



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

MÁSTER UNIVERSITARIO EN DISEÑO Y FABRICACIÓN INTEGRADA ASISTIDOS POR COMPUTADOR

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**Diseño, cálculo y fabricación de un brazo robot para la asistencia
en discapacidades**

Autor: HARO GALARZA, CRISTÓBAL

Director: GUTIÉRREZ RUBERT, SANTIAGO CARLOS

SEPTIEMBRE 2016

A mi madre por el amor y el apoyo que han permitido que hoy pueda ser quien soy.

A mi padre por las lecciones que me ha podido aportar dentro y fuera de este proyecto.

A Violeta por el cariño, la ayuda prestada y la motivación recibida.

A mis amigos por estar ahí cuando los he necesitado y quererme tal y como soy.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi gratitud a todo aquel que se ha sentido identificado con el esfuerzo que ha representado la realización de este proyecto y ha colaborado en su desarrollo. Quiero destacar a Santiago Gutiérrez, mi director de proyecto, por la experiencia, la paciencia y la voluntariedad a la hora de aportar recursos en este trabajo, sin su ayuda esto no hubiera sido posible.

RESUMEN

El objetivo de este Trabajo Fin de Máster es diseñar y fabricar un brazo robot para la asistencia en discapacidades. El trabajo es sólo una parte de un proyecto completo elaborado por un equipo universitario que servirá como base para futuros desarrollos del mismo. El diseño parte de una serie de restricciones debido a que el proceso se plantea desde una visión de bajo coste, es decir, se pretenden utilizar los componentes ya suministrados y los retales de material que se necesiten para fabricar el brazo con el mínimo presupuesto posible. El diseño del brazo depende totalmente de los componentes, amoldándose a los elementos y a los procesos de fabricación, y no al revés como es habitual.

Este proyecto se divide en dos bloques principales: prototipo de prueba y prototipo final. En el primero se define el diseño de todos los componentes del brazo, se argumentan las alternativas mecánicas y se debaten las opciones. Además se realiza un análisis estructural mediante elementos finitos para detectar eventuales fallas en el funcionamiento. Finalmente, tras obtener el modelo justificado, se procede a la impresión 3D del mismo. Fabricado y verificado el modelo, se diseña la versión final del prototipo y solamente se plantea porque el coste no permite su fabricación de momento. Este segundo prototipo se proyecta fabricar mediante la técnica de infusión, definiendo el proceso, diseñando los moldes necesarios para su confección y realizando los programas de mecanizado de los mismos.

Palabras clave: *Robótica, Fabricación mediante Infusión, Impresión 3D, CAD-CAM-CAE.*

RESUM

L'objectiu d'este Treball Fi de Màster és dissenyar i fabricar un braç robòtic per a l'assistència en discapacitats. El treball és només una part d'un projecte complet elaborat per un equip universitari que servirà com a base per a futurs desenvolupaments del mateix. El disseny parteix d'una sèrie de restriccions a causa que el procés es planteja des d'una visió de baix cost , és a dir, es pretenen utilitzar els components ja subministrats i els retalls de material que es necessiten per fabricar el braç amb el mínim pressupost possible. El disseny del braç depèn totalment dels components, emmotllant-se als elements i als processos de fabricació, i no a l'inrevés com és habitual.

Aquest projecte es divideix en dos blocs principals: prototip de prova i prototip final. En el primer es defineix el disseny de tots els components del braç, s'argumenten les alternatives mecàniques i es debaten les opcions. A més es realitza una anàlisi estructural mitjançant elements finits per detectar eventuais fallades en el funcionament. Finalment, després d'obtenir el model justificat, es procedeix a la impressió 3D del mateix. Fabricat i verificat el model, es dissenya la versió final del prototip i solament es planteja perquè el cost no permet la seva fabricació de moment. Aquest segon prototip es projecta fabricar mitjançant la tècnica d'infusió, definint el procés, dissenyant els motlles necessaris per a la seva confecció i realitzant els programes de mecanitzat dels mateixos.

Paraules clau: *Robòtica, Fabricació mitjançant Infusió, Impressió 3D, CAD-CAM-CAE.*

ABSTRACT

The main objective of this end-of-Master's project is to design and manufacture a robot arm for the incapacities assistance. The labor is just a part of a complete project developed by a university team that will serve as a basis for future developments thereof. The design starts from several restrictions due to the process arises from a low cost vision, which is, it is supposed to use the already provided components and the scraps of materials needed to manufacture the arm with minimal budget. The arm design depends entirely on the components, conforming to the elements and manufacturing processes, and not vice versa, as usual.

This project is divided into two main blocks: testing prototype and final prototype. In the first one, it is defined the design of all the components of the arm, argued the mechanical alternatives and debated the options. In addition, it is done a structural analysis by finite elements in order to detect any failures on the process. Finally, after having got the model justified, it is proceeded to 3D printing. Once the model is manufactured and tested, the final version of the prototype is designed and it is only projected, due to the cost does not allow its manufacture for now. This second prototype is planned to be fabricate by infusion technique, defining the process, designing the necessary molds for their manufacture and performing the machining programs.

Keywords: *Robotics, Manufacturing by Infusion, 3D Print, CAD-CAM-CAE.*

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN.....	VII
RESUM.....	IX
ABSTRACT	XI
ÍNDICE GENERAL.....	XIII
NOMENCLATURA.....	XIX
ACRÓNIMOS.....	XXI
LISTA DE FIGURAS	XXIV
LISTA DE TABLAS	XXVII
DOCUMENTO I: MEMORIA	
1. INTRODUCCIÓN	3
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes.....	5
2.1.1. Robots de uso doméstico y cuidado	5
Limpieza doméstica	5
Asistente doméstico.....	6
Cuidado de ancianos y discapacitados	6
2.1.2. La robótica aplicada al ser humano: Biónica	7
2.2. Desarrollo y limitaciones.....	7
2.2.1. Grados de libertad	8
2.2.2. Alcance y peso que soporta	8
2.2.3. Materiales y peso final	8
3. DESARROLLO DEL PRIMER PROTOTIPO DE PRUEBA	9
	XIII

3.1. Diseño para impresión	10
3.1.1. Introducción a la fabricación aditiva.....	10
3.1.2. Técnicas de fabricación aditiva	10
Modelado por extrusión.....	11
Modelado mediante materiales granulados.....	11
Fotopolimerización.....	12
3.1.3. Técnica a utilizar	12
3.2. Alternativas mecánicas para el movimiento.....	13
3.2.1. Harmonic Drive (HD).....	13
3.2.2. Encoder incremental.....	14
3.2.3. Motor Brushless	15
3.2.4. Resumen de restricciones	15
3.3. Rediseños justificados	16
3.3.1. Primera versión.....	17
3.3.2. Segunda versión.....	18
3.3.3. Tercera versión	19
3.3.4. Cuarta versión.....	21
3.3.5. Quinta versión.....	26
3.3.6. Sexta versión	28
3.3.7. Séptima versión.....	30
3.3.8. Octava versión	32
3.4. Análisis estructural.....	35
3.4.1. Introducción	36
3.4.2. Método de elementos finitos aplicado a un análisis estructural	37
3.4.3. Cómo trabaja el FEM en la práctica	38
Pre-procesamiento.....	38
Procesamiento	39
Post-procesamiento.....	39
3.4.4. NX SIEMENS®.....	39
3.4.5. Proceso de análisis en SIEMENS NX®	40
Definición y simplificación de la geometría objeto de estudio	40

Asignación de las propiedades físicas de los materiales	41
Asignación de las condiciones de contorno.....	42
Aplicación de las cargas.....	43
Mallado de la geometría.....	43
Resolución del problema	44
Análisis de la solución.....	44
3.4.6. Resultados del análisis.....	44
3.4.7. Conclusiones del análisis FEM.....	47
3.5. Fabricación y montaje del prototipo.....	48
3.5.1. Resultado de la fabricación y el montaje del primer prototipo	53
3.6. Pruebas y resultados.....	53
4. DESARROLLO DEL PROTOTIPO FINAL	55
4.1. Introducción a los procesos de moldeo	55
4.1.1. Moldeado por contacto.....	56
4.1.2. Moldeado por compresión	56
4.1.3. Moldeado por vacío	57
4.1.4. Moldeado por transferencia de resina (RTM).....	57
4.2. Fabricación mediante infusión.....	57
4.2.1. Configuración y equipo.....	58
4.2.2. Pautas de fabricación	59
4.3. Diseño de moldes para fabricación.....	61
4.4. Mecanizado de los moldes	63
4.4.1. NX CAM Software.....	63
Fresado de 3 ejes en NX CAM.....	63
4.4.2. Material a utilizar en moldes (MDF)	64
4.4.3. Selección de herramientas y condiciones de corte.....	64
Operaciones de desbaste:	65
Operaciones de pre-acabado:.....	66
Operaciones de acabado:	67
Porta-herramientas:	68
Sistema de amarre:.....	68

4.4.4. Generación de trayectorias	69
4.4.5. Generación de hojas de ruta	74
5. CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS	77
DOCUMENTO II: PLIEGO DE CONDICIONES	
1. INTRODUCCIÓN	81
2. CONDICIONES GENERALES	83
2.1. Descripción General.....	83
2.2. Real Decreto 488/1977, de 14 de abril.....	84
2.2.1. Artículo 1. Objeto	84
2.2.2. Artículo 2. Definiciones	84
2.2.3. Artículo 3. Obligaciones del empresario.....	85
2.2.4. Artículo 4. Vigilancia de la salud.....	86
2.2.5. Artículo 5. Obligaciones en materia de información y formación	87
2.2.6. Artículo 6. Consulta y participación de los trabajadores	87
2.2.7. Anexo. Disposiciones mínimas	87
3. CONDICIONES DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	91
3.1. Hardware	91
3.2. Software	92
3.2.1. Conexión a internet.....	92
3.2.2. Conocimientos previos	92
3.2.3. Conocimientos informáticos	92
3.2.4. Material adicional.....	93
3.2.5. Supervisión	93
3.3. Condiciones de garantía y mantenimiento	93
3.4. Reclamaciones	93
3.5. Condiciones legales y contractuales.....	94
3.6. Revisión de los precios.....	94
3.7. Fianza	94
3.8. Aceptación.....	95

DOCUMENTO III: PRESUPUESTO

1. INTRODUCCIÓN	99
2. ESTADO DE MEDICIONES	101
3. DESGLOSE DE COSTES UNITARIOS	103
3.1. Coste material y software unitario	103
3.1.1. Equipo informático	103
3.1.2. Software	104
3.2. Coste de personal cualificado unitario	105
3.3. Coste de oficina unitario	106
3.3. Coste de taller	107
4. DESGLOSE DE COSTES TOTALES.....	109
4.1. Coste de material y software total	109
4.2. Coste de personal cualificado total	110
4.3. Coste de oficina total	110
4.3. Coste de taller total	111
5. RESUMEN DEL PRESUPUESTO TOTAL.....	113
BIBLIOGRAFÍA	115

ANEXO A: PLANOS

ANEXO B: HOJAS DE RUTA (HdR)

NOMENCLATURA

Esta sección incluye la notación utilizada en este documento. Está ordenada alfabéticamente con el fin de facilitar al lector su búsqueda.

Símbolo	Descripción
<i>amort</i>	<i>Amortización [€/año]</i>
<i>D</i>	<i>Diámetro de Herramienta (Hta.)</i>
<i>E</i>	<i>Módulo de Young</i>
<i>h</i>	<i>Hora</i>
<i>HR</i>	<i>Regla de Endurecimiento</i>
<i>I</i>	<i>Longitud de corte de Hta.</i>
<i>L</i>	<i>Longitud total de Hta.</i>
<i>n</i>	<i>Periodo de amortización [años]</i>
<i>NU</i>	<i>Coefficiente de Poisson</i>
<i>R</i>	<i>Radio de Hta.</i>
<i>S</i>	<i>Diámetro del mango de Hta.</i>
<i>t_h</i>	<i>Tasa horaria [€/hora]</i>
<i>VC</i>	<i>Valor de Compra [€]</i>
<i>VR</i>	<i>Valor Residual al cabo del periodo de amortización [€]</i>

ACRÓNIMOS

Esta sección incluye los acrónimos utilizados en este documento. Éstos no están ordenados según aparecen en los diferentes capítulos sino alfabéticamente con el fin de facilitar al lector su búsqueda.

Acrónimo	Descripción
<i>3D</i>	<i>3 Dimensiones</i>
<i>ABS</i>	<i>Acrilonitrilo Butadieno Estireno</i>
<i>BOE</i>	<i>Boletín Oficial del Estado</i>
<i>CAD</i>	<i>Diseño Asistido por Computador (Design Aided Computer)</i>
<i>CAE</i>	<i>Ingeniería Asistida por Computador (Engineering Aided Computer)</i>
<i>CAM</i>	<i>Fabricación Asistida por Computador (Manufacturing Aided Computer)</i>
<i>CS</i>	<i>Circular Spline (Harmonic Drive)</i>
<i>DLP</i>	<i>Procesamiento Digital de la Luz (Digital Light Processing)</i>
<i>EBM</i>	<i>Fusión por Haz de Electrones (Electron Beam Melting)</i>
<i>FDM</i>	<i>Modelado por Deposición por hilo Fundido (Fused Deposition Modeling)</i>
<i>FEM</i>	<i>Método de Elementos Finitos (Finite Elements Method)</i>
<i>FS</i>	<i>Flex Spline (Harmonic Drive)</i>
<i>GDDR</i>	<i>Graphics Double Data Rate</i>
<i>GPU</i>	<i>Graphics Processing Unit</i>
<i>HD</i>	<i>Harmonic Drive</i>
<i>HdR</i>	<i>Hoja de Ruta</i>

<i>HSM</i>	<i>Mecanizado de Alta Velocidad</i>
<i>IPW</i>	<i>In Process Workpiece</i>
<i>IVA</i>	<i>Impuesto sobre el Valor Añadido</i>
<i>LMD</i>	<i>Sinterización Láser Directa de Metal (Laser Metal Deposition)</i>
<i>MDF</i>	<i>Tablero de Fibra de Madera de Media Densidad</i>
<i>NX</i>	<i>Software Unigraphics NX</i>
<i>PA</i>	<i>Poliamida</i>
<i>PA-GF</i>	<i>Poliamida con refuerzo de Fibra de Vidrio</i>
<i>PC</i>	<i>Policarbonato</i>
<i>PEEK</i>	<i>Poliéter Éter Cetona</i>
<i>PLA</i>	<i>Ácido Poliláctico</i>
<i>PPSU</i>	<i>Polifenilsulfona</i>
<i>PS</i>	<i>Poliestireno</i>
<i>RHO</i>	<i>Densidad de la Masa</i>
<i>RTM</i>	<i>Moldeo por Transferencia de Resina (Resin Transfer Molding)</i>
<i>SLA</i>	<i>Estereolitografía</i>
<i>SLS</i>	<i>Sinterización selectiva por laser</i>
<i>VIP</i>	<i>Proceso de Fabricación por Infusión (Vacuum Infusion Process)</i>
<i>WG</i>	<i>Wage Generator (Harmonic Drive)</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Despiece del Harmonic Drive (HD). [5]</i>	13
<i>Figura 2: Mecanismo de operación de un Harmonic Drive. [5]</i>	14
<i>Figura 3: Encoder incremental modelo HEDS-9040/9140 utilizado para la elaboración del brazo. [8]</i>	15
<i>Figura 4: Boceto de la primera versión. Parte de unión codo-hombro en la parte izq. Parte codo-antebrazo parte dcha.</i>	17
<i>Figura 5: CAD de la primera versión. Conjunto completo.</i>	18
<i>Figura 6: CAD de la segunda versión. Parte del codo.</i>	19
<i>Figura 7: CAD de la tercera versión. Parte del codo.</i>	20
<i>Figura 8: Proceso de impresión 3D y modelo final impreso de la pieza codo.</i>	20
<i>Figura 9: Modelo final impreso de la pieza antebrazo y conjunto codo-antebrazo.....</i>	21
<i>Figura 10: Engranajes (piñón y corona) a 45º en la parte izq. [10] CAD del engranaje, de forma simplificada, en la parte dcha.....</i>	21
<i>Figura 11: Harmonic Drive. Vista superior en la parte izq. Vista inferior en la parte dcha..</i>	22
<i>Figura 12: CAD del Harmonic Drive.</i>	22
<i>Figura 13: Codewheels en la parte izq. [11] CAD del Codewheel modelo HEDS-5140 simplificado en la parte dcha.....</i>	22
<i>Figura 14: Motor MAXON modelo EC 90 flat brushless en la parte izq. [12] CAD del motor MAXON simplificado en la parte dcha.....</i>	23
<i>Figura 15: Ensamblaje de la carcasa diseñada por la empresa Franke. [13]</i>	23
<i>Figura 16: Vista seccional del diseño de la carcasa para el rodamiento Franke.....</i>	24
<i>Figura 17: Posición y medidas de trabajo de un conjunto de engranajes cónicos en la izq. [10]Desvío de la pieza codo respecto al eje del motor a la dcha.</i>	25
<i>Figura 18: CAD del conjunto de la cuarta versión.</i>	25
<i>Figura 19: Vista de la deformación progresiva de la carcasa del brazo.....</i>	26
<i>Figura 20: Rodamiento de rodillos de la casa RS. [14]</i>	27

<i>Figura 21: Orificio para facilitar el trabajo con el motor en el brazo en la parte izq. CAD de la quinta versión en la parte dcha.</i>	<i>27</i>
<i>Figura 22: Boceto inicial de las diferentes piezas que forman el eje.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 23: CAD conjunto de dos piezas que forman la carcasa del brazo.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 24: CAD de la unión entre las carcasas del brazo superior e intermedia.</i>	<i>30</i>
<i>Figura 25: CAD conjunto completo del brazo.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 26: CAD de la modificación en la Octava versión.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 27: Detalle del eje de unión entre brazo-chaleco.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 28: Conjunto CAD brazo-humano.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 29: Render 1 del primer prototipo.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 30: Render 2 del primer prototipo.</i>	<i>35</i>
<i>Figura 31: Tareas necesarias para llevar a cabo un cálculo mediante un programa FEM. .</i>	<i>38</i>
<i>Figura 32: Forma simplificada del modelo para el análisis.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 33: Proceso de obtención de la solución mediante el análisis de elementos finitos.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 34: Representación de las condiciones de contorno y las cargas planteadas en el modelo.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 35: Resultados de los esfuerzos elementales en el codo.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 36: Resultados de los esfuerzos elementales-nodales en el codo.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 37: Resultados de la fuerza de reacción nodal en el codo.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 38: Piezas impresas del brazo.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 39: Aplicación de acetona en las piezas impresas.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 40: (Izq.) Pieza Brazo Parte 2 impresa. (Dcha.) Pieza Brazo Parte 1 impresa.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 41: Perforaciones para las uniones en las piezas antebrazo y codo.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 42: Orificios de unión en la pieza hombro.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 43: Conjunto de piezas mecanizadas.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 44: Proceso de ensamble del conjunto general.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 45: Ensamble e instalación del cableado.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 46: Ensamble de los componentes interiores del brazo junto al cableado del mismo.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 47: Aspecto final del primer prototipo ensamblado.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 48: Proceso de moldeo por contacto. [16]</i>	<i>56</i>
<i>Figura 49: Proceso de moldeo por compresión. [16]</i>	<i>56</i>
<i>Figura 50: Moldeado por vacío. [16]</i>	<i>57</i>
<i>Figura 51: Proceso de fabricación mediante la técnica de infusión. [21]</i>	<i>58</i>
<i>Figura 52: Configuración de trabajo del proceso de fabricación por infusión. [21]</i>	<i>59</i>
<i>Figura 53: Proceso de laminado por infusión de la empresa Ashland. [19]</i>	<i>60</i>
<i>Figura 54: CAD del molde del Brazo Parte 1.</i>	<i>61</i>
<i>Figura 55: Conjunto de molde y lámina de generación de pestaña.</i>	<i>61</i>

<i>Figura 56: Sección del CAD del conjunto Molde-Lámina.</i>	62
<i>Figura 57: Vista detalle de la sección del conjunto Molde-Lámina.</i>	62
<i>Figura 58: Fresa tórica de la empresa CMT en parte izq. [24]Configuración en NX en parte dcha.</i>	65
<i>Figura 59: Fresa redonda de la empresa CMT. [24]</i>	66
<i>Figura 60: Cuadro de velocidades de corte de la casa CMT Orange Tools. [24]</i>	67
<i>Figura 61: Configuración automática de avances y velocidades en la interface de NX.</i>	67
<i>Figura 62: Mordaza mecánica rápida de Autoblok [26]</i>	68
<i>Figura 63: Interface de configuración de pieza de trabajo en NX.</i>	69
<i>Figura 64: Configuración del modelo previo al CAM en el software NX.</i>	70
<i>Figura 65: Ejemplo de organización de operaciones de mecanizado.</i>	70
<i>Figura 66: Generación de trayectorias del desbaste.</i>	71
<i>Figura 67: Resultado del desbaste en el molde 1 de la pieza brazo.</i>	72
<i>Figura 68: Resultado del pre-acabado en el molde 1 de la pieza brazo.</i>	72
<i>Figura 69: Resultado del acabado en el molde 1 de la pieza brazo.</i>	73
<i>Figura 70: Resultado del contorneado interior en el separador de la pieza tapa hombro.</i>	74
<i>Figura 71: Ejemplo de Hoja de Ruta aplicada.</i>	75

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1: Equipos informáticos y software utilizado en el trabajo.</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 2: Montaje e instalación del equipo.</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 3: Instalación del software.</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 4: Personal específico.</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 5: Alquiler de la oficina.</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 6: Maquinaria para la fabricación.</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 7: Coste total de material y del software de trabajo.</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 8: Coste total del personal cualificado.</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 9: Coste total de uso de oficina.</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 10: Coste total de taller.</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 11: Coste total del trabajo.</i>	<i>113</i>

Documento I

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

La situación actual de la robótica responde a una demanda por parte de la industria de una tecnología capaz de resolver las necesidades de una producción homogénea, automática y de gran flexibilidad. El sector industrial no es el que contribuye de manera más significativa y dinámica a la economía pues es el sector servicios, con diferencia, el principal generador de demanda. Es por ello necesario examinar las posibilidades de la robótica en este tipo de actividades, de manera especial en lo referente a los robots para los servicios a las personas.

El objetivo de este trabajo es diseñar y fabricar un brazo robot para personas sin movilidad en los brazos, es decir, pacientes que poseen extremidades pero no capacidad para moverlas o fuerza insuficiente para realizar tareas habituales. Se pretende asociar los conceptos adquiridos del Máster en Diseño y Fabricación al desarrollo de este proyecto.

El diseño del brazo se tiene que acoplar mediante algún tipo de sujeción al torso de la persona y se deben considerar todos los aspectos adicionales, tales como el peso, el suministro de energía y la apariencia. Con el fin de adquirir conocimientos generales sobre los distintos ámbitos del trabajo encontrados en la industria, se analiza, en la Sección 2, toda una serie de campos específicos desde los cuales se puede profundizar y/o adquirir conocimientos referentes a los robots de asistencia humana.

El proyecto se divide en dos bloques principales: prototipo de prueba, Sección 3, y prototipo final, Sección 4.

