	-0.058923	-0.058376	-0.055208
63.323	-0.051602	-0.054314	-0.057394	-0.057137	-0.056576	-0.052992
63.420	-0.046138	-0.051134	-0.055527	-0.05483	-0.056057	-0.051537
63.517	-0.04498	-0.050143	-0.05395	-0.053438	-0.055889	-0.04992
63.615	-0.045071	-0.049683	-0.052071	-0.052349	-0.054481	-0.047803
63.712	-0.041428	-0.048136	-0.050136	-0.050129	-0.051534	-0.045079
63.809	-0.033991	-0.044714	-0.048115	-0.046804	-0.048606	-0.042514
63.906	-0.028011	-0.040713	-0.045441	-0.043271	-0.046455	-0.041093
64.005	-0.026653	-0.03801	-0.042626	-0.040652	-0.043504	-0.038948
64.102	-0.026576	-0.035177	-0.038986	-0.038299	-0.040429	-0.036857
64.199	-0.023314	-0.031555	-0.036404	-0.035469	-0.038232	-0.035226
64.295	-0.020476	-0.028888	-0.034506	-0.033193	-0.036335	-0.033493
64.394	-0.019408	-0.026867	-0.031974	-0.03194	-0.034797	-0.032047
64.492	-0.02069	-0.026617	-0.028826	-0.031556	-0.03202	-0.029313
64.590	-0.017088	-0.023458	-0.026601	-0.029147	-0.029454	-0.026911
64.687	-0.014383	-0.02111	-0.024961	-0.026489	-0.028334	-0.025375
64.784	-0.014573	-0.020046	-0.023279	-0.025472	-0.02861	-0.02457
64.881	-0.020098	-0.02109	-0.020594	-0.025789	-0.028674	-0.023554
64.979	-0.020861	-0.022085	-0.018567	-0.026098	-0.028093	-0.02241
65.076	-0.020281	-0.021725	-0.016722	-0.026006	-0.027598	-0.020968
65.174	-0.0191	-0.021306	-0.015995	-0.025287	-0.027076	-0.019498
65.271	-0.01739	-0.020126	-0.015555	-0.024658	-0.026939	-0.01884
65.369	-0.017764	-0.020512	-0.014849	-0.024233	-0.027423	-0.019635
65.467	-0.018056	-0.021173	-0.015363	-0.023112	-0.027735	-0.020463
65.564	-0.017463	-0.021021	-0.016265	-0.021361	-0.027714	-0.021449
65.661	-0.017798	-0.022082	-0.016677	-0.02043	-0.027354	-0.022184
65.759	-0.017725	-0.021612	-0.016012	-0.020045	-0.027219	-0.022871
65.856	-0.02116	-0.022606	-0.014597	-0.020401	-0.026193	-0.022984
65.954	-0.02255	-0.021986	-0.014426	-0.020097	-0.024748	-0.022728
66.051	-0.019376	-0.019441	-0.015796	-0.019043	-0.023774	-0.02265
66.148	-0.016944	-0.017357	-0.017002	-0.018046	-0.0237	-0.02366
66.246	-0.013616	-0.015764	-0.017267	-0.017335	-0.02501	-0.025253
66.344	-0.014432	-0.016473	-0.017111	-0.017824	-0.024783	-0.025307
66.442	-0.01301	-0.015405	-0.01817	-0.017155	-0.024126	-0.02472
66.538	-0.012674	-0.015372	-0.018049	-0.01694	-0.023828	-0.025136
66.636	-0.014427	-0.015615	-0.017645	-0.018202	-0.024703	-0.025444
66.733	-0.017994	-0.016032	-0.017418	-0.019663	-0.026047	-0.024963