Para el primer prototipo se define el diseño de todos los componentes del brazo y se argumentan las alternativas, Sección 3.1. Se parte de una serie de restricciones, Sección 3.2, debido a que el proyecto se plantea desde una visión de

bajo coste, utilizando los componentes ya suministrados. Las diferentes versiones del prototipo se muestran en la Sección 3.3.

Se considera necesario realizar un análisis CAE mediante elementos finitos, Sección 3.4, para poder detectar eventuales fallas en el funcionamiento y comenzar con la elaboración del prototipo final.

Diseñadas y fabricadas las piezas, se procede al montaje del primer prototipo mostrado en la Sección 3.5. Llegado a este punto se observan los diferentes fallos generados durante la etapa de diseño y se aportan las soluciones para realizar el ensamble completo del prototipo, Sección 3.6.

Fabricado y verificado el modelo, se diseña la versión final del prototipo. Solamente se plantea porque el bajo presupuesto actual no permite su fabricación. Con el diseño nuevo, y corregidos los errores del primero, se realizan los moldes para la fabricación de las distintas piezas del brazo mediante la técnica de infusión, Secciones 4.1 y 4.2. Tras plantear la técnica se realiza el diseño, Sección 4.3, y mecanizado de los moldes, Sección 4.4, se define el material de los distintos moldes, se realiza una selección de herramientas y condiciones de corte y se generan los programas de mecanizado de las distintas piezas.

Por último, con el fin de poder recoger toda la información que no se detalla en la memoria y, además, poder aportar al operario la información precisa para realizar los mecanizados de los moldes se generan una serie de pautas de fabricación.

2. MARCO TEÓRICO

Con el fin de adquirir conocimientos generales sobre los distintos ámbitos del trabajo encontrados en la industria, se analiza toda una serie de campos específicos desde los cuales se puede profundizar y/o adquirir conocimientos referentes a los robots de asistencia humana.

2.1. Antecedentes

El sector servicios se caracteriza con frecuencia por un elevado coste de la mano de obra y ofrece amplias posibilidades de robotización. Es por ello necesario examinar las posibilidades de la robótica en este tipo de actividades, de manera especial en lo referente a los robots para los servicios a las personas. Se revisan a continuación las áreas más destacadas de actividad de la robótica de servicio.

2.1.1. Robots de uso doméstico y cuidado

Por el volumen de usuarios implicados en este tipo de aplicaciones, los robots domésticos son, sin duda, el principal exponente de las posibilidades de crecimiento de la robótica. Dentro de éste campo se encuentran:

Limpieza doméstica

El éxito comercial de robots aspiradoras ha superado cualquier previsión. Estos robots están programados para eliminar la suciedad, con desplazamientos en espiral, utilizando la tecnología de navegación inteligente. Toda la basura y el polvo se

almacenan en un depósito sin bolsa, muy fácil de retirar, vaciar y volver a colocar. Utilizan algoritmos de planificación de movimientos para abarcar todo el suelo durante el proceso de limpieza automática. Además, gracias a su sensor de seguimiento de paredes, se desplazan a lo largo de las paredes y alrededor de los muebles para limpiar toda la superficie del suelo. Los costos de fabricación de este tipo de robots son bajos, permitiendo así precios accesibles al gran público, lo que aumenta el número de ventas y permite la fabricación de series grandes. Es de prever, por lo tanto, un rápido crecimiento de este mercado con nuevas y mejoradas prestaciones. En general, este tipo de electrodoméstico está empezando a imponerse, siendo razonable pensar que en los próximos años sea una realidad presente en todos los hogares.

Asistente doméstico

Otra de las aplicaciones robóticas con futuro es el asistente doméstico que permita la navegación inteligente y la manipulación de objetos: colocación de vajilla y utensilios, ordenación de armarios, estanterías y vitrinas, vaciado de papeleras, riego de plantas, etc. Con apariencia de humanoide pero con locomoción a base de ruedas, el robot cuenta con dos brazos y sus correspondientes manos, una cabeza sensorizada que permite reconocer el entorno y un amigable sistema de interacción humano-robot. Los esfuerzos de los investigadores se centran actualmente en el desarrollo de avanzados sistemas de aprendizaje de imitación que permitan una fácil programación del robot inclusive para usuarios domésticos no expertos. Estos robots todavía se encuentran en fase de desarrollo en laboratorio pero ya existen varios modelos avanzados.

Cuidado de ancianos y discapacitados

Una especial atención requiere el cuidado de ancianos y discapacitados en entornos domésticos. Por ello la introducción de robots para este tipo de aplicaciones tiene una gran responsabilidad social. Existen algunos prototipos muy avanzados que permiten resolver tareas diarias tales como comer, beber, aseo personal (lavarse los dientes, maquillarse, afeitarse), etc. Estos robots son normalmente portátiles y están equipados con sistemas de movimiento entre las habitaciones a base de ruedas o conectores en las paredes. Su interacción con las personas está en función de su nivel cognitivo y físico: por voz, gestual, mediante menús en la pantalla o joystick, todo ello de forma inalámbrica. Una de las tareas importantes a resolver es el traslado de discapacitados sin necesidad de utilizar sillas de ruedas, que cuenta con el inconveniente de la complejidad del paso del paciente de la cama a la silla, y viceversa.

2.1.2. La robótica aplicada al ser humano: Biónica

La biónica es, según una definición dada en 1960 por Jack Steele, de la U.S. Air Force, el análisis del funcionamiento real de los sistemas vivos y, una vez descubiertos sus secretos, materializarlos en los aparatos. Esta definición nos podría indicar que el primer ingeniero biónico fue Leonardo Da Vinci, quien estudió los principios de funcionamiento de los seres vivos para aplicarlos en el diseño de máquinas. Dado que las prótesis se utilizan para sustituir extremidades de una persona, los principios de funcionamiento a estudiar para reproducirlos son los que tiene dicha extremidad, por lo que el diseño de prótesis es una actividad de la ingeniería biónica. Existen varias configuraciones de robots de acuerdo al tipo de movimientos que pueden realizar. Éstos pueden ser “cartesianos”, es decir que se mueven en línea recta y su volumen de trabajo es un prisma rectangular, los robots “cilíndricos” que se utilizan principalmente para ensamble y su volumen de trabajo es un cilindro. Los robots “esféricos” tienen un volumen de trabajo en forma de sección de una esfera. Los robots industriales más atractivos y que más conocidos son los que simulan los movimientos de un brazo humano, por lo que se les conoce como “brazos articulados”, y sus aplicaciones son muy amplias debido a la facilidad que tienen para realizar movimientos complicados. [1]

El brazo mecánico constituye la parte física que vemos del robot, es decir, el conjunto de mecanismos y motores que lo forman. Está controlado por medio de una computadora que mueve cada una de las articulaciones para llevar la mano del robot a los lugares deseados. El robot cuenta con sensores que informan a la computadora de la posición de las articulaciones. La unidad de potencia externa suministra la energía a los actuadores del robot. El órgano terminal es la herramienta que se fija al brazo para desarrollar una tarea específica. El trasladar un manipulador industrial al uso directo por una persona para sustituir un miembro que le ha sido amputado no es sencillo. Aunque los principios de funcionamiento sean muy parecidos, hay que considerar aspectos adicionales, tales como el peso, el suministro de energía y la apariencia. [1]

2.2. Desarrollo y limitaciones

El diseño del brazo robot nace como un proyecto para la asistencia de personas sin movilidad en los brazos, es decir, estos pacientes poseen sus extremidades pero no tienen la capacidad de moverlas. De esta forma el diseño del brazo se tiene que acoplar mediante algún tipo de sujeción al torso de la persona. Hay que considerar aspectos adicionales, tales como el peso, el suministro de energía y la apariencia.

2.2.1. Grados de libertad

El prototipo que se pretende desarrollar en este trabajo define el diseño del brazo robot desde la muñeca hasta el hombro. Los extremos del mismo tienen que ser modulares, es decir, fáciles de ensamblar con el resto de componentes que se incorporarán posteriormente. En uno de los extremos se aplicará, en un futuro, la sujeción del brazo robot al arnés fijado al cuerpo del paciente y en el otro, al final del antebrazo, la pinza que realizará las funciones de la mano.

De esta forma los grados de libertad disponibles dentro del brazo robot, conjunto antebrazo-hombro son dos: articulación del codo (unión entre el antebrazo y el brazo) y articulación del brazo (unión entre el hombro y el chaleco sujeto al paciente).

2.2.2. Alcance y peso que soporta

El brazo que se proyecta fabricar debe ser capaz de coger un objeto a una distancia de entre 40 y 50cm del paciente. De esta forma el paciente puede manipular el objeto permitiéndole realizar algunas de las funciones básicas como pueden ser el hecho de mover objetos, comer o beber.

El peso máximo que levantará con el diseño del prototipo del brazo ronda entre 1 y 2 kg. Esto se debe a que el bajo presupuesto no permite realizar una estructura más resistente, además incluye componentes mecánicos y eléctricos que no permiten obtener más par, cosa necesaria para levantar objetos más pesados.

2.2.3. Materiales y peso final

El peso final del brazo debe de ser el mínimo posible. Se parte de que el brazo va a estar siempre apoyado sobre el paciente por lo que, por bajo que sea el peso del mismo, éste siempre va a terminar siendo molesto para la persona que lo transporta. Por ello se decide fabricar ambos brazos (prototipo y final) mediante dos materiales de bajo peso: ABS y plástico reforzado con fibra de carbono.

En cuanto a materiales se refiere se cuenta con una serie de componentes ya asignados entre los que se encuentran: el material de aporte para la impresión 3D (ABS), el motor y los distintos sistemas mecánicos y electrónicos que permiten tanto alcanzar un mayor par durante el funcionamiento como permitir un mayor control del brazo. Éstos se definen y se defienden en el apartado 3.2 de este trabajo.

3. DESARROLLO DEL PRIMER PROTOTIPO DE PRUEBA

Se desarrolla un primer prototipo de prueba que servirá de referencia para proceder a la elaboración del prototipo final. El desarrollo de prototipos es una etapa en el proceso de creación de un producto que nace como una idea. La idea se refina en un concepto y éste último se desarrolla en un prototipo, es decir, la versión preliminar del producto final.

El desarrollo de prototipos es el proceso de preparación de un dispositivo, técnica o sistema que demuestra la viabilidad de una solución a un problema. Este prototipo servirá para una serie de objetivos mencionados a continuación:

1. Experimentación y aprendizaje en el proceso de desarrollo.
2. Corrección del producto.
3. Síntesis e integración de todos los componentes.
4. Programación del proceso de desarrollo.

En el desarrollo de este prototipo se encuentra, en primer lugar, el diseño asistido por computadora de todos los componentes del brazo. Seguidamente se muestran las alternativas mecánicas del mismo, se debaten las opciones y se argumenta la elección del sistema de movimiento elegido. Este método obligará a plantear rediseños en el brazo con el fin de obtener un producto final óptimo. Tras obtener el modelo justificado se procederá a la impresión 3D del mismo, se explicará la técnica utilizada y se realizará un seguimiento del proceso de fabricación y ensamble de todos los componentes del brazo robot.

3.1. Diseño para impresión

La tecnología de la impresión 3D tiene pocos años de vida y surgió a partir de diversas patentes de los años 80 y siguientes, hasta su consecución como tendencia tecnológica en la actualidad. En contraposición a la fabricación tradicional que funciona de forma subtractiva eliminando material para quedarse con la forma requerida, la impresión 3D trabaja de forma aditiva, añadiendo material desde cero y formando la pieza sin perder material en el proceso. Esta será la técnica a estudiar y la utilizada en la fabricación del primer prototipo de prueba. Esta sección hace una breve introducción a este tipo de tecnología, se presentan distintos métodos de fabricación aditiva y se define cuál de todas las técnicas se va a aplicar en este proyecto.

3.1.1. Introducción a la fabricación aditiva

La impresión 3D es un proceso que permite hacer objetos tridimensionales sólidos a partir de un modelo digital. Las impresoras 3D forman parte de lo que se conocen como procesos de fabricación aditiva. Estos procesos son aquellos que permiten fabricar un objeto desde cero donde las máquinas van añadiendo material hasta conformar la pieza final. [2] Todos los procesos de fabricación aditiva tienen en común el hecho de que pueden generar geometrías muy complejas de una forma muy rápida. En todos los casos, los objetos presentan una textura material de capas muy finas, casi imperceptibles. La tecnología se utiliza en joyería, calzado, diseño industrial, arquitectura, construcción, industria automotriz, ingeniería aeroespacial, industrias médicas y dentales, educación, sistemas de información geográfica, ingeniería civil, y muchos otros campos. [3]

3.1.2. Técnicas de fabricación aditiva

Actualmente varias tecnologías de fabricación aditiva están disponibles. Se diferencian en la forma en la que se depositan las capas para crear las piezas y en los materiales que se pueden utilizar. Algunos métodos funden o ablandan el material para producir las capas, como por ejemplo, la sinterización selectiva por láser (Selective laser sintering: SLS) y el modelado por deposición fundida (Fused deposition modeling: FDM), mientras que otros curan materiales líquidos utilizando diferentes tecnologías sofisticadas, como por ejemplo, la estereolitografía (Stereolithography apparatus: SLA). Cada método tiene sus propias ventajas y desventajas donde las principales consideraciones en la elección de una máquina son

generalmente velocidad, coste de la impresora 3D, coste del prototipo impreso, el coste y la elección de materiales. [3]

Modelado por extrusión

El modelado por deposición fundida (Fused deposition modeling: FDM) es una tecnología que fue desarrollada por Stratasys a finales de 1980, que se utiliza en la creación rápida de prototipos tradicionales. El FDM utiliza un filamento de plástico o alambre de metal que se enrolla en una bobina y se va desenrollado para suministrar material a una boquilla de extrusión que puede iniciar o detener el flujo de fundido. La boquilla se calienta para fundir el material y se puede mover en ambas direcciones, horizontal y vertical, mediante un mecanismo de control numérico que es controlado directamente mediante un software de fabricación (CAM). El modelo o pieza se produce por extrusión de pequeños aportes de material termoplástico para formar capas porque el material se endurece inmediatamente después de la extrusión desde la boquilla. Típicamente se utilizan motores paso a paso o servo motores para mover el cabezal de extrusión. Se pueden utilizar varios polímeros entre los que se incluyen el terpolímero acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), policarbonato (PC), ácido poliláctico (PLA) y polifenilsulfona (PPSU). [4]

Modelado mediante materiales granulados

Otro enfoque de la impresión 3D es la fusión selectiva de los materiales en un lecho granular. Esta versión utiliza el medio no fusionado como apoyo de voladizos y paredes finas en la pieza que está siendo producida, lo que reduce la necesidad de soportes auxiliares temporales para la pieza. Un láser se utiliza típicamente para sinterizar los medios en un sólido. Los ejemplos incluyen la sinterización selectiva por láser (SLS), utilizado con polímeros, como por ejemplo: poliamida (PA), poliamida con refuerzo de fibra de vidrio (PA-GF), polietereter cetona (PEEK), poliestireno (PS) y Alumide (PA cargado con polvo de aluminio) entre otros. También es utilizada con metales (sinterización láser directa de metal o LMD), cerámica y vidrio.

La fusión por haz de electrones (Electron Beam Melting: EBM) es un tipo similar de tecnología de fabricación aditiva de piezas de metal. Esta tecnología fabrica piezas por fusión de polvo metálico capa por capa con un haz de electrones en un alto vacío. A diferencia de las técnicas de sinterización de metal que funcionan por debajo del punto de fusión, las piezas obtenidas mediante EBM son completamente densas y sin vacíos.

Otro método consiste en un sistema de impresión 3D por inyección de tinta. La impresora crea el modelo de una capa a la vez mediante la difusión de una capa de polvo (yeso o resinas) y la impresión de un aglutinante en la sección transversal de la pieza, utilizando un proceso de inyección de tipo tinta. Esto se repite hasta que cada capa ha sido impresa. Esta tecnología permite la impresión de prototipos de varios colores, con salientes o voladizos. La fuerza de adhesión del polvo impreso se puede mejorar con impregnación de ceras o polímeros termoestables. [3]

Fotopolimerización

La fotopolimerización se utiliza principalmente en la estereolitografía (SLA) para producir una pieza sólida a partir de un líquido. En el procesamiento digital de luz (DLP), una cuba de polímero líquido es expuesto a la luz de un proyector DLP. El polímero líquido expuesto endurece. La base de construcción se mueve hacia abajo en pequeños incrementos y el polímero líquido se expone de nuevo a la luz. El proceso se repite hasta que el modelo se ha construido. El polímero líquido se drena desde la cuba dejando el modelo sólido.

3.1.3. Técnica a utilizar

En el presente proyecto se utiliza la tecnología de modelado por deposición de hilo fundido (FDM). Esta es la tecnología de prototipado rápido más usada después de la estereolitografía y a la que recurren los centros de diseño de las principales marcas mundiales de sectores como automoción, aeronáutica, informática, package, etc.

Se elige esta técnica porque es capaz de trabajar con materiales como el ABS que permite que los prototipos creados no se deformen, sean estables dimensionalmente y con muy buenas características mecánicas para realizar ensayos funcionales, montajes, etc. Las piezas creadas con ABS pueden llegar a presentar un 85% de la resistencia real del material. Esta tecnología realiza piezas que tienen una alta precisión, reflejando fielmente el diseño, tanto en tolerancias de forma como dimensionales obteniendo campos de tolerancia máxima de 0,1 mm en 400mm de longitud. Además los prototipos creados con esta tecnología permiten una buena conceptualización y presentación debido a que se pueden pintar, lijar o perforar hasta terminar casi como el producto real. [4]

3.2. Alternativas mecánicas para el movimiento

Las restricciones y los materiales suministrados para la elaboración del proyecto se listan a continuación.

3.2.1. Harmonic Drive (HD)

Las transmisiones de tipo Harmonic Drive son ampliamente usadas en aplicaciones industriales tales como robótica, industria aeroespacial, equipos médicos o grandes imprentas, debido a la precisión en su posicionamiento, capacidad de transmisión de par, poco peso y volumen, holguras despreciables, versatilidad y alta eficiencia. Sin embargo, estos sistemas presentan un tipo de error característico denominado error cinemático, parámetro poco estudiado, que genera resonancias en el sistema y depende básicamente de la fricción, la flexibilidad y los desajustes de montaje de los distintos elementos que configuran el sistema mecánico. [5]

El Harmonic Drive está compuesto por 3 elementos distintos y con funciones bien definidas, como lo son el Wave Generator (WG), el FlexSpline (FS) y el Circular Spline (CS), elementos presentados en la *Figura 1*.

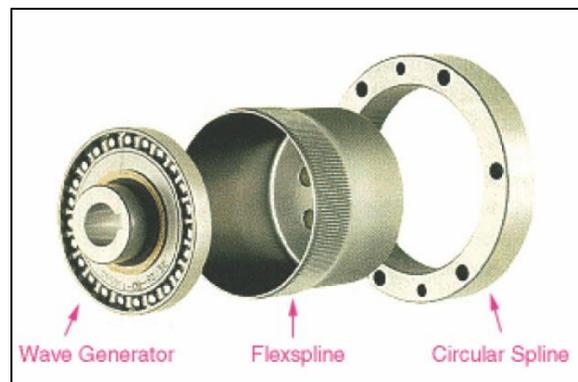


Figura 1: Despiece del Harmonic Drive (HD). [5]

Cuando se insertan el FlexSpline y el Wave Generator en el Circular Spline, los dientes externos del FlexSpline engranan con los dientes internos del Circular Spline a lo largo del eje mayor de la elipse del Wave Generator. Los tres componentes de la transmisión pueden rotar a velocidades diferentes, aun estando en el mismo eje de rotación. El mecanismo de rotación del Harmonic Drive comienza su recorrido en el momento que el Wave Generator tiene la zona de engrane en su eje mayor y, cuando esta zona se desplaza 180° alrededor de la circunferencia del Circular Spline, entonces el FlexSpline, que posee dos dientes menos que el Circular Spline, tendrá un retraso de

un diente relativo al Circular Spline. Por este engrane gradual y continuo de los dientes del engranaje, cada rotación del Wave Generator mueve al FlexSpline dos dientes hacia atrás sobre el Circular Spline. Las relaciones de transmisión típicas del Harmonic Drive están en el rango de 50:1 a 200:1, aunque pueden obtenerse relaciones de transmisión de hasta 320:1 en una transmisión simple. [6] En la *Figura 2* se muestran las diferentes posiciones del Circular Spline respecto al FlexSpline (0° , 90° y 360° respectivamente). Se puede apreciar el retraso relativo de los dientes del FlexSpline respecto al Circular Spline.



Figura 2: Mecanismo de operación de un Harmonic Drive. [5]

3.2.2. Encoder incremental

Para integrar con precisión un Harmonic Drive en un sistema robótico es necesario conocer la variación del error cinemático durante la rotación, por ello es necesario incorporar un encoder. Los encoders son sensores que generan señales digitales en respuesta al movimiento. Cuando éstos se aplican en conjunto con dispositivos mecánicos pueden ser utilizados para medir movimientos lineales, velocidad y posición. Existen dos tipos de encoder: el absoluto y el incremental. Para este proyecto se ha escogido el tipo de encoder incremental debido a que es más económico y sencillo de instalar. Este tipo de encoder se caracteriza por determinar su posición contando el número de impulsos que se generan cuando un rayo de luz es atravesado por los orificios que posee el disco que está unido al eje a analizar. De esta manera, a medida que el eje comience a girar se irán produciendo pulsos eléctricos en el receptor cada vez que la luz atraviese una marca de los discos. Si llevamos la cuenta de estos pulsos a través de la adquisición de la señal en el fotorreceptor podremos conseguir una medida real de la posición del eje.

Sin embargo existe el problema de determinar el sentido de giro del eje, por lo tanto no estaríamos contando adecuadamente. La solución correcta a este problema consiste en disponer de otra franja de marcas desplazadas respecto a la anterior de manera que cuando se produzcan los pulsos tengamos un desfase de 90° respecto al

anterior. Con esta disposición y con la herramienta matemática que nos proporciona el producto vectorial, podemos construir un circuito sencillo que obtenga el sentido de giro del eje y así se puede bien incrementar o no la medida. [7]



Figura 3: Encoder incremental modelo HEDS-9040/9140 utilizado para la elaboración del brazo. [8]

3.2.3. Motor Brushless

Como tercera restricción se presenta elección de los motores que permiten el movimiento entre las distintas partes del brazo. El motor del que partimos es el modelo Brushless de la empresa Maxon. Se trata de un motor plano sin escobillas que se utiliza en espacios reducidos donde destaca por su potencia y precio. La elección se justifica por las prestaciones que ofrecen este tipo de motores [9]:

- La alta densidad de potencia viene inducida gracias a que los motores tienen una relación tamaño potencia muy buena, es decir son motores muy pequeños para la potencia desarrollada.
- También es interesante y adecuada la relación par/inercia que proporcionan, muy elevada en comparación con otros motores de mayor tamaño.
- Todo esto gracias al diseño del motor, cuidado en todos los detalles necesarios para obtener una alta eficiencia en un motor tan pequeño.
- Alta fiabilidad y facilidad para su control.

3.2.4. Resumen de restricciones

Tras exponer el funcionamiento y definir cada uno de los componentes de los que se parte se obtienen las siguientes conclusiones, previas al comienzo del diseño del brazo.

El motor necesita incorporar un reductor, esto implica que se elimina la opción de incorporar el sistema directo al eje del motor. De esta forma es necesario escoger un método mecánico que reduzca al máximo el volumen del sistema como pueden ser: tornillo sin fin, engranajes a 45º, ruedas dentadas, por correa dentada, etc...

Por otro lado los componentes mencionados en los puntos anteriores tienen unas dimensiones a las que el diseño del brazo debe acoplarse. El principal problema es que en cada uno de los dos grados de libertad del brazo tienen que estar presentes estos componentes y el diseño debe contar con el volumen interior necesario para incorporarlos.

Además los componentes se enlazan mediante un eje, hecho a medida y cumpliendo los requisitos en diámetro para cada pieza que une. Esto implica un eje de distintos espesores nominales donde se tendrá que calcular las distancias mínimas necesarias para realizar un brazo lo más compacto posible. Tanto los ejes principales como los ejes sueltos del codo o el hombro tendrán que estar guiados por rodamientos o casquillos con el fin de evitar el rozamiento de los componentes con el plástico y evitar el desgaste del mismo, además de disminuir la fricción y la necesidad de requerir más par en el motor.

Por último, y nos menos importante, el sistema de bajo coste del que se parte obliga a realizar el primer prototipo desde una impresora 3D. Esto significa que cada una de las piezas tendrá que diseñarse pensando en el proceso de fabricación por el cual van a ser realizadas ya que, entre otras cosas, se tiene una limitación en el volumen de trabajo que acepta la impresora.

3.3. Rediseños justificados

En cuanto al diseño del brazo robot se han ido haciendo modificaciones hasta llegar al modelo final, el fabricado mediante impresión 3D. Para llegar al prototipo final se han ido llevando a cabo una serie de ideas mejorando o eliminando en función de las necesidades del proyecto para obtener un diseño más resistente, estético, funcional y con unos costes de fabricación lo más reducidos posible para ajustarnos al presupuesto disponible. Para realizar un seguimiento en el proceso, éste se ha estructurado en una serie de versiones que permiten ver las variaciones realizadas en las distintas piezas del brazo hasta llegar a la versión final. A continuación se presentan cada una de las versiones.

3.3.1. Primera versión

Como primera versión se muestran 3 piezas principales: el antebrazo, el codo y una de las partes que irán unidas al hombro.

En un principio se toma un sistema de movimiento dividido en dos ejes. El primer eje, el superior, contiene dos engranajes: uno cónico y una rueda dentada. El engranaje cónico transforma el movimiento del motor en el eje y éste hace girar la rueda dentada. Ésta engrana con una segunda que hace girar el segundo eje, éste hace girar la parte del codo a la cual va fijado, mediante tornillos pasantes, a la pieza del antebrazo.

Para fijar los ejes a las piezas se aplican unos anillos de retención en el exterior de la carcasa del modelo. Esto permite evitar el desplazamiento de forma axial en los ejes. Los ejes se apoyan en rodamientos acoplados en las paredes del modelo reduciendo así la fricción del eje en las piezas del brazo. En las imágenes adjuntas se encuentran tanto el boceto de la primera idea planteada, *Figura 4*, como el diseño CAD del modelo planteado como primera versión, *Figura 5*.

En un principio se decidió que las ruedas dentadas y los engranajes a 45° se fabricarán por impresión 3D para, de esta forma, poder dimensionar el brazo sin tener en cuenta las restricciones en las dimensiones que aparecen al trabajar con los componentes mecánicos procedentes de catálogos comerciales.

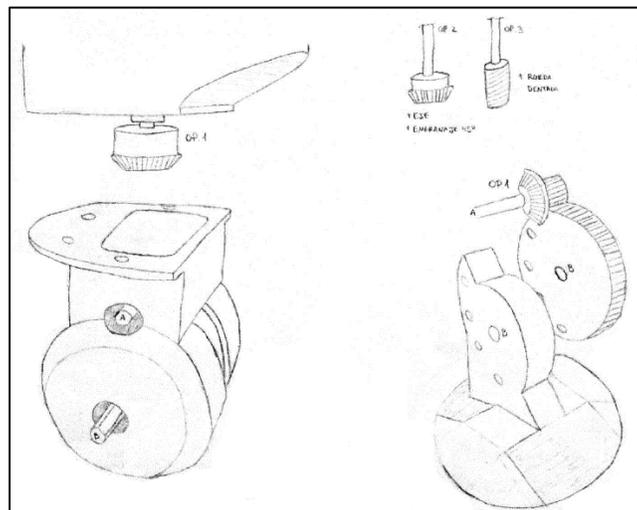


Figura 4: Boceto de la primera versión. Parte de unión codo-hombro en la parte izq. Parte codo-antebrazo parte dcha.

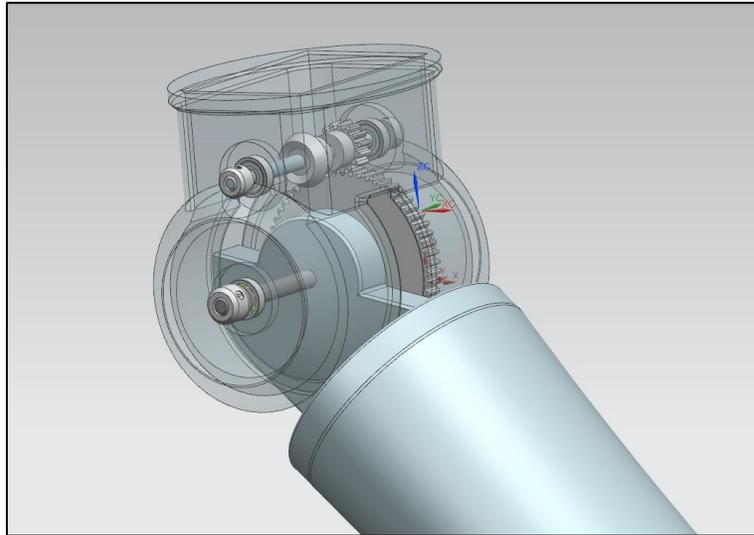


Figura 5: CAD de la primera versión. Conjunto completo.

Este primer diseño plantea un par de problemas importantes:

1. Se puede evitar un eje a la hora de diseñar el sistema de movimiento del codo con el consiguiente ahorro de peso y volumen.
2. El diseño de la pieza del codo no apoya correctamente en el eje. Es decir, el semicírculo que abraza al eje tiene muy poco espesor como para resistir movimientos laterales.

3.3.2. Segunda versión

La segunda versión propone un apoyo mejorado de la versión anterior. Esto se traduce en una mejor estabilidad a la hora de generar movimientos sobre el antebrazo. Además, ese apoyo resiste mejor a movimientos laterales evitando la deformación de la pieza del codo que está en contacto con el eje. A continuación, *Figura 6*, se puede ver la variación de la pieza que abraza al eje junto a un sólido en forma de cono que une la parte de la plataforma del codo con la parte del eje.

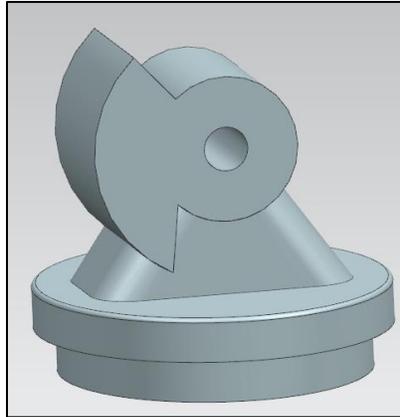


Figura 6: CAD de la segunda versión. Parte del codo.

El segundo diseño plantea los siguientes problemas:

1. No se ha suprimido un eje a la hora de diseñar el sistema de movimiento del codo.
2. Se ha mejorado la estabilidad al generar movimientos en el codo pero esto implica un mayor espesor y por tanto un costo mayor para fabricar el componente por la cantidad de material y de tiempo para su fabricación.
3. Posee un diseño poco estético.

3.3.3. Tercera versión

La tercera versión soluciona algunos problemas que se plantean en la versión anterior: demasiada cantidad de material en la parte central del codo, necesidad de una cavidad para poder pasar cables desde el codo al antebrazo, reajuste y cambio de la configuración mecánica de movimiento sustituyendo las ruedas dentadas por engranajes cónicos a 45°.

Se decide introducir la corona en la parte interior de la pieza codo con el fin de evitar al máximo el desplazamiento lateral y que engrane correctamente el piñón con la corona. En la siguiente imagen, *Figura 7*, se puede observar el CAD de la tercera versión con una cáscara interior con un espesor de 5mm que ahorra material y horas de fabricación mediante impresión 3D. Además se añade un orificio en la parte lateral que permite pasar el cableado por el interior del brazo para obtener un diseño más estético. Y, por último, como se ha comentado, se hace una cavidad en el apoyo de la parte del eje con el codo para introducir en ésta el engranaje cónico a 45°.

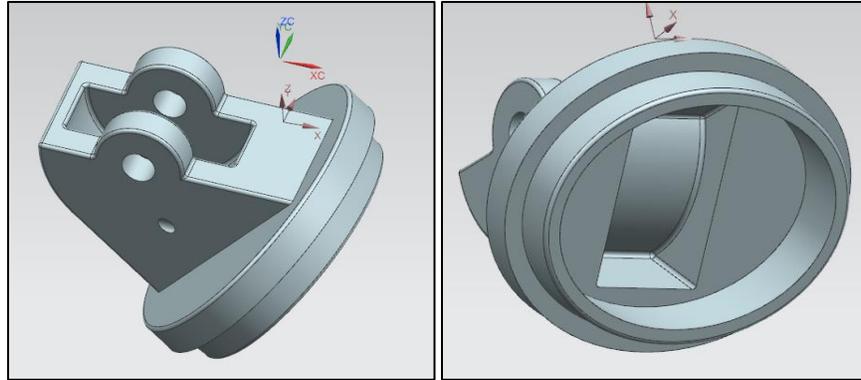


Figura 7: CAD de la tercera versión. Parte del codo.

La versión 3 sólo modifica la parte del codo, la parte del hombro se modifica a partir de la cuarta versión. La parte del codo de la tercera versión se valida y se envía a imprimir. Antes se realiza una simulación de esfuerzos en las partes críticas del modelo con el fin de detectar posibles fallos en el diseño. Tras comprobar que el modelo actúa correctamente (ver apartado CAE de esta memoria) se imprime quedando como se muestra a continuación, *Figuras 8 y 9*.

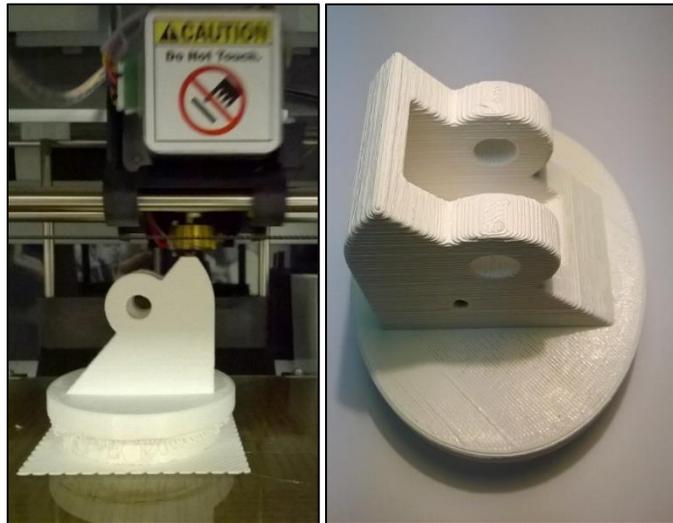


Figura 8: Proceso de impresión 3D y modelo final impreso de la pieza codo.

De la misma forma se imprime el modelo del antebrazo. Éste puede verse a continuación formando el conjunto codo-antebrazo.



Figura 9: Modelo final impreso de la pieza antebrazo y conjunto codo-antebrazo.

3.3.4. Cuarta versión

La versión 4 modifica el diseño de la parte del brazo unida con el eje pasante al codo. En este caso se ha realizado mediante superficies toda la parte exterior del brazo que albergará el motor, el codo y todas las piezas que forman parte del diseño como pueden ser ejes, rodamientos, cableado, etc... Para poder generar la parte del brazo se generan los CAD de los distintos componentes para conocer las dimensiones finales y verificar el conjunto. A continuación, se representan los componentes seleccionados. En la *Figura 10* se muestra el conjunto piñón-corona de la articulación del codo.

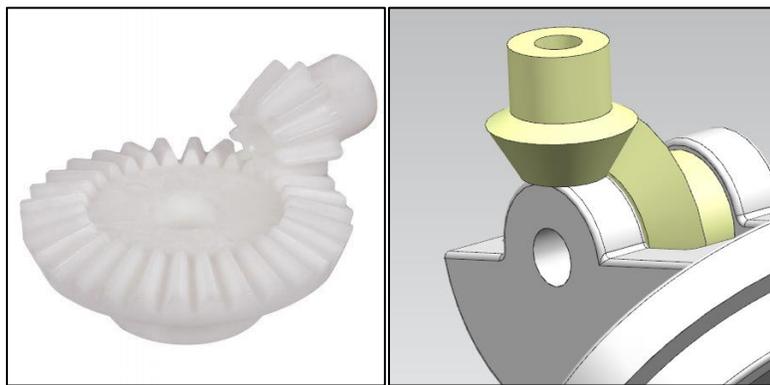


Figura 10: Engranajes (piñón y corona) a 45° en la parte izq. [10] CAD del engranaje, de forma simplificada, en la parte dcha.

En la *Figura 11* se aprecia el aspecto real de un Harmonic Drive con sus componentes. En imagen de la izquierda se ve, en color negro, la carcasa del FlexSpline y en color crema el Circular Spline. En la imagen derecha, en el interior del FlexSpline, se encuentra el Wave Generator.



Figura 11: Harmonic Drive. Vista superior en la parte izq. Vista inferior en la parte dcha.

En la *Figura 12* se muestra el CAD del Harmonic Drive.

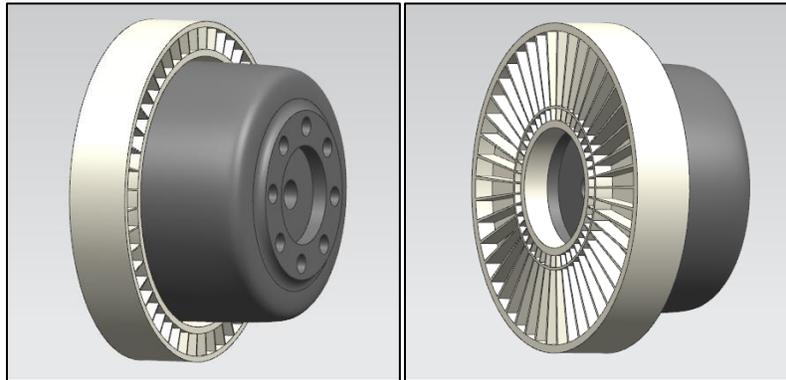


Figura 12: CAD del Harmonic Drive.

A continuación, *Figura 13*, se ve, en la parte izquierda, el modelo real de un codewheel y, en la parte derecha, su representación simplificada en modelo CAD.

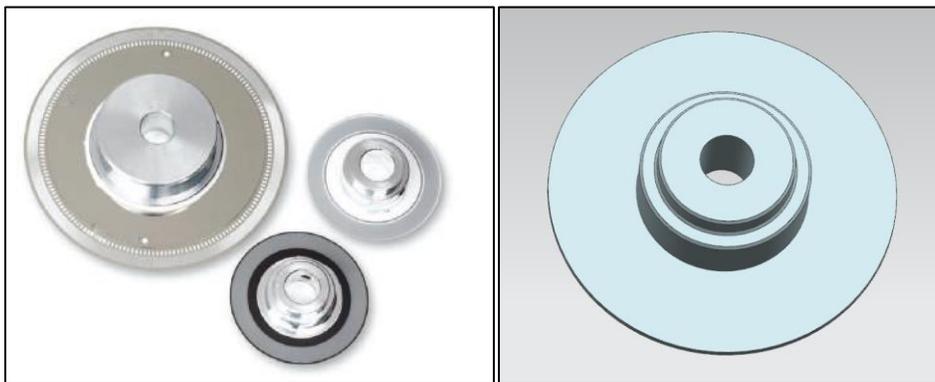


Figura 13: Codewheels en la parte izq. [11] CAD del Codewheel modelo HEDS-5140 simplificado en la parte dcha.

Finalmente, *Figura 14*, se representa el motor utilizado: modelo MAXON, tanto en su versión real como en su modelo CAD.

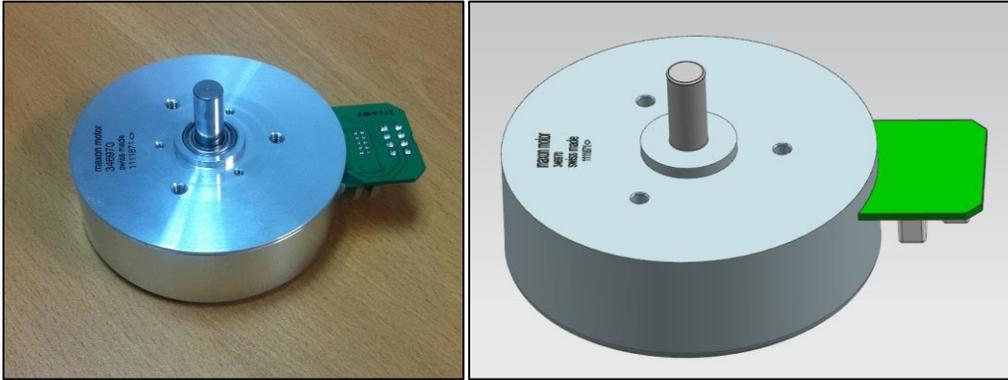


Figura 14: Motor MAXON modelo EC 90 flat brushless en la parte izq. [12] CAD del motor MAXON simplificado en la parte dcha.

Tras realizar los modelos CAD de los diferentes componentes se confecciona la carcasa mediante superficies lo que permite envolver todos los componentes obteniendo un diseño ergonómico y funcional. Se hace una cavidad con las dimensiones del motor MAXON para encajarlo y fijarlo cuando esté en funcionamiento. En la parte trasera del motor se encuentra el mecanismo de rotación del robot que permite un grado de libertad más. Este mecanismo funciona mediante un rodamiento delgado que apoya sobre las caras interiores del brazo y del hombro con el fin de evitar rozamiento entre las piezas al hacer girar los componentes. En un principio los materiales para hacer la estructura son metálicos, de acero, ya que son los que ofrece la empresa Franke, una empresa especializada en el sector aeroespacial y de automoción, *Figura 15*. El problema de este material es que el peso medio de la carcasa metálica y el rodamiento es de unos 2kg por lo que sería muy molesto si se está trabajando con personas.



Figura 15: Ensamblaje de la carcasa diseñada por la empresa Franke. [13]

La solución que se baraja para minimizar el peso es realizar esta estructura mediante una impresión 3D de un polímero. El ABS es el material seleccionado, ya que puede soportar, en principio, las cargas que se le van a asignar y reduce el peso considerablemente.

Manteniendo el rodamiento, teniendo éste un peso de 0,04kg, se elimina la carcasa metálica. Para ello se diseñan las distintas partes que forman el conjunto de la carcasa del rodamiento. Son 4 piezas: carcasa del brazo (que forma el soporte inferior-interior), soporte inferior-exterior, soporte superior-interior y soporte superior-exterior. El diseño de las carcasas superiores se modificara con el fin de encajar con la parte del hombro que se diseñará más adelante. El diseño de la carcasa presente en la cuarta versión se muestra, mediante una vista seccional, a continuación, *Figura 16*:

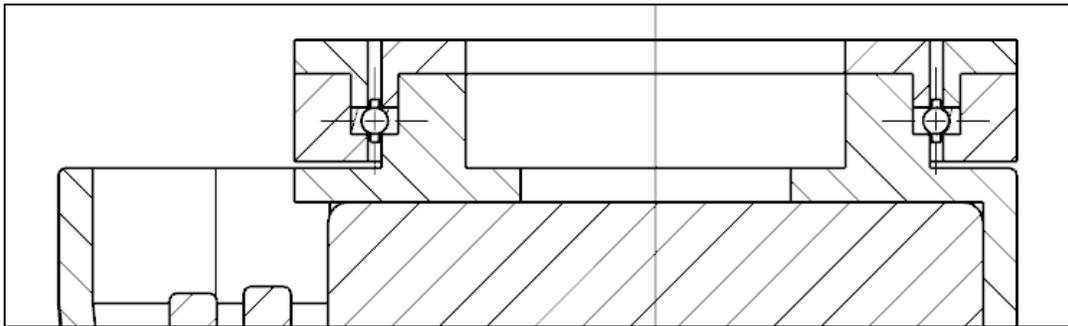


Figura 16: Vista seccional del diseño de la carcasa para el rodamiento Franke.

Diseñada la carcasa del rodamiento y la fijación del motor se hacen los agujeros en la carcasa para introducir el eje pasante que sujetará el codo. El problema que conlleva tener la corona a 45° en el interior de la cavidad de la pieza codo es que la distancia con la que trabajan los engranajes cónicos, en este caso el vértice del cono que forman piñón y corona, tiene que ser la distancia a la que tiene que estar el engranaje del eje del motor.

En la imagen adjunta, *Figura 17*, se puede observar esta distancia, siendo "l3" la distancia con la que trabajan el piñón y la corona. La corona seleccionada tiene una distancia "l3" de 26,2mm, que es el desvío total de la pieza codo respecto al centro de la proyección del eje del motor.

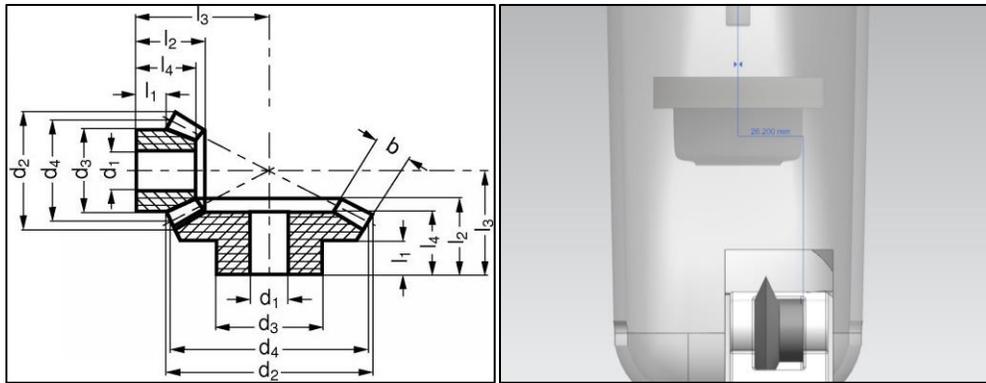


Figura 17: Posición y medidas de trabajo de un conjunto de engranajes cónicos en la izq. [10] Desvío de la pieza codo respecto al eje del motor a la dcha.

Este desvío de la pieza codo implica hacer un orificio desviado en la carcasa del brazo para que la pieza codo pueda girar libremente sin hacer colisión con el brazo. Esto implica un diseño menos estético y funcional, pues las cargas en el eje no estarán igual de repartidas. El diseño CAD del conjunto de la cuarta versión se muestra a continuación:



Figura 18: CAD del conjunto de la cuarta versión.