66.831	-0.01895	-0.017541	-0.017523	-0.021073	-0.026258	-0.024115
66.928	-0.017393	-0.017824	-0.01806	-0.021033	-0.026147	-0.0232
67.026	-0.015522	-0.017029	-0.018213	-0.020032	-0.026325	-0.023195
67.124	-0.017996	-0.01765	-0.017386	-0.019737	-0.027284	-0.023905
67.221	-0.020524	-0.019891	-0.018303	-0.02068	-0.027228	-0.023497
67.318	-0.025086	-0.020534	-0.019461	-0.020823	-0.026051	-0.02276
67.416	-0.023352	-0.02037	-0.020422	-0.020625	-0.025567	-0.022652
67.513	-0.02486	-0.020498	-0.020412	-0.021244	-0.024922	-0.022125
67.611	-0.026376	-0.018865	-0.019788	-0.020975	-0.023714	-0.020833
67.708	-0.022683	-0.016566	-0.019008	-0.019135	-0.0228	-0.020569
67.806	-0.019781	-0.014795	-0.018055	-0.018184	-0.02187	-0.020862
67.902	-0.018572	-0.013621	-0.017442	-0.017323	-0.02141	-0.020691
68000	-0.019155	-0.012634	-0.017116	-0.016882	-0.020786	-0.020552
68.098	-0.01683	-0.012188	-0.017092	-0.017272	-0.019721	-0.020013
68.194	-0.013913	-0.011736	-0.017107	-0.017312	-0.01785	-0.01873
68.292	-0.010961	-0.009322	-0.015923	-0.015694	-0.018016	-0.018827
68.390	-0.012511	-0.009556	-0.015263	-0.015964	-0.018784	-0.019306
68.488	-0.015356	-0.010361	-0.01443	-0.016186	-0.019071	-0.01936
68.584	-0.014693	-0.011049	-0.013797	-0.016125	-0.019503	-0.01942
68.682	-0.01447	-0.013217	-0.013713	-0.016755	-0.020208	-0.019875
68.779	-0.016868	-0.01534	-0.014478	-0.017558	-0.020573	-0.019973
68.878	-0.017246	-0.017467	-0.015535	-0.017754	-0.020429	-0.019894
68.975	-0.016389	-0.017691	-0.01661	-0.017604	-0.020209	-0.019887
69.072	-0.013488	-0.016968	-0.017132	-0.017312	-0.020322	-0.019703
69.169	-0.014289	-0.017453	-0.01735	-0.017464	-0.020586	-0.019228
69.267	-0.015276	-0.017491	-0.017623	-0.017871	-0.02129	-0.019237
69.364	-0.016218	-0.018739	-0.017676	-0.01921	-0.020816	-0.018885
69.461	-0.012979	-0.019227	-0.017323	-0.019211	-0.020176	-0.018828
69.558	-0.011639	-0.0187	-0.016942	-0.019081	-0.02056	-0.019221
69.656	-0.017567	-0.019408	-0.01579	-0.020038	-0.019994	-0.018465
69.753	-0.019047	-0.018756	-0.016327	-0.019776	-0.01862	-0.017119
69.851	-0.017583	-0.01731	-0.016699	-0.019228	-0.017581	-0.016429

Tabla 29 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 3 Máquina de Visión, US2010.

coord	MMC	coord	MMC
69586	-0.031	62086	-0.079
69073	-0.032	61604	-0.087
68586	-0.032	61025	-0.101
68058	-0.037	60583	-0.106
67571	-0.038	60103	-0.106
67709	-0.040	59608	-0.112
66596	-0.041	59098	-0.116
66096	-0.041	58558	-0.114
65582	-0.038	58058	-0.113
65075	-0.034	57611	-0.113
64539	-0.038	57067	-0.103
64109	-0.038	56591	-0.095
63612	-0.042	56082	-0.089
63091	-0.054	55578	-0.079
62610	-0.062	55077	-0.077

Tabla 30 Anexo VII. Datos del perfil de la zona 3 MMC, US2010.

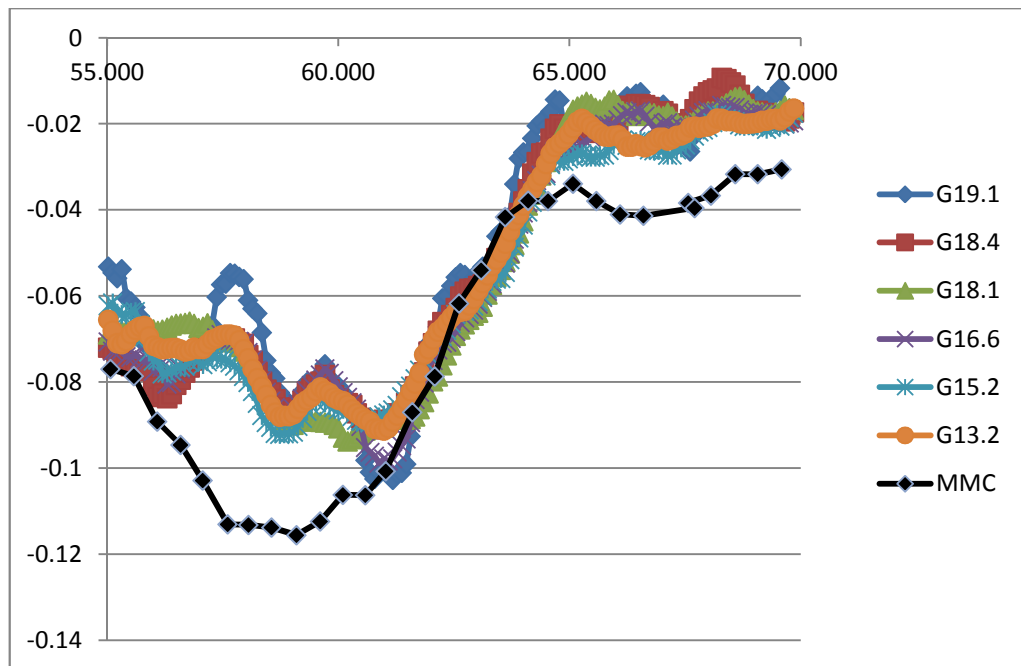


Figura 130 Anexo VII. Perfil de la zona 3 US2010.