En la cuarta versión se detectan varios errores:

1. No se ha tenido en cuenta la distancia con la que engranan el piñón y la corona, por lo que el orificio por el que gira el codo no está centrado respecto del brazo.

2. No se ha tenido en cuenta que el piñón debe de estar guiado mediante algún soporte con el fin de que, al estar en funcionamiento, los engranajes trabajen de forma correcta sin separarse ni perder par.
3. El motor MAXON tiene las entradas del cableado en la parte inferior por lo que a la hora de conectarlo y de trabajar con él va a ser un proceso muy tedioso.
4. No existe una cavidad en las paredes de la carcasa en las que se apoyen los rodamientos que soportan las cargas del eje sujeto al codo.

3.3.5. Quinta versión

La quinta versión tiene en cuenta la distancia con la que engranan piñón y corona. Deforma progresivamente el modelo de la carcasa del brazo con el fin de que el codo rote en el centro del eje. A continuación se muestra una vista donde se puede apreciar esta pequeña deformación, *Figura 19*:

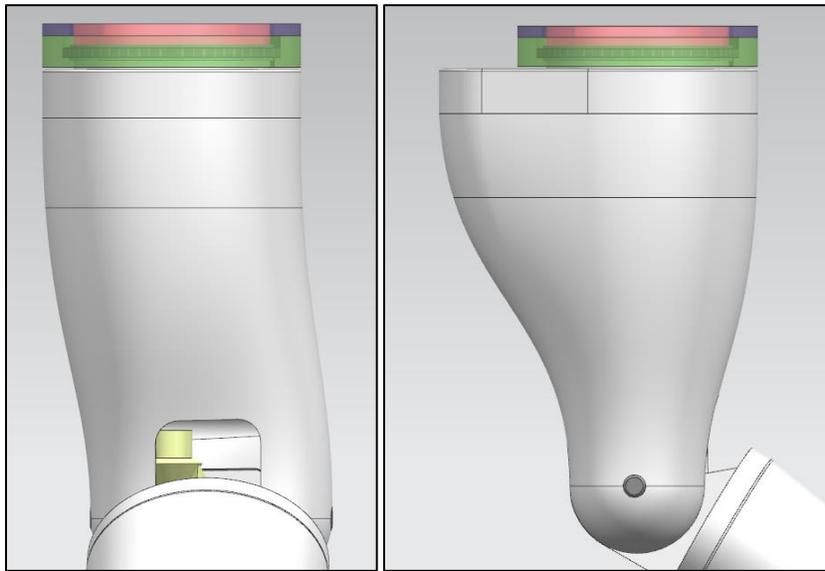


Figura 19: Vista de la deformación progresiva de la carcasa del brazo.

Además se añade un sólido en el interior de la cáscara que sirve de apoyo para incorporar un rodamiento de rodillos, *Figura 20*, que permita facilitar la rotación del eje motor y lo guíe al mismo tiempo. De esta forma los engranajes trabajan de forma correcta sin separarse ni perder par. Cabe mencionar que a esta pared se le añade un orificio para pasar el cableado, de una zona a la otra, por el interior del brazo.



Figura 20: Rodamiento de rodillos de la casa RS. [14]

Un punto importante a destacar son los apoyos de los rodamientos. Se van a utilizar unos rodamientos de la empresa RS, por su relación calidad-precio. Tras seleccionar el rodamiento a utilizar, según el eje escogido se forman unas extrusiones en las paredes de la cáscara con el fin de introducir los rodamientos en su interior y repartir las cargas en el brazo.

Por último, se hace un orificio en la parte trasera del brazo para poder trabajar de forma cómoda la instalación y el cableado del motor. Este orificio junto al modelo de la quinta versión se aprecia a continuación, *Figura 21:*

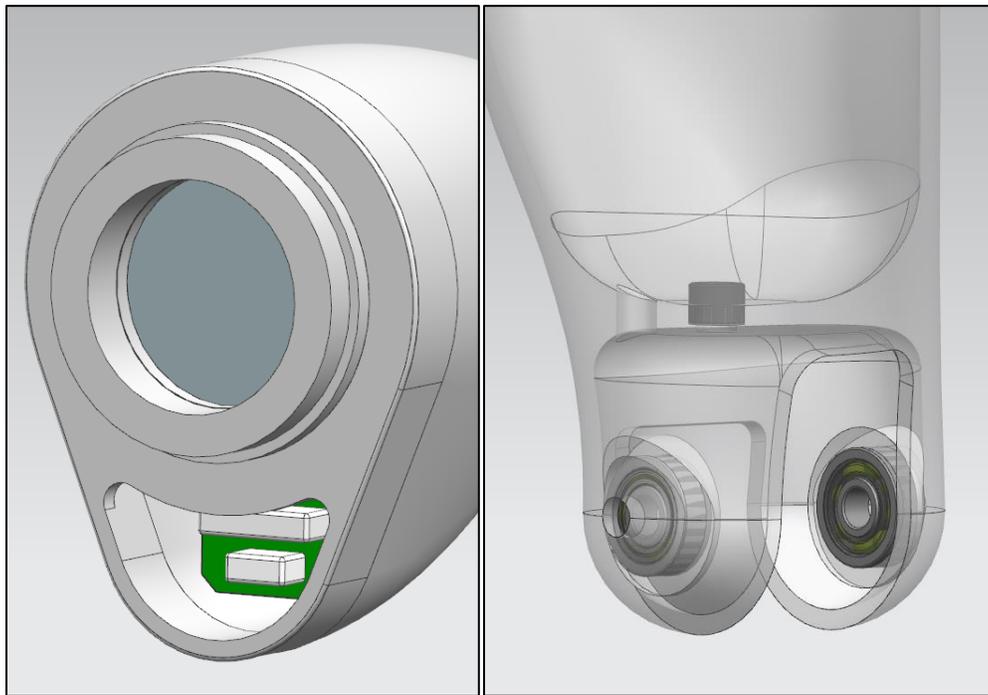


Figura 21: Orificio para facilitar el trabajo con el motor en el brazo en la parte izq. CAD de la quinta versión en la parte dcha.

En la quinta versión están presentes los siguientes fallos:

1. No se ha tenido en cuenta el proceso de montaje del brazo. Por lo que el motor es imposible de introducir en el interior de la carcasa.

2. La impresora 3D tiene dimensiones de trabajo menores al modelo del brazo siendo éstas de 200x200x200mm.

3.3.6. Sexta versión

En la sexta versión se diseña un eje de diámetros variables con el fin de encajar los componentes en éste (diámetro de salida del motor, Harmonic, codewheels, piñón, etc...). Además se ha dividido la parte del brazo, añadiendo una pestaña para que ambas acoplen, ya que la impresora tiene unas dimensiones máximas de trabajo de 200x200x200mm.

El problema a la hora de diseñar el eje con diferentes diámetros a lo largo de su longitud es que, al realizar el montaje, es imposible ensamblar los componentes si no se divide el eje en diferentes piezas.

El diseño que se plantea propone dividir el eje en 3 piezas con el fin de insertar entre cada unión los diferentes componentes:

1. La primera pieza en su diámetro mayor tiene que envolver el diámetro de la salida del motor. Y en su radio más estrecho, el radio interior de un codewheel. Pasado el codewheel se realiza un roscado que encajará con la segunda pieza del eje.
2. La segunda pieza envuelve con una rosca interior a la primera pieza y se enroscan ambas. Hay que tener en cuenta que la rosca de la segunda pieza debe de ser más profunda con el fin de hacer un final de rosca cuando la pieza 1 este ensamblada. El diámetro de la segunda pieza es el mismo durante todo el interior del Harmonic y tras pasarlo se reduce al diámetro del segundo codewheel y se termina con una rosca.
3. La tercera pieza del eje tiene una rosca interior para ensamblarse con la segunda. El diámetro debe pasar por el interior del rodamiento de hileras que permite guiar al eje. Tras pasar por el rodamiento, se reduce el diámetro a fin de introducirse en la cavidad del piñón del engranaje a 45°.

A continuación, *Figura 22*, se puede ver el boceto de la distribución de diámetros a lo largo de la longitud del eje junto a los diferentes componentes a los que tiene que ir ensamblado:

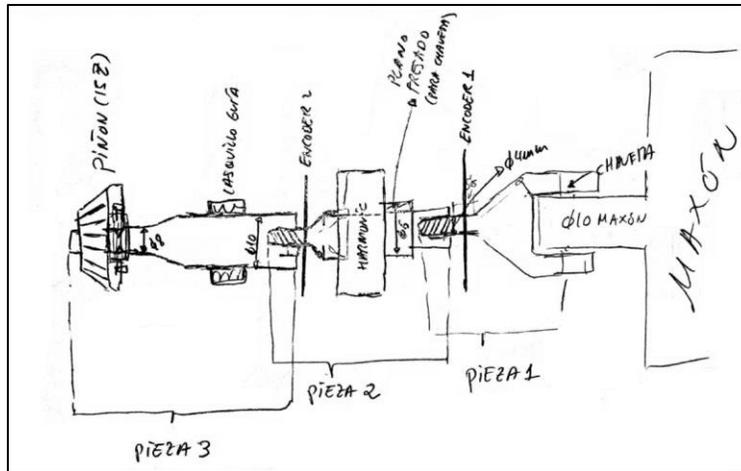


Figura 22: Boceto inicial de las diferentes piezas que forman el eje.

La segunda variación en el modelo que plantea la sexta versión, es la división de la carcasa del brazo a fin de hacer posible el montaje de los componentes en su interior, además de permitir imprimir las piezas de la carcasa por la restricción de las dimensiones de trabajo de la impresora. Para ello se divide la carcasa en dos partes de semejante tamaño y se crea una pestaña para conseguir que éstas encajen una dentro de la otra. Después se unirán ambas mediante una fijación atornillada. Estas piezas se muestran a continuación, *Figura 23*.

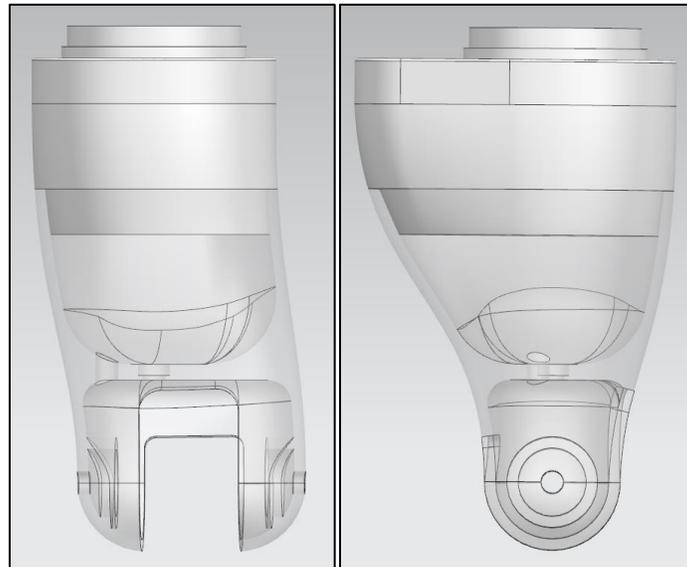


Figura 23: CAD conjunto de dos piezas que forman la carcasa del brazo.

3.3.7. Séptima versión

Esta versión representa la penúltima versión del prototipo, planteando las soluciones a todos los fallos que se han cometido durante todo el proceso de fabricación del brazo robot, tanto de diseño como de sincronización entre los departamentos.

Desde un principio se planteaba generar los dos grados de libertad de la parte del brazo mediante un grado rotatorio en la parte del codo y un segundo a mitad del brazo de forma giratoria sobre el eje motor. El problema surge tras un fallo de comunicación entre los distintos departamentos del proyecto porque inicialmente se plantaba un grado de libertad diferente al que se elige finalmente.

El fallo comunicativo significa varias cosas: el diseño que se había planteado mediante la rotación con ayuda del rodamiento Franke ya no sirve y se tiene que rediseñar el brazo manteniendo las piezas ya impresas.

Con el fin de mantener las piezas impresas, y no tener que desecharlas, se fabrican una serie de piezas que se encargan de unir el brazo con la parte del hombro que se diseña en paralelo. En la *Figura 24* se puede apreciar la pieza que encaja en el orificio de la cavidad interior en la que apoyaría el rodamiento para el cual se había diseñado el brazo. Esta pieza se encarga de unir una de las piezas del brazo con la pieza del brazo que se unirá al hombro del paciente.

La pieza de nylon se queda fijada dentro del orificio y sujeta un eje en el cual está presente una corona. Ésta transmite el movimiento de una forma similar al mecanismo del codo. Ahora todo el brazo gira sobre un único eje y de la otra forma el brazo estaba fijo y solo giraba el codo.

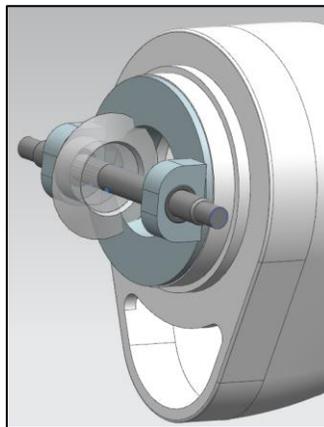


Figura 24: CAD de la unión entre las carcasas del brazo superior e intermedia.

Paralelo a la realización de la unión se diseña la tercera carcasa del brazo (parte superior) que envuelve los mismos componentes que estaban presentes en el interior del brazo en las partes intermedia e inferior. La pieza superior del brazo, que se unirá al hombro del paciente, se ensambla al eje y éste a la pieza de unión que está sujeta al brazo. Esto forma un conjunto fijo que rotará sobre el mismo eje que los une. La unión del eje con el chaleco que sostiene el paciente en su hombro no se realiza. Este diseño forma parte de otro integrante del proyecto, el cual se encarga de diseñar tanto el chaleco de sujeción como la unión entre el brazo-chaleco. En la *Figura 25* se puede apreciar el conjunto completo del brazo donde se diferencian las tres partes que lo constituyen (superior, intermedia e inferior). Las partes superior e intermedia, se unen mediante el eje superior, y el codo con la parte inferior del brazo, se unen mediante el eje inferior.

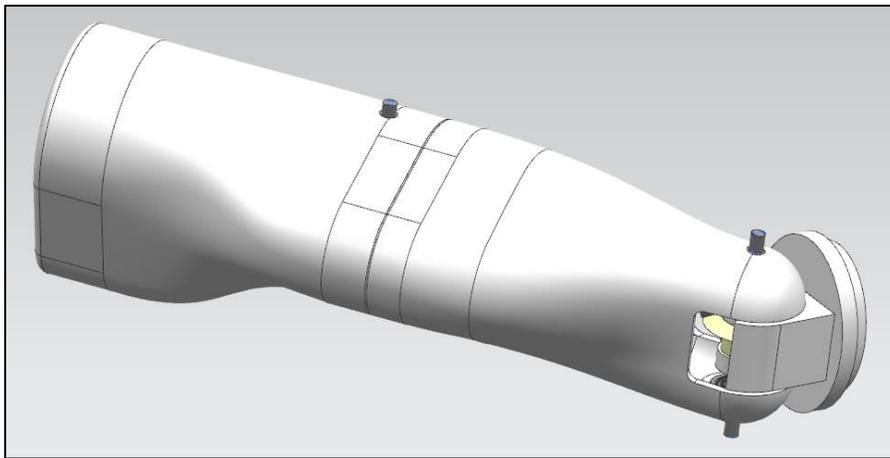


Figura 25: CAD conjunto completo del brazo.

La geometría que se aprecia en el diseño de la *Figura 25* se debe a varios factores: el motor sigue siendo el mismo por lo que la cavidad interior del brazo superior tiene que ser semejante a la que forman la intermedia e inferior en conjunto. Por otra parte el modelo tiene una forma retorcida sobre el eje con el fin de poder hacer, dentro de lo posible, que el brazo pueda rotar en el hombro y fijarse en una posición distinta mediante la unión de las piezas del brazo superior e intermedia. Además, esta deformación hace más vistoso el modelo ya que si éste fuera totalmente recto parecería mucho más largo.

La distancia entre los dos motores y sus ejes tienen una longitud mínima ya que disponen de los mismos componentes para su movimiento: motor Maxon, un Harmonic Drive, dos Codewheel y un piñón. Por último se diseña una tapa que permite ocultar el interior del brazo superior y permite montar el conjunto de componentes en su interior.

3.3.8. Octava versión

Esta versión es la versión final donde, tras tener casi terminado el brazo en la versión previa, se realiza una última modificación en el sistema mecánico del brazo. Se incorpora un acoplamiento flexible que permite absorber los desalineamientos entre ejes, proteger el sistema durante el funcionamiento otorgando una mayor vida al motor.

El acoplamiento se encarga de conectar y transmitir la potencia del eje conductor del motor al eje conducido que estará unido al Harmonic Drive. Esta última modificación implica varios cambios en el sistema: El eje que va unido al motor se recorta a la distancia precisa el acoplamiento para sujetarlo. Con esto desaparece parte del eje a la salida del motor. Por otra parte es necesario incorporar los “encoder”, para ello se crea una pequeña plataforma en la que se apoyará. Esta plataforma se sustenta a la altura necesaria con unos espárragos atornillados en los orificios de la carcasa del motor y unas tuercas para definir la posición. Al final de cada espárrago se ubican unas escuadras metálicas que permiten recoger, sujetar y alinear la carcasa exterior del Harmonic. De esta forma el Circular Spline del Harmonic se sujeta al motor y el Flex Spline está unido al eje que continúa hacia el piñón. El segundo encoder, el ubicado tras el Harmonic se sustenta en la parte superior del brazo. En la imagen adjunta, *Figura 26*, se puede observar en detalle el conjunto:

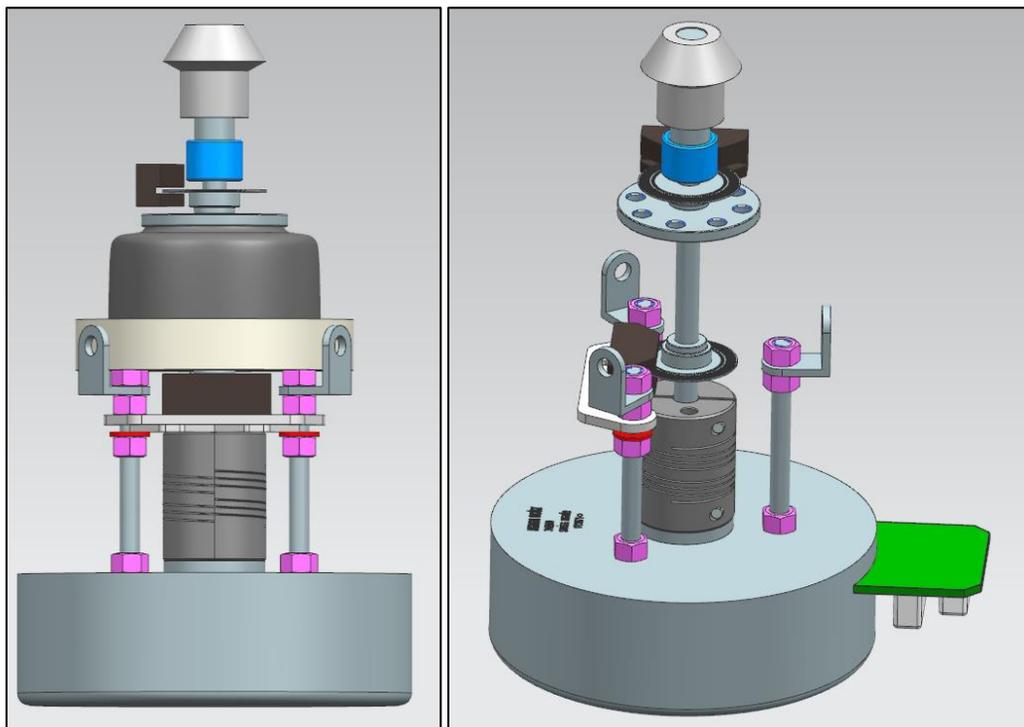


Figura 26: CAD de la modificación en la Octava versión.

En la imagen se puede apreciar una nueva pieza que se encarga de sujetar el Harmonic por sus orificios al final del eje y continuar la transmisión hacia el último eje que está unido al piñón. Como se puede apreciar todos los ejes que se planteaban en la Sexta versión han sido modificados y se han creado nuevas piezas para conseguir un mejor diseño de cara al funcionamiento real del brazo.

En la sección de montaje se observará, de forma más real, el diseño final del brazo junto a las imágenes del prototipo ya fabricado y ensamblado.

Este nuevo mecanismo se integra también en la parte del brazo superior pero esta vez el sistema de giro del brazo es diferente al que se encuentra en el codo. En este movimiento, a diferencia del anterior donde el conjunto estaba fijo y se desplazaba como parte móvil el codo, es el brazo en conjunto el que se desplaza sobre su eje. Este eje irá sujeto al chaleco que diseñará otro equipo de este proyecto.

Para realizar la unión brazo-chaleco se deja el eje roscado por su extremo más cercano al cuerpo para unirlo a la zona del chaleco diseñada para ello. A continuación, en la *Figura 27*, se muestra el CAD de lo comentado:



Figura 27: Detalle del eje de unión entre brazo-chaleco.

Para poder ver el aspecto general del brazo sobre el paciente a continuación se muestra el conjunto CAD del brazo junto al humano, *Figura 28*:

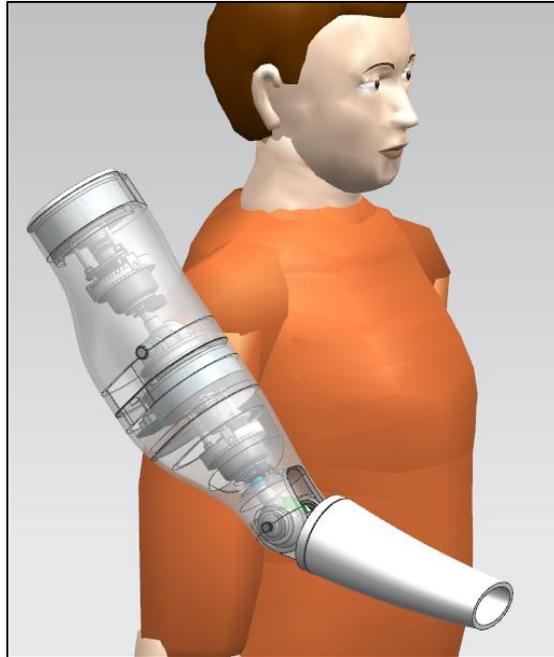


Figura 28: Conjunto CAD brazo-humano.

La inclinación del brazo respecto a la vertical del paciente se define por los grados que se le dé desde la sujeción del chaleco unido al paciente.

Acabada la parte de diseño se procede a realizar una imagen realista tipo “render”, *Figuras 29 y 30*, para poder apreciar las texturas del modelo.



Figura 29: Render 1 del primer prototipo.

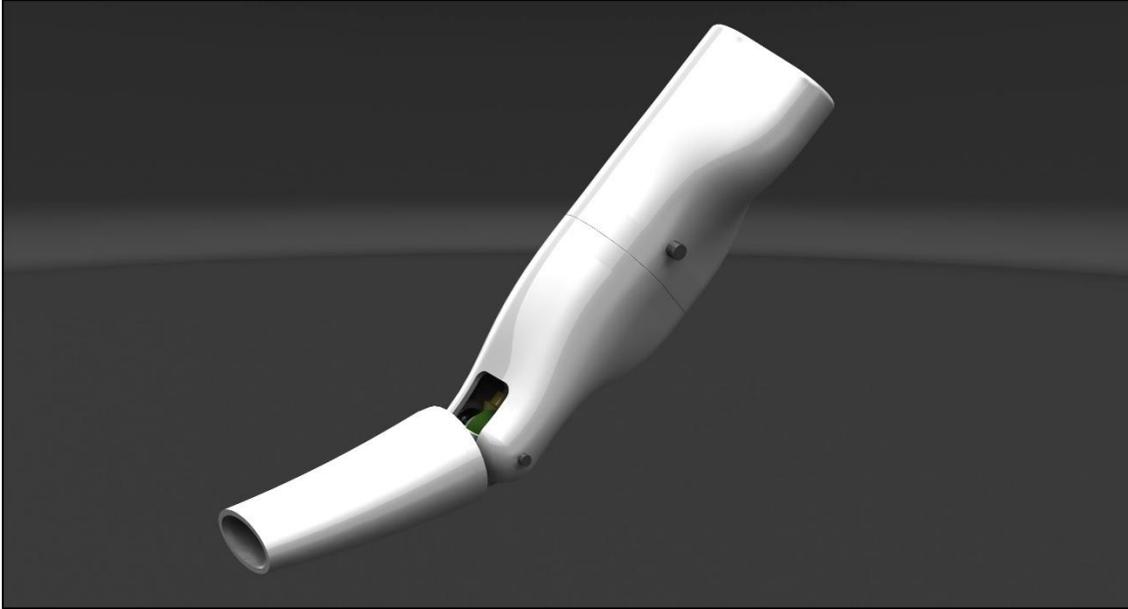


Figura 30: Render 2 del primer prototipo.

3.4. Análisis estructural

Es interesante realizar un análisis CAE mediante elementos finitos para poder advertir eventuales fallas en el funcionamiento, generando los análisis necesarios para obtener la información necesaria para comenzar con la elaboración del prototipo final. Este método obligará a plantear rediseños en el brazo para obtener, finalmente, el resultado óptimo en precisión y prestaciones. El principal objetivo de este apartado es comprobar, mediante un software de elementos finitos (FEM), la resistencia que ejerce el diseño del brazo planteado durante su funcionamiento normal.

En este proyecto se ha considerado un único análisis, los esfuerzos generados en la pieza codo. Ésta es la que genera más incertidumbre a la hora de ser diseñada.

Previo al inicio del proceso de análisis, se parte de que el proceso de fabricación de las piezas es por fabricación aditiva. Esto quiere decir que las características mecánicas del material no son isótropas y en los análisis que se generan sobre la pieza habrá diferencias entre los resultados y la realidad. El prototipo es de ABS y el modelo a analizar también, pero la forma de construir el prototipo es de FDM y la propia orientación de los hilos depositados hace que la debilidad del modelo recaiga aquí y no en el material propiamente dicho. Así pues, los análisis mostrados en esta sección son una estimación para ver los comportamientos de la pieza al recibir cargas y poder saber dónde se producen los mayores esfuerzos y,

de esta forma, reforzar tales partes. En un futuro se espera que algún software pueda ser capaz de calcular los esfuerzos según la deposición del material y tenga en cuenta los distintos parámetros que posee este tipo de fabricación para obtener unos resultados más exactos.

3.4.1. Introducción

Una solución analítica es aquella expresión matemática que arroja resultados con determinadas incógnitas que requieren la solución de ecuaciones diferenciales, las cuales, debido a su complejidad, son imposibles de resolver. Sin embargo, gracias a este tipo de metodologías se consigue que el problema sea planteado como una serie de ecuaciones algebraicas simultáneas en lugar de utilizar una resolución a partir de ecuaciones diferenciales complejas.

Una manera natural de abordar el estudio del comportamiento del sistema es simplificar el modelo matemático en lo posible. La opción más sencilla es subdividir el sistema en partes o elementos de estudio sencillo, para luego volverlo a reconstruir ensamblando la contribución de cada elemento y predecir así su comportamiento.

Hay sistemas en los que tales partes son evidentes, claramente diferenciables y conectadas entre sí por uniones comúnmente llamadas nodos. Tales sistemas se denominan discretos. Habitualmente, en estos casos, el resultado del proceso de análisis se reduce a un sistema de ecuaciones lineales simultáneas con variables nodales como incógnitas, a partir de cuya solución se obtendrá el comportamiento del sistema.

Sin embargo, en otras ocasiones nos enfrentamos al análisis de sistemas en los que tales partes no son obvias. De intentar una subdivisión, ésta puede proseguir en modo indefinido, con lo que el problema sólo podrá expresarse mediante el concepto de infinitésimo, lo cual conduce a un modelo matemático expresado por ecuaciones diferenciales, generalmente en derivadas parciales, que deben satisfacerse en todos y cada uno de los puntos del sistema. Sistemas de este tipo reciben el nombre de continuos.

En general, salvo casos muy simples, la solución analítica o exacta de las ecuaciones diferenciales que gobiernan el comportamiento de sistemas continuos es, o bien imposible, o es demasiado laboriosa. Ante tales situaciones, el analista debe tratar de obtener respuestas aproximadas sobre el comportamiento del sistema a través de técnicas que reduzcan su problema de infinitas variables incógnitas a uno de

un número finito de grados de libertad, de resolución más accesible. Esto equivale a pasar del modelo matemático, que define al sistema continuo, a un modelo discreto que aproxime su comportamiento. Procesos de este tipo se denominan de discretización del problema.

Dentro de la ingeniería mecánica, las prácticas en la mecánica de sólidos pueden agruparse en dos grandes familias: problemas asociados con sistemas discretos y problemas asociados con problemas continuos. En el segundo caso el sistema no puede ser dividido de forma natural, en unidades simples, por lo que sus análisis resultan mucho más complejos, por esta razón es necesario utilizar el método de elemento finito.

3.4.2. Método de elementos finitos aplicado a un análisis estructural

Cabe mencionar que las características que se describirán sobre el método tendrán relación con problemas de ingeniería pero únicamente de análisis estructural con la finalidad de lograr que el lector pueda comprender este método.

Una de las metodologías más comunes utilizadas por los ingenieros para el análisis de un problema estructural es la determinación tanto de los esfuerzos como los desplazamientos de la estructura. Estas estructuras se encuentran en equilibrio ya que son sometidas a cargas determinadas. En gran parte de los análisis estructurales no es sencillo poder determinar la distribución de deformaciones siguiendo métodos tradicionales, por lo que el método de elementos finitos es una excelente opción a considerar.

El método de elementos finitos para realizar la modelación de una estructura utiliza pequeños elementos que se conectan entre sí y reciben el nombre de elementos finitos. Posteriormente se asocia a cada uno de ellos una función de desplazamiento. De esta manera, cada elemento interconectado se liga entre sí, ya sea de manera directa o indirecta a través de interfaces como bordes, nodos y superficies.

Cuando se tienen incógnitas de propiedades de materiales en una estructura en la cual se estudian tanto el esfuerzo como la deformación, es posible determinar el comportamiento de un nodo específico en relación a las propiedades de cualquier otro elemento de la estructura.

Finalmente, al momento de generar la solución total de las ecuaciones, es posible describir el comportamiento de cada uno de los nodos en una serie de ecuaciones algebraicas. Para poder tener una mejor comprensión de todo el proceso,

las ecuaciones son expresadas en notación matricial lo que ocasiona que su evolución se vuelva mucho más sencilla.

3.4.3. Cómo trabaja el FEM en la práctica

Desde el punto de vista de la programación algorítmica modular, las tareas necesarias para llevar a cabo un cálculo mediante un programa FEM se dividen en:

Pre-procesamiento	Procesamiento	Post-procesamiento
<ul style="list-style-type: none"> • Dibujo del modelo o importación. • Selección de los materiales a emplear. • Mallado de los componentes del modelo. • Aplicación de las cargas exteriores (puntuales, lineales o superficiales). • Aplicación de las condiciones de contorno del modelo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Selección del tipo de cálculo a realizar (régimen transitorio, estático, etc...). • Configuración de los parámetros de cálculo. • Inicio del cálculo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se verifica la geometría del modelo. • Se verifican las condiciones de contorno. • Se revisan las cargas. • Se analizan los resultados de los esfuerzos. • Representación gráfica de los resultados.

Figura 31: Tareas necesarias para llevar a cabo un cálculo mediante un programa FEM.

Pre-procesamiento

Es la parte que prepara el modelo para el cálculo. Consiste en la definición de la geometría, generación de la malla, las condiciones de contorno y asignación de propiedades a los materiales. Existen operaciones de regulación de la malla y pre-condicionamiento para garantizar una mejor aproximación o una mejor convergencia del cálculo. La información sobre las propiedades del material y otras características del problema se almacena junto con la información que describe la malla. Por otro lado las fuerzas, los flujos térmicos o las temperaturas se re-asignan a los puntos de la malla. A los nodos de la malla se les asigna una densidad por todo el material dependiendo del nivel de la tensión mecánica u otra propiedad. Las regiones que recibirán gran cantidad de tensión tienen normalmente una mayor densidad de nodos que aquellos que experimentan poco o ninguno. Algunos puntos de interés consisten, por ejemplo, en puntos de fractura previamente probados del material, entrantes, esquinas, detalles complejos y áreas de elevada tensión.

Procesamiento

Es la parte que realiza todo el cálculo del FEM y genera las soluciones. El resultado del pre-proceso en un problema simple no-dependiente del tiempo, permite generar un conjunto de N ecuaciones y N incógnitas, que puede ser resuelto con cualquier algoritmo para la resolución de sistemas de ecuaciones lineales. Cuando el problema a tratar es un problema no lineal o un problema dependiente del tiempo a veces el cálculo consiste en una sucesión finita de sistemas de N ecuaciones y N incógnitas que deben resolverse uno a continuación de otro, y cuya entrada depende del resultado del paso anterior.

Post-procesamiento

Es la herramienta que permite la representación gráfica de los resultados, así como resultados indirectos que se pueden obtener operando las soluciones del modelo. El cálculo proporciona valores de cierto conjunto de funciones en los nodos de la malla que define la discretización, en el post-proceso se calculan magnitudes derivadas de los valores obtenidos para los nodos, y en ocasiones se aplican operaciones de suavizado, interpolación e incluso determinación de errores de aproximación.

3.4.4. NX SIEMENS®

En este apartado se va a explicar brevemente el funcionamiento del software SIEMENS NX®, para comprender cada uno de los pasos a seguir al analizar un elemento mecánico que, en este caso, será el molde para realizar los estudios de permeabilidad.

El software para análisis estructurales de NX utiliza NX Nastran, el “solver” de FEA más avanzado en materia de rendimiento computacional, precisión, fiabilidad y escalabilidad. El “solver” NX Nastran se integra en el entorno de NX CAE, o bien puede utilizarse como “solver” empresarial independiente. NX CAE también es compatible con soluciones para análisis estructurales de otros “solvers” comerciales de elementos finitos, como Ansys, Abaqus y LS-Dyna. Este software posee un módulo de solución de estática lineal, modos normales y pandeo. El análisis lineal se utiliza para resolver problemas estáticos, como determinar si una estructura fallará o no bajo una determinada carga, y también pueden emplearse para resolver problemas transitorios, en los que las cargas varían con el tiempo. Los análisis lineales se utilizan desde hace décadas, y en diversos sectores, para evaluar el rendimiento estructural de

aplicaciones, como por ejemplo entender la reacción de un fuselaje a las cargas de vuelo, determinar la presión que puede tolerar el nuevo teclado de un dispositivo electrónico, o el peso que puede aguantar la viga de una estructura civil antes de combarse. [15]

Así pues, un paquete de cálculo de elementos finitos consta de un pre-procesador, un procesador en el que se incluye la preparación de datos y se generan los archivos de resultado y, finalmente, un post-procesador que facilita el análisis e interpretación de los resultados, generalmente en forma de gráfica mediante el trazado de curvas, gráficos tridimensionales, tablas, etc...

Existen dos tipos de análisis estructurales: estático y dinámico. Para realizar este estudio utilizaremos el estático. Éste permite la determinación de los componentes de los nodos por efecto de una solicitación estática y, en segunda fase, la determinación del estado en ciertos puntos característicos de cada elemento. Este tipo de análisis permite acotar la deformación del componente de estudio y localizar zonas altamente solicitadas o de solicitación baja. Hay que mencionar que el análisis dinámico dentro de esta investigación no será utilizado, ya que el brazo robot únicamente será analizado por el método estático debido a que no se van a tener en cuenta cálculos de frecuencia y vibración ni cálculos con respuesta a una solicitación transitoria como por ejemplo la transferencia de calor.

3.4.5. Proceso de análisis en SIEMENS NX®

En realidad el método por elementos finitos involucra, durante todo el proceso de análisis, una serie de pasos dentro de los cuales solamente unos cuantos requieren de la toma de decisiones por parte del usuario, puesto que algunos son automáticamente desarrollados por el software SIEMENS NX®. El proceso de generación de la solución mediante FEM se realiza mediante el siguiente procedimiento: definición de la geometría objeto de estudio, especificación del régimen a estudiar, asignación de las propiedades físicas de los materiales, asignación de las condiciones de contorno, aplicación de las cargas, mallado de la geometría, resolución del problema y análisis de la resolución. Estos pasos se explican a continuación.

Definición y simplificación de la geometría objeto de estudio

Consiste en la obtención de un modelo 2D o 3D, en malla de alambre, de las formas de los diferentes objetos en los que se pretenden resolver las ecuaciones de

campo. En el software SIEMENS NX® podemos encontrar un menú de aplicación que permite pasar del modelado de las piezas a modo simulación avanzada. Esto permite importar los diseños de los componentes del molde a la interfaz de simulación avanzada de una forma fácil. Se ha simplificado la geometría para el análisis eliminando todos los redondeos de borde del modelo, de esta forma se puede optimizar el tamaño de la malla para que ésta no se reduzca en curvas tan pequeñas como en esos pequeños radios. Se han eliminado los redondeos tanto de la parte superior como de la cáscara de la parte inferior. Además se ha eliminado el agujero pasante entre una cara del codo y la parte inferior del mismo. Este agujero permite el paso del cableado a través del modelo y es prescindible a la hora de realizar la simulación ya que no interactúa sobre las partes críticas.

Nota: Los redondeos que forman parte de un concentrador de tensiones no se han eliminado con el fin de no alterar los resultados de los esfuerzos que el post-procesador representa. Estos concentradores son los redondeos laterales de los dos arcos que acoplan en el eje. Este último comentario se debe a que tras realizar una de las pruebas de simulación, se ha podido ver el concentrador de tensiones en esta zona y se han tenido que dejar los redondeos de la pieza original con el fin de poder observar correctamente los resultados que NX ofrece. Todos estos detalles se pueden apreciar en la *Figura 32* que se muestra a continuación:

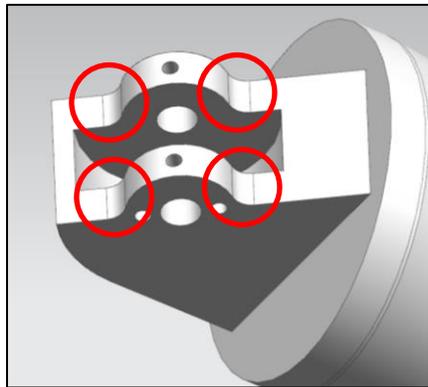


Figura 32: Forma simplificada del modelo para el análisis.

Asignación de las propiedades físicas de los materiales

Es aquí donde las propiedades mecánicas tales como la densidad de la masa (RHO), el módulo de Young, el límite elástico o el coeficiente de Poisson se asignan a cada uno de los objetos que se han generado en la fase de definición de la geometría.

SIEMENS NX® posee una base de datos de propiedades de materiales, de forma que la asignación de propiedades mecánicas se realiza de forma cómoda.

Como material se encuentra el ABS para ambas piezas (codo y antebrazo). Es un plástico con gran tenacidad. Además es duro y rígido, tiene una resistencia química aceptable, baja absorción de agua y buena estabilidad dimensional.

Este material posee las siguientes constantes ingenieriles:

- Módulo de Young (E): 2000000 kPa
- Coeficiente de Poisson (NU): 0.4
- Densidad de la masa (RHO): 1.05e-006 kg/mm³
- Límite elástico: 40000 kPa
- Regla de endurecimiento (HR): Isótropo

Nota: Se considera para el análisis un 80% de las propiedades mecánicas del material debido a que al realizar la fabricación mediante impresión 3D se producen cámaras de aire en la pieza.

Asignación de las condiciones de contorno

Deben proveerse las condiciones de soporte, es decir, algunos desplazamientos nodales deben ser colocados en valores conocidos. Las condiciones de contorno aplicadas han sido las siguientes:

Como primera condición se presenta una restricción cilíndrica, ésta aplica una restricción de valor de desplazamiento configurado, fijo o libre a cualquier incremento radial de las direcciones cilíndricas, rotación axial o incremento axial. Esta restricción se ha utilizado para simular los esfuerzos que ejercen los tornillos y el eje al que está apoyado la parte del codo.

En todos los orificios pasantes (de tornillos y ejes) se ha fijado el incremento radial y se han dejado libres tanto la rotación axial como el incremento axial.

Además, con el fin de simular el momento que ejerce la posible carga al final del brazo, el análisis se realiza junto al antebrazo para que de esta forma el programa pueda entender la distancia a la que se aplica la carga. Cabe mencionar que se ha simplificado la unión codo-antebrazo con el fin de hacer el análisis menos pesado. Esta unión codo-antebrazo se ha realizado mediante dos funciones de "Tipo de objeto de simulación": "Contacto superficie con superficie" permite que el programa entienda que las dos caras en contacto de los dos componentes (codo y antebrazo)

permanezcan en el mismo plano tras aplicarle las cargas. Y una segunda restricción de simulación, “Adherencia superficie con superficie” permite unificar ambos conjuntos en uno mismo, haciendo entender al programa que ambas piezas forman un conjunto único.

Aplicación de las cargas

En este caso se deben suministrar todas las cargas que son aplicadas exteriormente, éstas pueden ser concentradas, distribuidas, momentos, etc... En el análisis se va a estudiar el comportamiento del codo, en esfuerzos, tras aplicar una carga en el extremo de la pieza del antebrazo.

Se desea simular los esfuerzos a los que se someten los arcos perforados que abrazan al eje cuando el brazo robot coge cualquier cosa como, por ejemplo, un paquete de leche. Por ello se aplica la carga de 30 N uniformemente repartida sobre la superficie del extremo de la pieza del antebrazo. Esta carga está sobredimensionada con el fin de evitar fallas tras realizar la fabricación del mismo.

La carga se ha colocado, con el fin de simplificar el modelo, en el extremo del antebrazo para, de esta forma, no tener que incluir la pieza “Pinza” que sujeta el objeto real a levantar. Colocando una carga mayor a la que se tendría que levantar en el extremo del antebrazo es suficiente para generar el mismo, o incluso mayor, par que el que generaría la carga normal a la que va a estar expuesto el brazo en un funcionamiento normal.

Mallado de la geometría

Este es uno de los módulos más importantes, ya que si el mallado no está bien hecho o no se asignan correctamente las propiedades creadas en el apartado anterior, el análisis no se realizará o los resultados que nos muestre serán erróneos. Un resultado es bueno si el modelado es correcto y al reducir el tamaño de la malla, esto es, refinarla, los valores obtenidos no experimentan variaciones significativas, por tanto este es el criterio que hemos seguido a la hora de presentar los resultados en este proyecto. La geometría objeto de estudio se divide en diferentes elementos en los que se resuelven las ecuaciones de campo. SIEMENS NX® tiene una herramienta que malla de forma automática y permite al usuario mallar de forma más precisa las zonas

que más le convenga. Con este proceso termina el pre-procesamiento del análisis de elementos finitos.

Para realizar los análisis en el molde se ha utilizado una malla tetraédrica 3D. Ésta crea una malla de 4 o 10 elementos tetraédricos de nodos sobre un cuerpo sólido. Se ha seleccionado este tipo de mallado ya que se utiliza habitualmente para sólidos de geometría compleja debido a que los algoritmos de mallado sólido con tetraedros son rápidos y eficientes. En el análisis se ha realizado un mallado más basto en la parte del antebrazo, el cual solo nos sirve para generar el momento que ejerce la carga aplicada. Y se han ido aplicando mallados cada vez más pequeños, es decir, se ha refinado, en la parte del codo hasta encontrar el mallado en el cual los cambios de color representativos de las cargas o los esfuerzos son equivalentes al tamaño de la malla planteada.

Resolución del problema

En esta fase del proceso es donde se aplica el método de análisis por elementos finitos para obtener la solución del problema físico de forma iterativa, en este caso el análisis estructural. La solución se obtiene en cada uno de los elementos en que se descompone la geometría. Esta fase forma parte del procesamiento. En SIEMENS NX® se utiliza la operación “Resolver”. Esta función formatea el modelo del elemento finito en un archivo de entrada, lo envía al “Solver” y este último computa los resultados.

Análisis de la solución

Una vez que se ha obtenido la solución del problema del análisis estructural, es posible representar gráficamente la distribución de la deformación. Esta fase del proceso se conoce como post-procesamiento. El empleo de elementos finitos en el análisis estructural permite la determinación de distintos efectos como las deformaciones, estiramientos o estrés que son causados por fuerzas estructurales aplicadas en forma de carga. En el análisis realizado sobre el brazo se estudia la deformación y las tensiones.

3.4.6. Resultados del análisis

En este apartado se exponen los resultados obtenidos a partir de las pruebas del método de elemento finito en los componentes del brazo en el software SIEMENS

NX®. Estos resultados forman una parte esencial a la hora de optimizar el modelo de la pieza codo antes de enviarla a fabricar mediante impresión 3D.

En el software SIEMENS NX® los resultados de los esfuerzos producidos en un cuerpo se dan a partir de una gráfica de colores. En ella se pueden encontrar el rojo, amarillo, verde y azul. Las partes que tienen una coloración rojiza son aquellas donde se concentra una mayor cantidad de esfuerzo, mientras que las de color azul indican que los esfuerzos producidos son mucho menores o que son partes fijas. Dentro de una misma pieza se pueden encontrar la totalidad de estas tonalidades que, finalmente, indican el comportamiento del elemento analizado ante ciertas cargas.

En la *Figura 33* se presenta el proceso de obtención de la solución mediante el análisis por elementos finitos.