En este caso se ha conseguido aislar perfectamente una línea y los resultados obtenidos se ven más claramente. De igual modo que antes agregamos líneas de tendencia para ver los resultados.

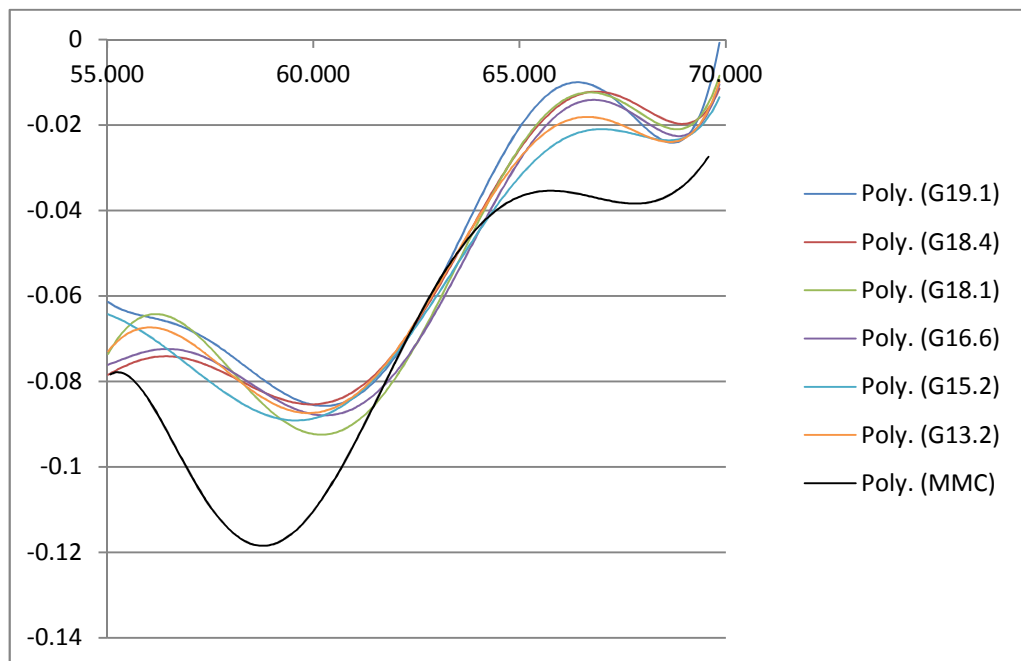


Figura 131 Anexo VII. Línea de tendencia de la zona 3, US2010.

Se sigue manteniendo la misma tendencia, pero en este caso no se aproxima a los valores obtenidos con la máquina de visión.

## Conclusiones

En primer lugar, en los mapeados obtenidos de las piezas se observa que los datos que se obtienen con Matlab coinciden perfectamente con los mapeados que nos genera el programa IRENE.

Comparando los mapeados de Matlab con los mapeados obtenidos con la MMC, siempre se observa que, para todas las ganancias, excepto la de 18'1, se obtiene unos cambios de color bruscos, como un efecto de olas. Esto no ocurre en la 18'1 del mismo modo que tampoco en la obtenida con la MMC, por lo que a primera vista podemos ver que la ganancia que más se aproximaría a la obtenida con la MMS sería 18'1.

Analizando las gráficas de cómo varía la media de la planitud en función de la ganancia siempre se repite el mismo patrón en el que la ganancia de 18'1 forma un pico aproximándose así la que más al valor obtenido con la MMC.

Viendo los perfiles de las piezas hemos podido comparar lo que se obtenía con la MMV y con la MMC. Siempre se ve que tienen la misma forma, aunque no siempre se encuentra a la misma altura. En estos casos no se puede decidir cuál es la ganancia que más se aproxima, aunque sí es verdad que, en algunos casos, se ve claramente que la que más se aproxima es la de 18,1.

Del mismo modo hemos estudiado la pérdida de líneas en la MMV en la cual se observa que conforme disminuye la ganancia se van perdiendo líneas de la piezas por la diferencias producidas en la escala de grises en la aparición de reflejos.

Comparando los resultados obtenidos del programa IRENE hemos podido ver cómo a ganancias bajas se produce una desalineación de los agujeros.

Por lo tanto, viendo que en un principio la ganancia 18,1 es la que más se aproxima a los valores de la MMC, tanto en Medias como en algunos de los perfiles, junto con que a ganancias bajas se pierden puntos y se produce un mal alineamiento, se elige como ganancia idónea la de 18,1.