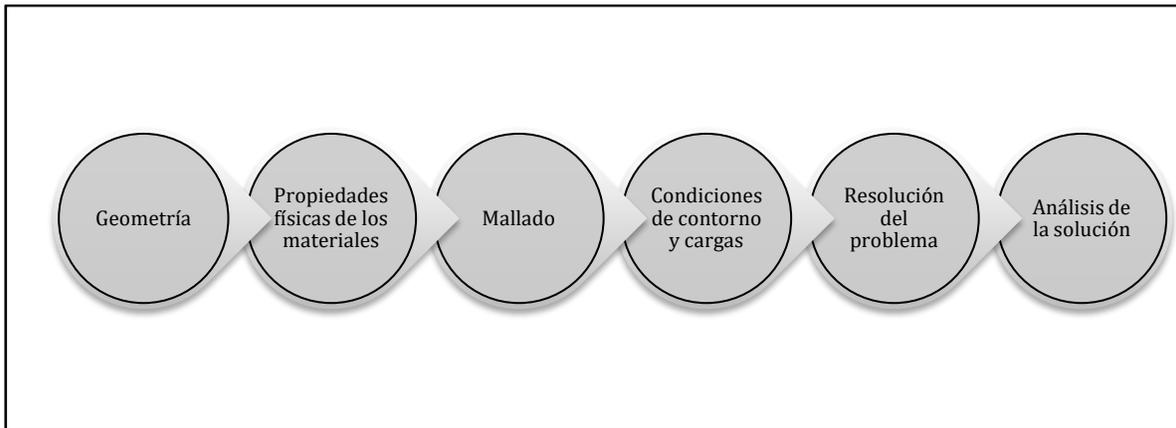


Figura 33: Proceso de obtención de la solución mediante el análisis de elementos finitos.

En la siguiente figura, *Figura 34*, se muestra la configuración previa al análisis del conjunto codo-antebrazo en el programa SIEMENS NX® para observar cómo se han situado las cargas y restricciones:

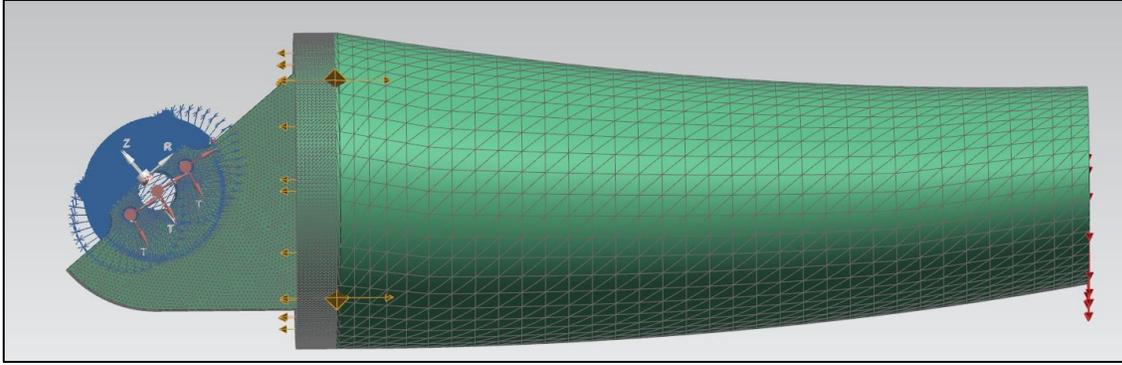


Figura 34: Representación de las condiciones de contorno y las cargas planteadas en el modelo.

En la imagen anterior, *Figura 34*, se pueden observar las restricciones cilíndricas de color azul, las cargas de color rojo y los objetos de simulación de color amarillo. Las características de este análisis son:

- ***Solicitación:*** 30 N de signo negativo a lo largo del eje Z en la pared del extremo del antebrazo.
- ***Resistencia:*** la estructura no debe llegar a la rotura, es decir, la tensión máxima alcanzada en el análisis no debe superar el límite de rotura para el ABS.

Los resultados se expresan a continuación:

En las *Figura 35*, *36* y *37*, se representan los resultados de los esfuerzos elementales, elementales-nodales y fuerza de reacción nodal sobre la pieza codo. Se puede observar que, en muy pocas zonas, los esfuerzos provocados llegan a ser críticos y en ningún caso, a pesar de la disminución de la calidad mecánica de la pieza, se sobrepasa el límite elástico del material utilizado.

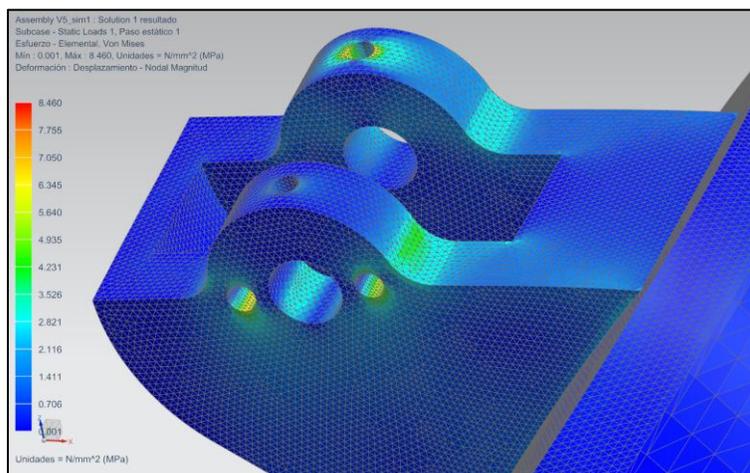


Figura 35: Resultados de los esfuerzos elementales en el codo.

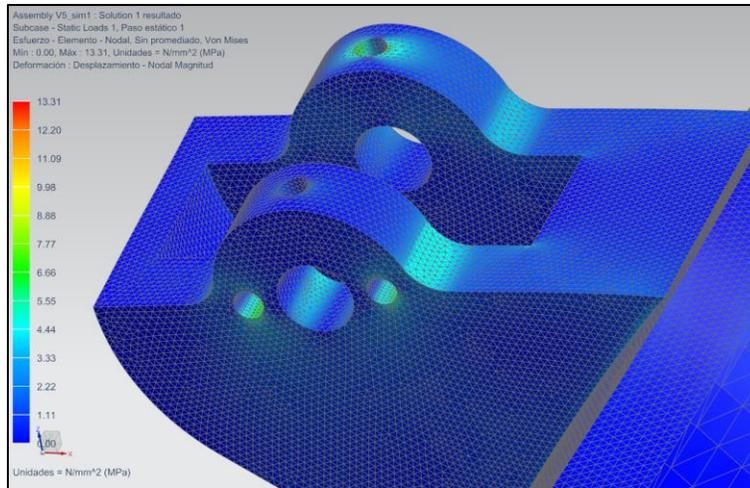


Figura 36: Resultados de los esfuerzos elementales-nodales en el codo.

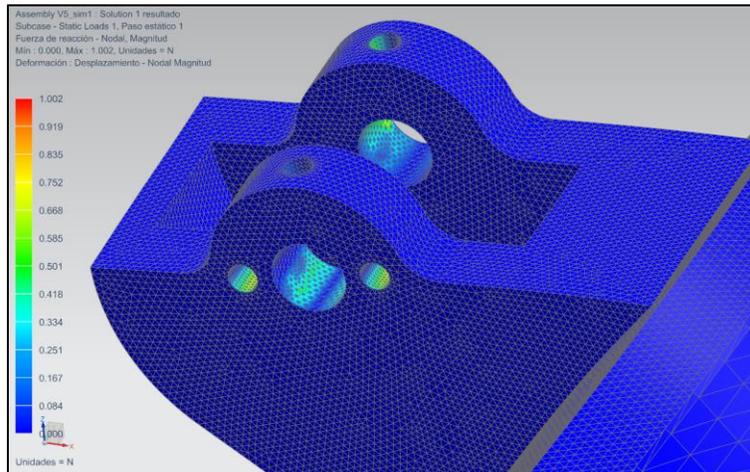


Figura 37: Resultados de la fuerza de reacción nodal en el codo.

3.4.7. Conclusiones del análisis FEM

Tras realizar las simplificaciones en el modelo y simular algunos ejemplos se ha percibido un concentrador de tensiones que desvirtuaba los resultados obtenidos en el análisis. Para eliminarlo se ha simplificado el modelo pero manteniendo el redondeo de los arcos que tenía el modelo real con el fin de obtener unos resultados más reales. Después de obtener los resultados del primer análisis, se ha podido observar que el tamaño de la malla estaba por refinar debido a que la franja de colores variaba considerablemente (entre 3-4 colores) por nodos. Al realizar el segundo análisis y obtener los resultados, el programa ha recibido problemas de cálculo al variar el tamaño de la malla tan bruscamente desde la parte del antebrazo a la parte del codo. Tras varias pruebas se ha conseguido encontrar el balance que permitía

obtener unos buenos resultados donde se apreciaba un buen tamaño de malla y donde se permitía realizar un correcto cálculo de los valores máximos de las tensiones.

Como conclusión se puede decir que el modelo diseñado es correcto debido a que los valores máximos de las tensiones (13,31MPa) no superan los valores de rotura del material aplicado (40MPa). Teniendo en cuenta los ciclos que va a tener este prototipo, el modelo podrá aguantar perfectamente el funcionamiento al que le se ha asignado. En el proceso de impresión 3D se debe tener en cuenta que el componente no es continuo pues existe una dirección de depositado del material plástico que produce debilidad en la pieza. Aunque los análisis indiquen que el material no llegará a la rotura, es preferible realizar la fabricación de la pieza procurando que la dirección de depositado del material sea la que proporcione más resistencia al esfuerzo.

3.5. Fabricación y montaje del prototipo

Diseñado el prototipo, explicado el proceso y técnica utilizada para su fabricación se procede a la impresión y confección del brazo robot. Esta sección resume el proceso de montaje, los problemas surgidos durante el mismo y los diferentes ajustes que se han aplicado para poder llegar al objetivo. Así pues, se diseñan las piezas, se envían a imprimir, se preparan y se solucionan los diferentes problemas y se ensamblan junto al resto de componentes.

Este proceso se ha ido realizando al mismo tiempo que se diseñaban las diferentes partes del brazo. Este método de trabajo tiene sus pros y sus contras. Como ventajas se encuentra que, al ser un trabajo en equipo, según se van diseñando y fabricando las diferentes piezas, se pueden ir probando en el equipo de control. Como desventaja está que si ha habido algún fallo en el proyecto, tanto de diseño como de gestión, éste se arrastra en los procesos posteriores.

En cuanto a las piezas impresas, se han tenido que hacer una serie de arreglos para mejorar su comportamiento mecánico aplicando acetona sobre las superficies plásticas para soldar los hilos de ABS y otorgar una mayor resistencia ya que las piezas impresas no son isótropas y si los hilos no están bien pegados se pueden separar con todavía más facilidad. Por otra parte, en aquellas zonas donde la unión entre los componentes comerciales y las piezas impresas es demasiado ajustada, la utilización de la acetona permite ablandar el material y dilatar los orificios como en el caso del paso del casquillo para guiar el eje conductor o el eje, tanto del codo como del

brazo. A continuación, *Figuras 38*, se muestran algunas de las piezas del brazo en conjunto tras su fabricación.



Figura 38: Piezas impresas del brazo.

En la *Figura 39* se puede ver el proceso de aplicación de la acetona sobre las piezas y el efecto conseguido.



Figura 39: Aplicación de acetona en las piezas impresas.

Las tolerancias que aporta la impresión 3D no son muy buenas por lo que si no se sigue una metodología de diseño correcta se encuentran problemas a la hora de ensamblar las piezas. Para ello se han diseñado las piezas de unión (solapas entre piezas) con unas dimensiones ligeramente menores para que después puedan encajar con menor problema, *Figura 40*.



Figura 40: (Izq.) Pieza Brazo Parte 2 impresa. (Dcha.) Pieza Brazo Parte 1 impresa.

En cuanto a las uniones se han realizado perforaciones en las pestañas tras imprimir las piezas. Esto se debe a que, al tener unas tolerancias tan grandes en la impresión 3D, después los agujeros no coincidirían con los de la pieza a unir. De esta forma se asegura una coincidencia entre agujeros. Algunos de los ejemplos de estos orificios se muestran a continuación, *Figuras 41 y 42*:

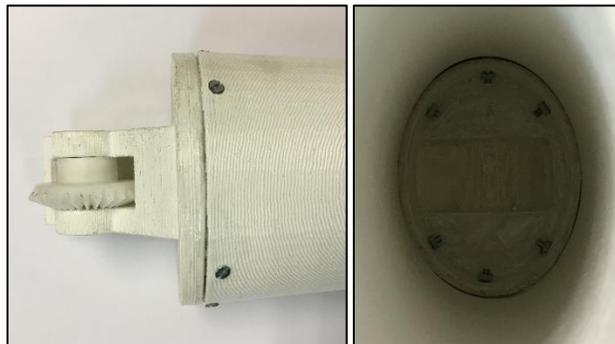


Figura 41: Perforaciones para las uniones en las piezas antebrazo y codo.

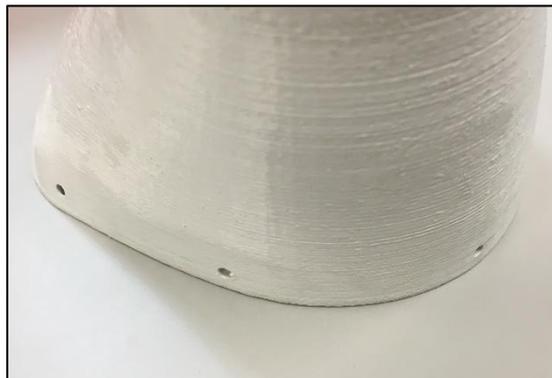


Figura 42: Orificios de unión en la pieza hombro.

Las piezas metálicas torneadas se han fabricado según planos en el taller (Ver Anexo A: Planos), por lo que no ha habido ningún problema a la hora de unir éstas al conjunto. A continuación, *Figura 43*, se muestran algunas de las piezas torneadas utilizadas:



Figura 43: Conjunto de piezas mecanizadas.

A la hora de realizar el ensamble del conjunto general, se han encontrado algunos problemas como la diferencia de diámetros entre el motor y la ubicación donde va colocado. Por ello se ha tenido que realizar un corte en la pared del modelo para poder insertar el motor en el interior del brazo, ver *Figura 44*.

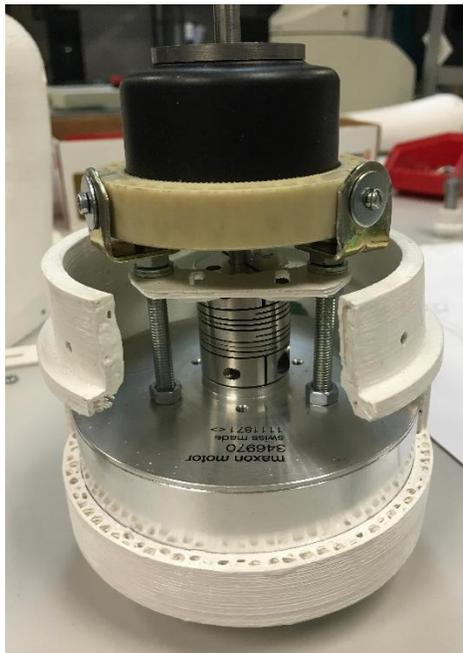


Figura 44: Proceso de ensamble del conjunto general.

De esta forma, este recorte en la superficie sirve a modo de “tapa” para abrirla y trabajar en el montaje y, posteriormente, cerrarla y dejar el brazo tapado para evitar ver el interior del mismo.

El proceso de montaje no ha sido una tarea fácil, se han tenido que ajustar la mayoría de las piezas impresas y se han tenido que perforar y realizar algunas modificaciones a lo largo del proceso. Además, la gran cantidad de piezas hacen difícil ajustar todas en un conjunto y el reducido tamaño del brazo hace que el diseño tan compacto pase factura. En las *Figuras 45, 46 y 47* se puede observar el resultado del proceso.



Figura 45: Ensamble e instalación del cableado.

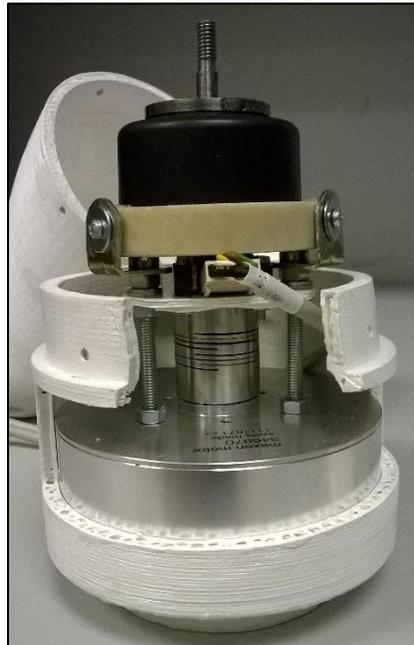


Figura 46: Ensamble de los componentes interiores del brazo junto al cableado del mismo.

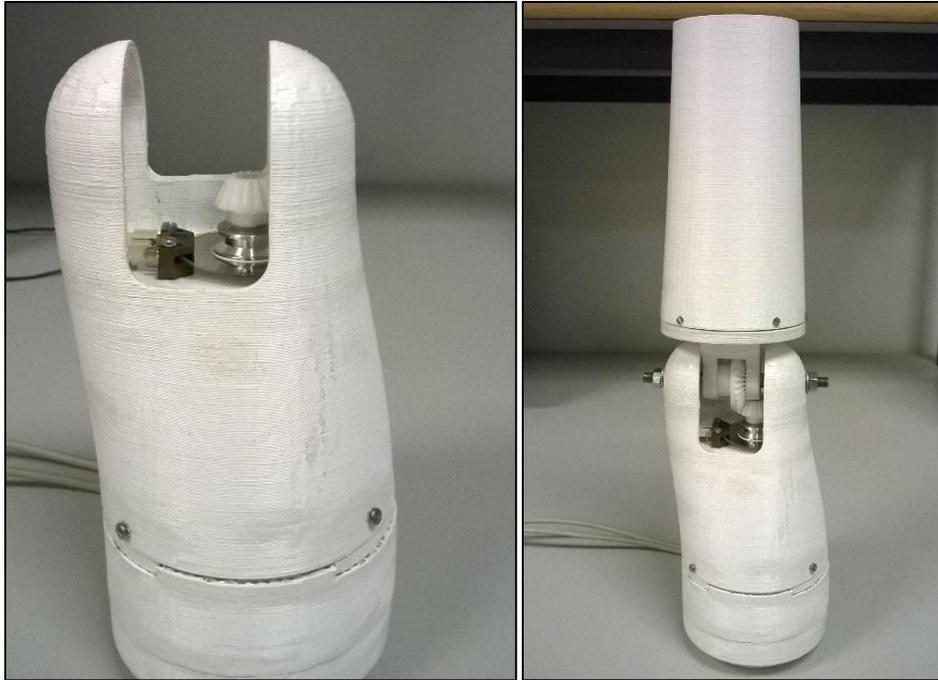


Figura 47: Aspecto final del primer prototipo ensamblado.

3.5.1. Resultado de la fabricación y el montaje del primer prototipo

Como se ha comentado, y debido a las características del proceso utilizado (diseño y fabricación en paralelo), se puede decir que el resultado obtenido ha sido satisfactorio. En cualquier caso, esta experiencia demuestra la importancia de un buen diseño previo antes de comenzar el proceso de fabricación, pues se podrían haber evitado partes erróneas.

Además, con el sistema que se ha seguido, la continuidad del proceso de diseño depende, en gran medida, de las primeras piezas ya fabricadas, lo que condiciona la continuidad del proyecto y arrastra fallos a lo largo del proceso. A pesar de estas dificultades se ha conseguido plantear un diseño satisfactorio para el equipo, teniendo en cuenta las restricciones iniciales.

3.6. Pruebas y resultados

Diseñado y ensamblado el primer prototipo se puede decir que se ha cumplido el objetivo que se pretendía con esta primera versión. Ya se tiene una base con la que poder experimentar los diferentes equipos: control, la adaptación ergonómica, fallos mecánicos, fallos de diseño, etc... A partir de este punto los diferentes equipos ya

pueden continuar con el desarrollo de su trabajo y eso permite el “feedback” entre los diferentes departamentos, puesto que los trabajos de cada uno de ellos interactúan con el resto.

El equipo de diseño y fabricación está satisfecho con los resultados obtenidos aunque se podrían indicar diferentes fallos en la coordinación entre equipos. Se podría haber mejorado el proyecto en conjunto si hubiese habido una mejor coordinación temporal entre los equipos y unanimidad en los objetivos.

De momento, no se han realizado pruebas globales que permitan continuar rediseñando el brazo para hacer el prototipo final pero, como parte de este Trabajo final de Máster, se diseña la metodología de trabajo para la siguiente versión basándose en este primer prototipo.

4. DESARROLLO DEL PROTOTIPO FINAL

En esta sección se desarrolla el prototipo final objetivo este proyecto. Desde su inicio este proyecto se ha planteado como objetivo el desarrollo de un modelo nuevo y mejorado del primer prototipo, corrigiendo los fallos de fabricación y diseño. Ahora bien, cuando se desarrolla un proyecto de carácter universitario, con mucha gente implicada, nunca se sabe si la planificación se va a cumplir o si van a haber contratiempos. En este caso, el proyecto no se ha podido completar por una serie de razones. Entre otras: ha transcurrido demasiado tiempo desde que el diseño ha sido planteado hasta que se ha procedido al montaje, el equipo de alumnos del control del brazo no han podido trabajar el tiempo suficiente para experimentar con el brazo y esto implica que no han podido comprobar los fallos en el funcionamiento. Por último, si todo hubiera salido según lo esperado, este prototipo final se haría desde cero, es decir, esta vez los componentes sí que se acoplarían al diseño planteado y no al revés. Con el diseño nuevo, y corregidos los errores del primero, se realizarían los moldes para la fabricación de las distintas piezas del brazo mediante la técnica de infusión. El presente trabajo establece el mismo guion manteniendo el primer diseño para poder completar las expectativas iniciales de este Trabajo Final de Máster. Tras plantear la técnica y el desarrollo de los moldes se planifica el proceso de fabricación de los mismos y se confeccionan los programas de mecanizado de éstos.

4.1. Introducción a los procesos de moldeo

Los materiales compuestos requieren de procesos de fabricación únicos para cada aplicación. Gay y otros [16] afirman que “la mezcla de resina con el refuerzo no se convierte en un material compuesto hasta la última fase de la fabricación, es decir, hasta que se endurece la matriz.” Existen numerosos métodos para la fabricación de piezas de materiales compuestos y muchos de ellos han sido desarrollados para

responder a unos desafíos de diseño o fabricación específicos. Cada método está destinado a una aplicación, por lo tanto la selección del método depende de los materiales, la geometría y la aplicación del objeto que se desea fabricar. En este capítulo se revisan los procesos de moldeo más comunes para la elaboración de piezas de material compuesto identificados por Gay y otros [16].

4.1.1. Moldeado por contacto

El moldeo por contacto ‘Contact moulding’ se dice que es un proceso de “molde abierto” donde sólo se utiliza una mitad del molde (macho o hembra). Las capas de fibra impregnadas de resina, junto a un acelerador, se colocan en la cavidad del molde y se compactan con la ayuda de un rodillo. Esta operación permite eliminar las bolsas de aire que se producen entre las fibras. Dependiendo del tipo de acelerador utilizado la resina posee distinto tiempo de curado. La siguiente figura muestra el proceso de moldeo por contacto. [16]

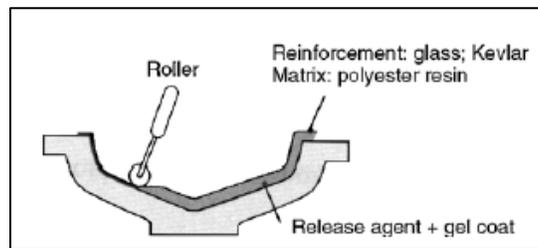


Figura 48: Proceso de moldeo por contacto. [16]

4.1.2. Moldeado por compresión

Este proceso ‘Compression moulding’ se cataloga como un método de “molde cerrado” debido a que el molde se cierra con un contra-molde después de colocar el refuerzo impregnado en la cavidad de éste. El contra-molde ejerce presión sobre el refuerzo hasta realizar el curado completo de la pieza. La siguiente figura muestra el proceso de moldeo por compresión. [16]

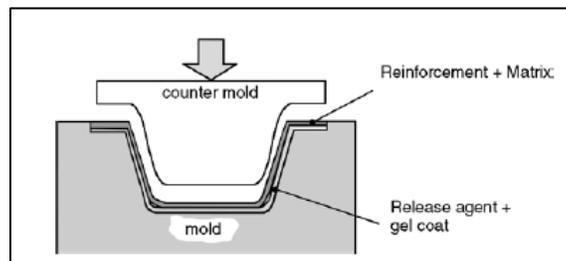


Figura 49: Proceso de moldeo por compresión. [16]

4.1.3. Moldeado por vacío

El moldeado por vacío ‘Vacuum moulding’ es otro tipo de proceso de “molde abierto” en el que se consigue reducir la presión de inyección y eliminar las burbujas de aire que quedan en el tejido. Este proceso elimina la parte superior del molde y se reemplaza por una bolsa de material polimérico, que cubre la parte inferior del molde en el que se coloca la preforma de fibra y se fija con una cinta plástica que mantiene la estanqueidad en el interior de ambas partes. Esta técnica se comentará en próximos apartados de esta memoria porque es la técnica con la que se pretende realizar la fabricación del prototipo final del brazo.

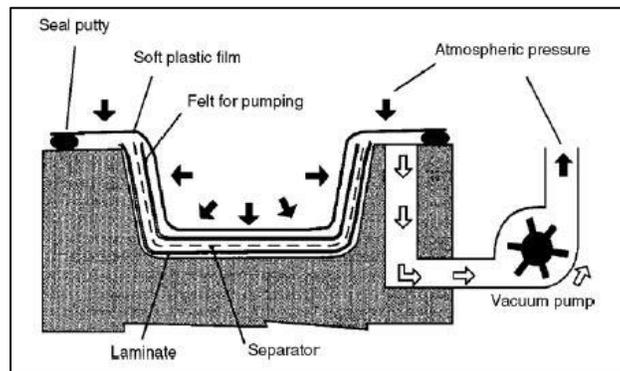


Figura 50: Moldeado por vacío. [16]

4.1.4. Moldeo por transferencia de resina (RTM)

El proceso RTM ‘Resin Transfer Molding’ consiste en inyectar a baja presión una resina termoendurecible dentro de la cavidad de un molde en cuyo interior se encuentra una preforma fibrosa seca. Cuando el molde está completamente lleno se deja curar y posteriormente se desmolda. Las prestaciones mecánicas de los componentes hechos de materiales compuestos están directamente relacionadas con el proceso de conformado utilizados. [17] [18]

4.2. Fabricación mediante infusión

El proceso de fabricación por infusión, “Vacuum Infusion Process (VIP)” en inglés, como ya se ha mencionado anteriormente en este informe, es una técnica que utiliza presión de vacío para conducir la resina en un laminado. Los materiales se colocan en seco en el molde y se aplica vacío tras introducir la resina. [19] Esta técnica ofrece una serie de mejoras [20]:

- Proceso reproducible.
- Calidad del laminado constante, con una fracción de sobre el 55-60% en peso, además de un bajo porcentaje de aire.
- Mejor relación resina / fibra, por la reducción del porcentaje de resina.
- No se requiere una alta inversión para implantar el proceso.
- Rapidez en el proceso de laminación, reducción del tiempo de ciclo del molde hasta 20% comparado con el contacto manual.
- Reduce la exposición del operario a emisiones de estireno, ya que esta se reduce en un 95%.
- Proporciona un ambiente de trabajo más limpio, porque se evitan salpicaduras y accesorios impregnados de resina.
- Reducción de costes al reducir los residuos a gestionar.
- Mejor acabado superficial.

4.2.1. Configuración y equipo

Cuando se trabaja con la técnica de la infusión, es importante comprender algunos conceptos generales sobre cómo se utilizan y se disponen de los distintos materiales. Hay que tener en cuenta que cada proyecto es único y se pretenden comentar las distintas variables que existen. En primer lugar a continuación, *Figura 51*, se muestra la secuencia del proceso general que comprende la fabricación mediante infusión.

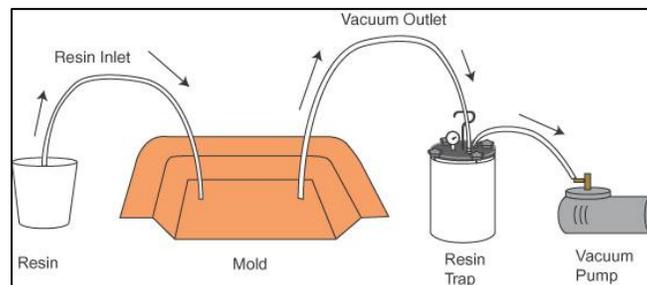


Figura 51: Proceso de fabricación mediante la técnica de infusión. [21]

El propósito de esta sección se centra en dar una idea general de la configuración de trabajo. La resina se propaga desde un punto central en el laminado y, a partir de ahí, la resina se retira hacia el exterior a través de la presión del vacío. La disposición de los materiales utilizados debe ser algo parecido a lo que se muestra en la *Figura 52*. A los defectos de este esquema, la bolsa de vacío no se muestra.

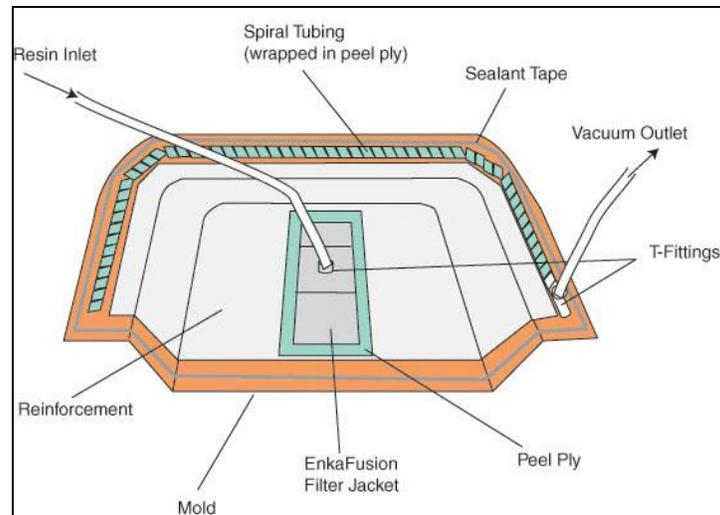


Figura 52: Configuración de trabajo del proceso de fabricación por infusión. [21]

4.2.2. Pautas de fabricación

A continuación se muestran los pasos a seguir de una forma sistemática. El proceso de infusión es una técnica que utiliza vacío para lograr la impregnación de las fibras de un laminado. Para realizar la infusión, primero se limpia y se prepara el molde con desmoldeante. Después se corta el refuerzo y se anota el peso de éste para el posterior cálculo del requerimiento de resina. Se corta un trozo de film con unas dimensiones un poco mayores a las del refuerzo. Esto permitirá una fácil extracción de la pieza final tras el curado de la resina. Y, por último, se corta un pedazo de tela de distribución de resina de un tamaño un poco más pequeño que el refuerzo. Posteriormente se colocan los tubos distribuidores de vacío en la periferia. El siguiente paso es colocar los tubos alimentadores de resina en los lugares previamente estudiados. Se sella todo el bode de la matriz y se hermetiza con la bolsa de vacío. Una vez obtenido un sellado perfecto se comienza a hacer el vacío. Tomando como base el peso de la fibra se calcula la cantidad de resina para impregnar. Generalmente se parte de un lámina de un 50% fibra y 5% resina. Se abren las entradas de resina que estaban cerradas en el momento de realizar el vacío. La succión producida por la diferencia de presiones hace que la resina ingrese en el tejido impregnando todas las fibras y produciendo un laminado sin fallas y sin burbujas. La velocidad de avance será distinta para cada caso en particular y se verá afectado por la viscosidad de la resina y el tipo de tejido de fibra utilizado. Una vez que la zona se ha impregnado, se cierra el tubo de alimentación, siempre antes de que se acabe la resina y entre aire a la bolsa. Una vez que la pieza está totalmente impregnada se sigue haciendo vacío hasta que la resina se gelifique, momento en el cual se puede apagar la bomba de vacío [22]. En la siguiente figura se puede observar

un proceso de laminado por infusión de un casco de barco realizado por la empresa Ashland.

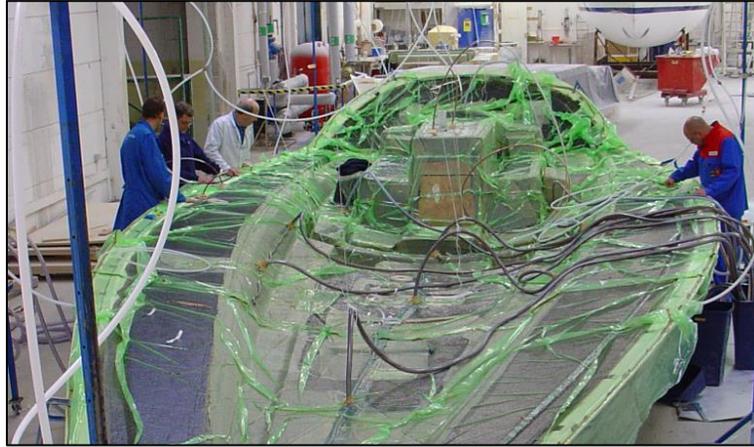


Figura 53: Proceso de laminado por infusión de la empresa Ashland. [19]

4.3. Diseño de moldes para fabricación

En esta sección se muestra el proceso de diseño de los moldes para realizar el laminado por infusión sobre ellos a la hora de fabricar las distintas piezas del brazo. Como se ha comentado con anterioridad, el fin de estos apartados es únicamente didáctico pues, en realidad, se deberían de modelar las carcasas de un nuevo modelo. Se ha planteado un diseño de moldes donde sólo se muestra la cavidad, huella, de cada pieza, *Figura 54*. Las uniones entre las dos cavidades se realizarán mediante pestañas donde la primera carcasa de cada pieza posee una pestaña que se insertará en el interior de la otra.

A continuación se muestran los moldes de las distintas piezas para lograr que el lector tenga una idea general del modelado del molde.

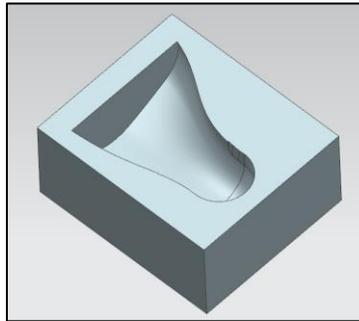


Figura 54: CAD del molde del Brazo Parte 1.

Para realizar las pestañas se proyecta mecanizar una lámina que posteriormente se pegará al molde para realizar el proceso de infusión. Esta lámina se fabrica aparte del molde debido a que en conjunto ésta genera zonas que no se pueden mecanizar fácilmente. A continuación, *Figura 55*, se muestra el ensamble explosionado de la lámina que genera la pestaña y el molde de una de las cavidades de la pieza del brazo.

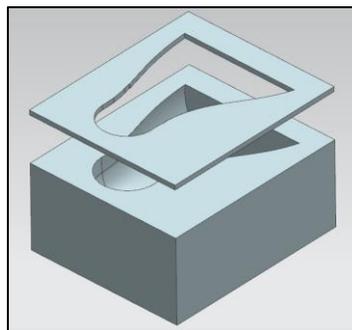


Figura 55: Conjunto de molde y lámina de generación de pestaña.

En las paredes interiores de la lámina se ha realizado un ángulo de desmoldeo o salida con el fin de que las distintas piezas ya moldeadas después puedan encajar con más facilidad. A continuación, *Figura 56*, se puede ver la sección del conjunto y una vista en detalle de la pestaña que se genera cuando se hace el conjunto de ambos bloques, *Figura 57*.

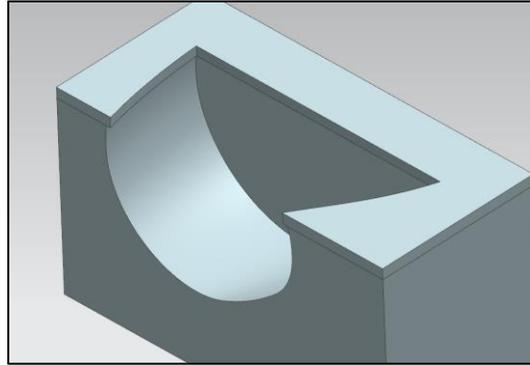


Figura 56: Sección del CAD del conjunto Molde-Lámina.

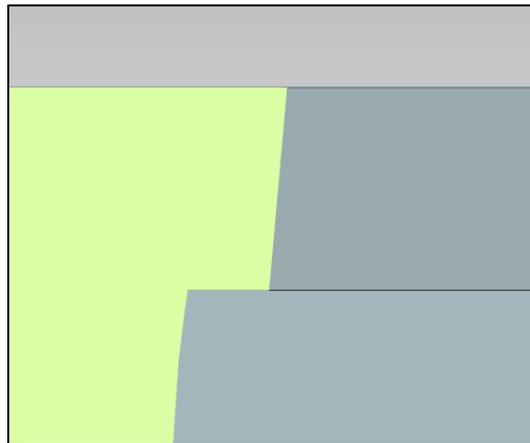


Figura 57: Vista detalle de la sección del conjunto Molde-Lámina.

Para realizar los moldes se han restado las superficies al bloque de MDF, material seleccionado para fabricar cada molde, se han eliminado los cantos vivos de los interiores de los modelos y se han modificado aquellas paredes donde se produce un ángulo de desmoldeo negativo debido a que si esto se da, se podría fabricar mediante infusión pero no se podría mecanizar el bloque sin tener que dividir el bloque en distintas partes.

Nota: En esta sección sólo se muestra, como ejemplo, una de las partes del modelo CAD del molde. Si se desea ver el modelado de los distintos moldes, ver en el Anexo A: Planos.

4.4. Mecanizado de los moldes

Una vez planteado el modelado CAD de los distintos moldes de las carcasas del brazo se realiza el mecanizado de los mismos. En esta sección se trata el software a utilizar y el material de los distintos moldes, se realizará una selección de herramientas y condiciones de corte y se generarán los programas de mecanizado de las distintas piezas, tanto de moldes como de láminas.

4.4.1. NX CAM Software

El software NX ofrece una completa variedad de soluciones de software para fabricación asistida por ordenador (CAM) para la programación de máquinas-herramientas, el postprocesado y la simulación de mecanizado. Las funciones avanzadas de cada módulo de NX CAM Software permiten maximizar la rentabilidad de la inversión en la tecnología de máquinas-herramientas más avanzada. El software NX CAM dispone de una amplia variedad de funciones, desde la sencilla programación de control numérico hasta el mecanizado de eje múltiple de alta velocidad, lo que permite realizar muchas tareas utilizando un único sistema. Gracias a la flexibilidad de NX CAM Software se pueden realizar fácilmente trabajos muy complejos.

Además, el software NX CAM incorpora un sistema integrado de postprocesado que permite generar fácilmente el código de control numérico requerido para prácticamente cualquier tipo de configuración de máquina-herramienta y control. Entre los múltiples niveles de validación del programa de control numérico se incluye la simulación basada en código G, que elimina la necesidad de contar con paquetes de simulación independientes. [15]

Fresado de 3 ejes en NX CAM

Entre las operaciones a utilizar en este proyecto se encuentran [15]:

Los métodos de desbaste optimizados de NX maximizan el índice de eliminación de material sin sobrecargar la herramienta. Incorpora:

- Múltiples intervalos de corte automatizados con profundidades de corte variables.
- Patrones de corte de HSM para incrementar el índice de extracción de material.
- La pieza de trabajo en proceso (IPW) realiza un seguimiento automático del material mecanizado y restante.

El fresado de restos, totalmente automatizado, elimina el material no cortado de operaciones anteriores y el corte en vacío. Con las funciones de fresado de restos se logra:

- Generar un eficiente desbaste de varias fases basado en la pieza de trabajo en proceso.
- Conseguir material uniforme para la siguiente operación de corte.

En las operaciones de acabado, el fresado de 3 ejes de NX CAM ofrece una amplia variedad de técnicas para un acabado superficial de excelente calidad. Los patrones de corte suaves y continuos, como el Z-level y offset, permiten obtener acabados de superficies homogéneos en las áreas inclinadas y poco inclinadas de la pieza.

Por último, NX puede analizar automáticamente el índice de extracción de material de la herramienta de corte y ajustar la velocidad de avance con el objeto de conseguir un índice de extracción uniforme. La velocidad de avance así optimizada puede mejorar la productividad de las tareas de mecanizado y prolongar la vida útil de la herramienta.

4.4.2. Material a utilizar en moldes (MDF)

El material a utilizar para la elaboración de los moldes para el laminado de las distintas carcasas del brazo es el tablero de fibra de madera de media densidad, MDF por sus siglas. Este tablero es un aglomerado elaborado con fibras de madera, que previamente se han desfibrado y eliminado la lignina que poseían. Son aglutinadas con resinas sintéticas mediante fuerte presión y calor, en seco, hasta alcanzar una densidad media.

Esta elección se debe a que éste presente una estructura uniforme y homogénea y una estructura fina que permite que sus caras y cantos tengan un buen acabado. Se trabaja prácticamente igual que la madera maciza, pudiéndose fresar y tallar en su totalidad. La estabilidad dimensional al contrario que la madera maciza, es óptima, pero su peso es muy elevado. [23]

4.4.3. Selección de herramientas y condiciones de corte

A la hora de mecanizar madera hay que tener un debido cuidado con las condiciones de corte y la selección de las herramientas. Para este tipo de mecanizados no es necesario utilizar herramientas robustas sino herramientas con ángulos de filo

muy bajos que permitan alcanzar grandes extracciones de viruta como las que se pueden ver en algunos mecanizados de materiales no férricos.

Las herramientas seleccionadas para realizar el mecanizado de los moldes de MDF se han obtenido de la empresa CMT Orange Tools. [24] Esta elección se debe a una serie de características que poseen estas fresas. Cada fresa se produce utilizando solamente metal duro de alta calidad. Éstas están perfectamente centradas y balanceadas donde la fresa se rectifica entre los centros para asegurar que sea siempre concéntrica en las fases de mecanizado. Por otra parte poseen un corte exacto para la madera debido al afilado de los cortes de metal duro con una precisión de $0.4\text{m/mm } \mu$. Por último, el metal duro realizado por esta empresa fabrica con polvos de microgramo que garantiza una duración superior de los cortes de la fresa e innumerables afilados. [24]

Las operaciones que se van a realizar en el mecanizado de los diferentes moldes del brazo se dividen en 3 etapas principales: desbaste, pre-acabado y acabado. Esto se plantea de forma general pero más adelante, durante la generación de trayectorias y hojas de ruta, se verá una variación de las operaciones durante el proceso de mecanizado, dependientes de la pieza a mecanizar. Las herramientas seleccionadas se muestran a continuación, *Figuras 58 y 59*.

Operaciones de desbaste:

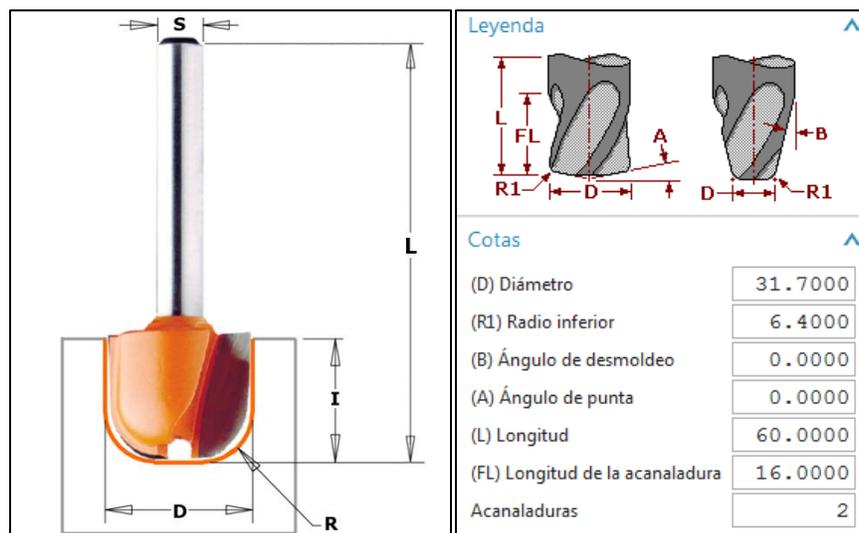


Figura 58: Fresa tórica de la empresa CMT en parte izq. [24] Configuración en NX en parte dcha.

- Forma fresa: Tórica de la serie 7/8/951
- Código: 951.502.11B
- Radio (R): 6,4 mm
- Diámetro (D): 31,7 mm
- Longitud de corte (I): 16mm
- Longitud total (L): 60 mm
- Diámetro mango (S): 12 mm
- Número de dientes: 2
- Material: Metal duro

Operaciones de pre-acabado:

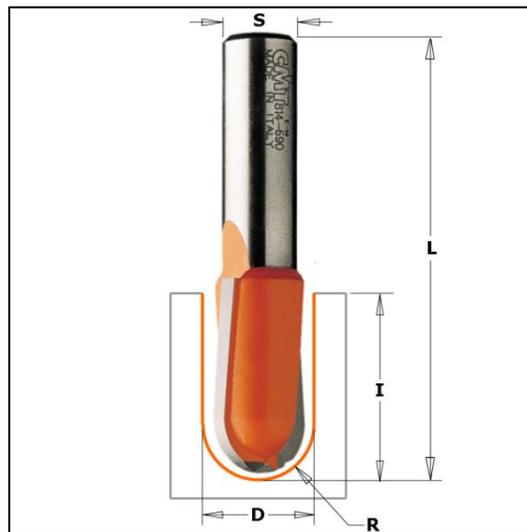


Figura 59: Fresa redonda de la empresa CMT. [24]

- Forma fresa: Redonda de la serie 7/8/914
- Código: 914.627.11
- Radio (R): 6,35 mm
- Diámetro (D): 12,7 mm
- Longitud de corte (I): 31,7 mm
- Longitud total (L): 73 mm
- Diámetro mango (S): 12 mm
- Número de dientes: 2
- Material: Metal duro

Operaciones de acabado:

- Forma fresa: Redonda de la serie 7/8/914
- Código: 714.032.11
- Radio (R): 1,6 mm
- Diámetro (D): 3,2 mm
- Longitud de corte (I): 9,5 mm
- Longitud total (L): 50 mm
- Diámetro mango (S): 6,35 mm
- Número de dientes: 2
- Material: Metal duro

En cuanto a las condiciones de corte que se van a aplicar se puede obtener en el catálogo de la marca un cuadro de velocidades que se indica a continuación:

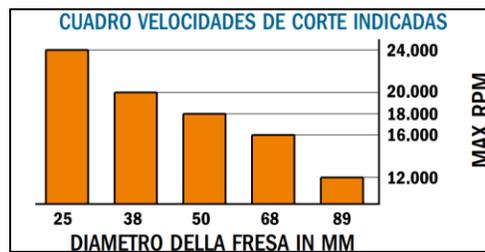


Figura 60: Cuadro de velocidades de corte de la casa CMT Orange Tools. [24]

De esta forma y aplicando en el configurador de avances y velocidades de NX se puede obtener un ajuste automático de las velocidades de superficie y la velocidad de avance. A continuación se muestra un ejemplo de la interface de NX, *Figura 61*, aplicando los parámetros de la herramienta tórica de diámetro (D) 31,7 mm.



Figura 61: Configuración automática de avances y velocidades en la interface de NX.

De igual forma se han configurado las otras dos herramientas a utilizar obteniendo los valores que se presentan a continuación:

- Velocidad de avance Redonda 12.7: 5756.640 mmpm
- Velocidad de avance Redonda 3.2: 5753.520 mmpm

Cabe mencionar que el avance por diente (0.12) que nos proporciona el fabricante ha sido obtenido por cálculos empíricos y de ninguna manera pueden entenderse sino como una mera sugerencia de punto de partida. De esta forma no es posible indicar velocidades de corte exactas debido a que existen muchas variedades de madera y hay en el mercado una gran diversidad de durezas de las mismas. Es por todo ello que la calidad del trabajo y el rendimiento dependen de numerosos factores interdependientes, como el material, espesor, amarre de la pieza, vibraciones, rigidez de la máquina, etc...

Porta-herramientas:

El porta-herramientas seleccionado no se puede definir con exactitud, debido a que no se sabe todavía en que máquina de control numérico se van a realizar las diferentes operaciones. Por ello se han seleccionado dos portaherramientas del fabricante ISCAR para poder completar la Hoja de Ruta. En un futuro estos datos pueden ser editados para realizar la selección correcta del portaherramientas. Los portaherramientas son los siguientes: Ref: DIN69871 40 EM12X 45 para las fresas de desbaste y pre-acabado y Ref: BT30 EM 6X 50 para la fresa redonda de acabado. [25]

Sistema de amarre:

Se ha seleccionado aquel en el que las dimensiones de amarre de sus pinzas son mayor o igual a las dos dimensiones (ancho y largo) de los bloques de madera a mecanizar. Se propone utilizar una mordaza mecánica rápida con referencia (TC/TC-XL) de la casa Autoblok [26] de tamaños de amarre de 200x300mm. Ver *Figura 62*.

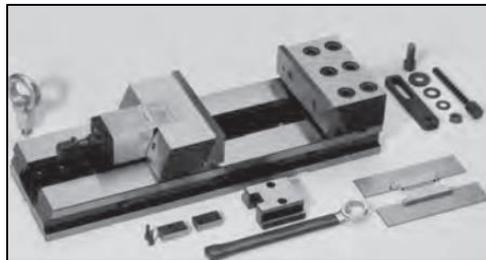


Figura 62: Mordaza mecánica rápida de Autoblok. [26]

4.4.4. Generación de trayectorias

Anteriormente se ha comentado el funcionamiento de las operaciones habituales para realizar los mecanizados (copiado) con el software NX de las superficies del molde. En este capítulo se desarrolla y explica el proceso seguido para realizar los mecanizados de los moldes en el software.

Se inicia el módulo de fabricación de NX y se importa la pieza que se desea mecanizar. Seguidamente se inserta una copia asociativa del modelo dentro del módulo de mecanizado con el fin de que, si hay algún problema durante la generación de trayectorias, la pieza original no se vea afectada. De esta forma si se modifica la pieza original, al estar enlazada en el mecanizado, sólo se tiene que actualizar el enlace para obtener la última versión de la pieza original.

Tras tener el modelo listo, se orienta el Sistema de Coordenadas de Trabajo (SCT). Una vez orientado y ubicado en la pieza según se especifica en el plano de las diferentes piezas, se enlaza el Sistema de Coordenadas de Máquina (MCS) con el SCT. Previamente ya se ha indicado en los planos de las diferentes piezas la posición donde se encuentra el MCS. De esta forma siempre que se modifique la posición de este segundo sistema, el sistema de mecanizado (Coordenadas de Máquina) permanecerá en la misma posición. En esta última ventana se especifica el plano de referencia, en todos los casos se sitúa a 50 mm de la superficie planeada. De esta forma es fácil para el operario ubicar el cero pieza en el bruto.

Una vez configurado el punto de referencia del que partirá la generación de trayectorias, se configura el modelo que se pretende alcanzar (Workpiece) y el bruto del que se parte para mecanizar. En esta ventana, *Figura 63*, se especifica la pieza, el bruto y la verificación. Ésta última no es necesario especificarla debido a que el amarre de la pieza será desde la base y, como no se pretende realizar un contorneado de la pieza, la herramienta nunca llegará a tocar la brida que sujeta a ésta.

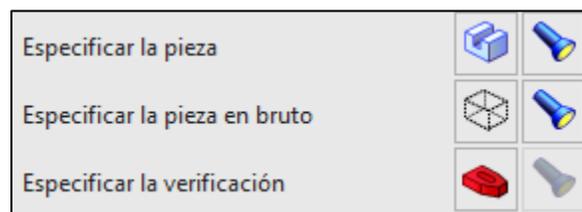


Figura 63: Interface de configuración de pieza de trabajo en NX.

La pieza bruto se genera mediante un bloque limitante del modelo. La demasía de material aplicado en este bloque es 0, debido a que los mecanizados parten desde un planeado de la pieza en su parte superior. Este planeado no se tiene en cuenta en el

CAM porque el operario encargado de realizar el copiado puede hacer la operación de una forma sencilla a pie de máquina. A continuación se puede ver como ejemplo, de los datos mencionados con anterioridad, el Molde 1 del brazo superior. En la imagen, *Figura 64*, se puede observar tanto el plano de referencia, el origen de mecanizado, la orientación del mismo y la configuración del bloque limitante.

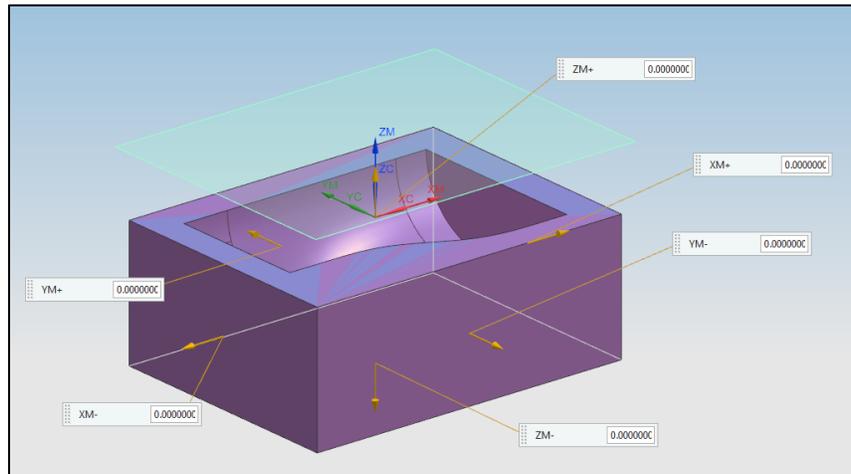


Figura 64: Configuración del modelo previo al CAM en el software NX.

Una vez todo configurado, se pasa a la generación de trayectorias y para ello se inicia una nueva operación. Las operaciones se han configurado y estructurado por carpetas, es decir, cada carpeta contiene las diferentes operaciones a realizar con la misma herramienta, *Figura 65*. Esta organización permite varias mejoras frente a la generación de trayectorias sueltas: Permite numerar las operaciones y otorga una organización visual del proceso de fabricación. Además permite post-procesar las trayectorias por carpetas, permitiendo obtener el código G de todas las operaciones dentro de la misma. Y, por último, permite la visualización de las trayectorias en conjunto.

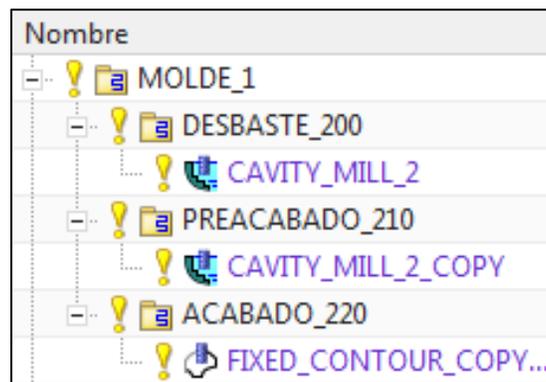


Figura 65: Ejemplo de organización de operaciones de mecanizado.

Las operaciones planteadas, para la mayoría de los moldes y separadores, son: un desbaste, un pre-acabado y, por último, un acabado. Para la primera operación, el desbaste, se crea la operación de fresado de cavidades. Esta operación desbasta una forma contorneada al quitar el material en los niveles de corte por planos normales al eje de la herramienta.

Como ejemplo de las trayectorias generadas en un desbaste se muestra el molde 1 del brazo. En la siguiente imagen, *Figura 66*, se pueden apreciar las trayectorias en color azul (rápidas G00 en punteado y velocidades de corte G01 en continuo). Además también se pueden ver en amarillo las entradas y en verde las salidas de la herramienta respecto de la pieza.

En la entrada se ha elegido una estrategia de método de entrada en rampa para que la herramienta tórica pueda comer sin problemas al empezar a mecanizar el material. Además se le ha bajado la velocidad de avance de la entrada para realizar un mecanizado más suave.

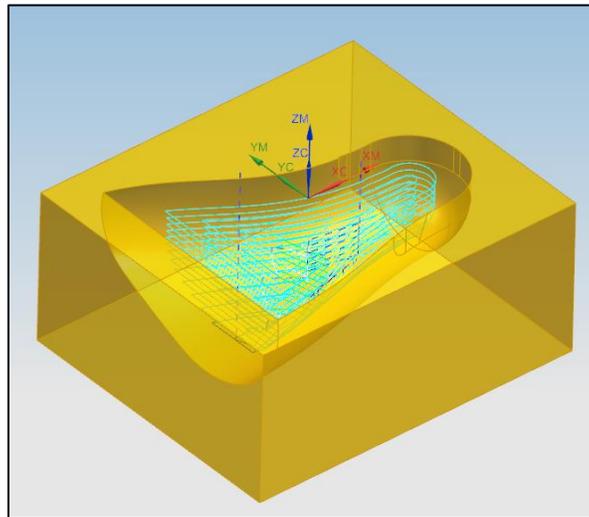


Figura 66: Generación de trayectorias del desbaste.

Cabe destacar que todas las trayectorias, junto a todos los datos de interés para realizar el copiado de las piezas, se pueden obtener de las Hojas de Ruta (HdR) generadas y adjuntas en los anexos de este proyecto.

A continuación se puede ver el resultado del desbaste comentado anteriormente, *Figura 67*. Se ha aplicado una profundidad de corte de 4 mm y un paso del 50% del plano de la herramienta dejando un offset superficial de 2 mm.

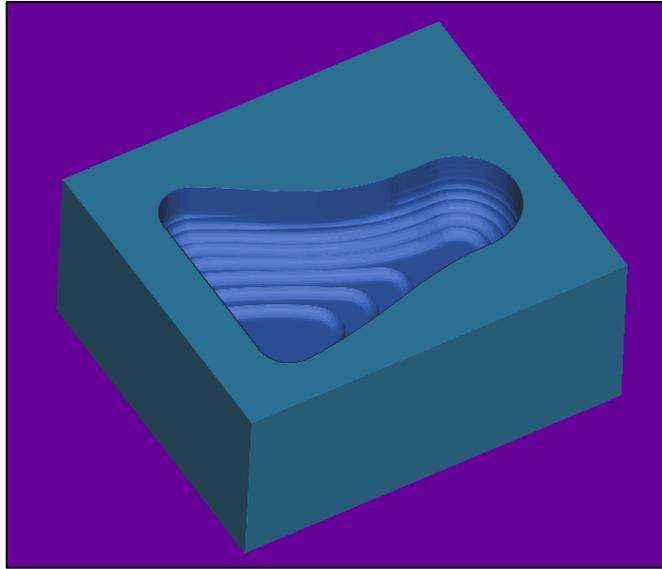


Figura 67: Resultado del desbaste en el molde 1 de la pieza brazo.

Desbastada la pieza se procede al pre-acabado del molde. Para ello se ejecuta la misma operación de desbaste pero en este caso se modifica la “Contención”. Este parámetro permite aplicar una herramienta de referencia al mecanizado y hacer que la nueva herramienta sólo mecanice en aquellas zonas que no ha podido entrar la herramienta previa. De esta forma se eliminan las crestas y las esquinas de la operación de desbaste. El resultado del ejemplo se muestra a continuación, *Figura 68*, los distintos colores representan las distintas herramientas utilizadas en el proceso.

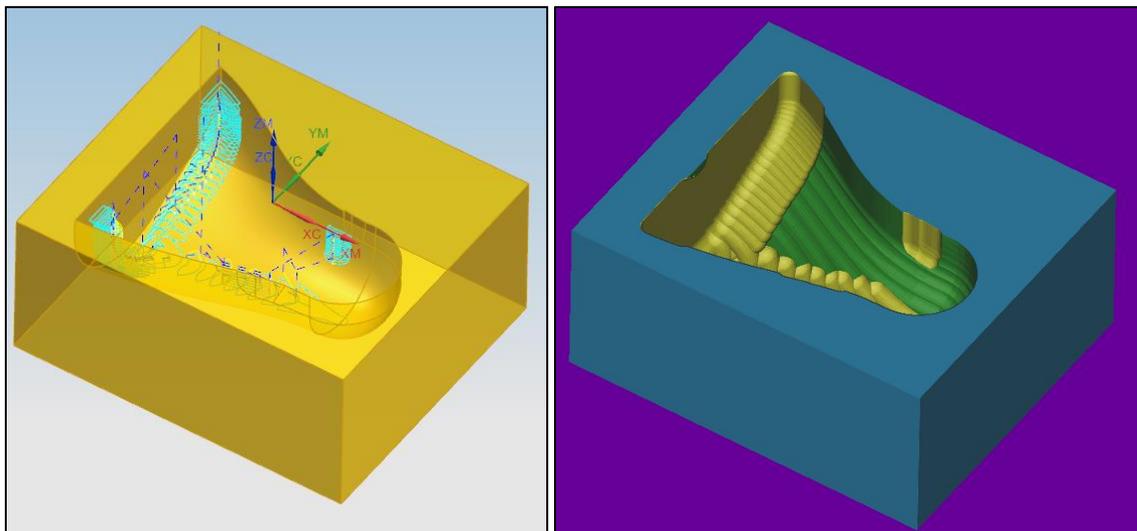


Figura 68: Resultado del pre-acabado en el molde 1 de la pieza brazo.

En la imagen anterior las crestas del mecanizado aparentan ser mayores de lo que en realidad son. El offset aplicado al pre-acabado es de 0.3 mm y, siendo el material que es, la herramienta de acabado no tendrá problema al realizar el copiado final de la superficie sin necesidad de un copiado previo con un paso mayor en la operación de pre-acabado.

Por último, se realiza el acabado superficial aplicando un paso de 0.3 mm con movimientos lineales con una proyección sobre la superficie de 45° , un patrón de corte en zig-zag y utilizando la operación de “Contorno fijo: Fresado de superficies”. Esta operación permite un copiado de la superficie básico con eje fijo. Esta elección se debe a que el acabado en zig-zag permite obtener buenos resultados con menores tiempos de mecanizado respecto a otros métodos de acabado como podría ser el mecanizado a zetas constantes. El resultado es el siguiente, *Figura 69*.

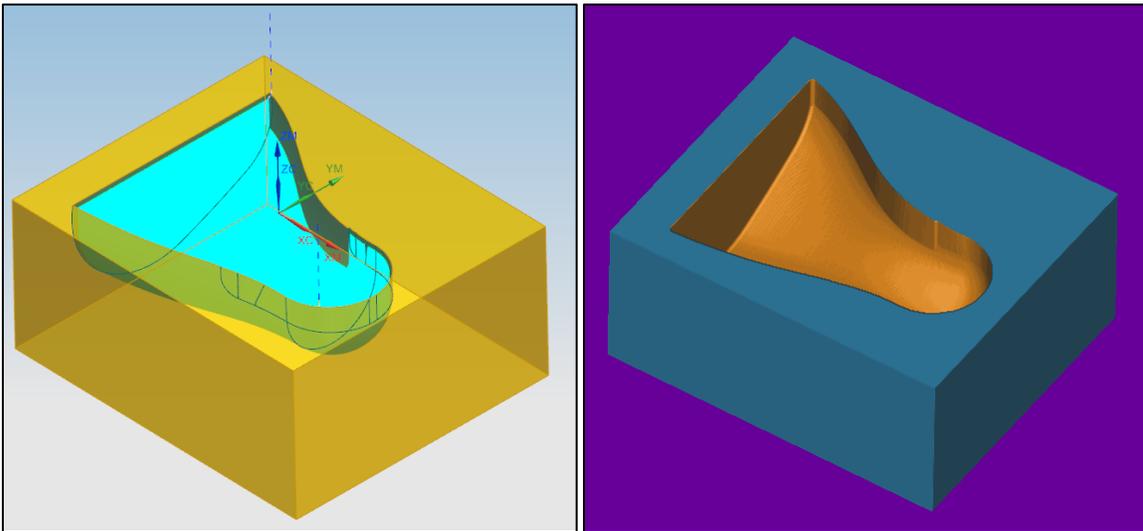


Figura 69: Resultado del acabado en el molde 1 de la pieza brazo.

Se puede observar en la imagen anterior una única entrada y una única salida debido al patrón de corte utilizado.

En cuanto a las planchas utilizadas para formar la solapa de unión entre las piezas, el mecanizado es mucho más simple. Sólo se realiza un contorneado a zetas constantes para conseguir la conicidad que contienen las paredes interiores de los modelos. Se ha aplicado un paso de 0.3 mm entre pasadas para que la pared no quede escalonada con las pasadas. Como ejemplo se muestra en la *Figura 70*, el separador de la tapa del brazo superior:

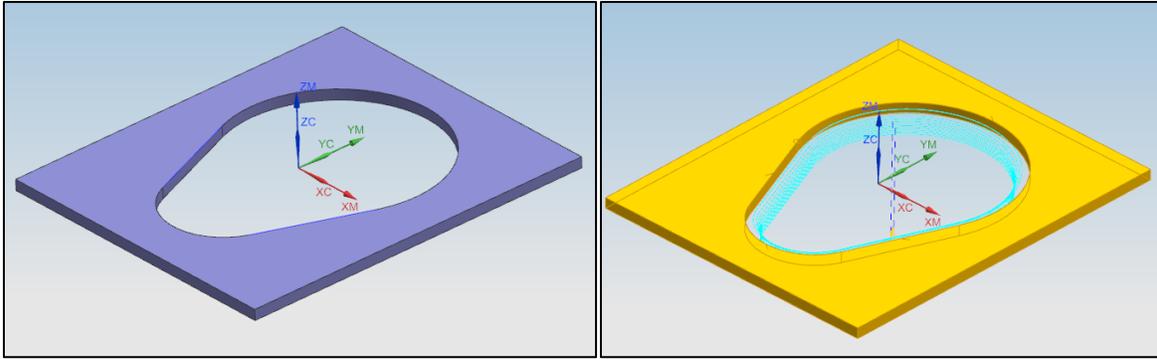


Figura 70: Resultado del contorneado interior en el separador de la pieza tapa hombro.

Todos los moldes tienen su parte 1 (superior) y su parte 2 (inferior). En los mecanizados de moldes simétricos se ha realizado una de las dos partes y, posteriormente, se ha hecho un espejo en el plano central sobre las trayectorias generadas en cada operación. Con esto se simplifica el proceso, no siendo necesario realizar el mismo proceso para la otra mitad del molde. Además, con este método aseguramos que las dos mitades sean idénticas.

4.4.5. Generación de hojas de ruta

Con el fin de poder recoger toda la información que no se detalla en la memoria y, además, poder aportar al operario la información necesaria para realizar los mecanizados de los moldes, en caso de que se fabricasen, se generan una serie de Hojas de Ruta (HdR) o pautas de fabricación.

En estas hojas se especifica: El número de operación a seguir para la elaboración de la pieza, el número de programa post-procesado junto a su definición, una imagen de las trayectorias, una segunda imagen del resultado tras acabar el programa, el amarre, herramienta y portaherramientas. Además se especifican las condiciones de corte, la demasía "offset", la profundidad de corte aplicado y su pasada. En la sección de notas se especifican algunas aclaraciones en referencia a los diferentes documentos que contiene este trabajo y sobre el mecanizado. Por último en la parte inferior de la tabla aparece una sección que determina, en minutos, el tiempo dedicado del programa para mecanizar esa operación en la pieza. En la *Figura 71* se muestra un ejemplo de tabla de HdR.

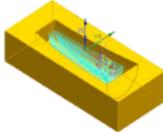
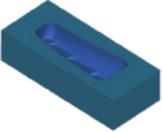
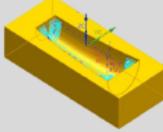
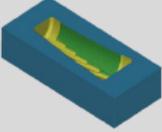
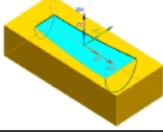
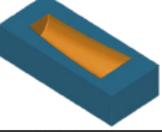
Fabricación: Mecanizado y Control												
Pieza: Antebrazo		Nº pieza: Molde 1	Plano: ANTEBRAZO: MOLDE 1	Operario:								Hoja: 1/14
Operación	Nº Programa + Definición	Trayectorias	Resultado	Amarre	Hta. / Plaquita	Porta-Hta	V _c (mmpm)	N (rpm)	Offset (mm)	Prof. de Corte (mm)	Pasada (mm)	Instrumento de control
1	000 Desbaste			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	TORICA Ø31.7 R6.4	DIN69871 40 EM12X 45	4800	20000	2	4	50% Plano Hta.	
2	001 Pre-acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø12.7 R6.35	DIN69871 40 EM12X 45	5756	24000	0.3	2	50% Plano Hta.	
3	002 Acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø3.2 RL.6	BT30 EM 6X 50	5753	24000	0	-	0.3	
<p>Nota 1: Las referencias de los diferentes componentes se puede obtener en el informe del trabajo en el Documento I: Memoria. Nota 2: El Sistema de Coordenadas Máquina (SMC) queda especificado en el plano de la pieza a mecanizar. Nota 3: Los costes no quedan reflejados en la Hoja de Ruta, éstos se pueden ver en el informe del trabajo Documento III: Presupuesto. Nota 4: Los mecanizados con la función espejo no quedan reflejados en las hojas de ruta para evitar un volumen excesivo en la memoria pero si están realizados en el CAM y se han post-procesado. Nota 5: Si se desea realizar el mecanizado de la pieza opuesta del molde, se puede realizar el mecanizado incorporando en el código G la función espejo.</p>									<p>Tiempos:</p>			
									OP.1	2:02		
									OP.2	2:15		
									OP.3	12:21		

Figura 71: Ejemplo de Hoja de Ruta aplicada.

5. CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

El bajo presupuesto no ha impedido diseñar y fabricar el primer prototipo, pudiendo decir que se ha cumplido el objetivo que se pretendía con esta primera versión. Ya se tiene una base con la se puede experimentar en los diferentes equipos, pues existe una interacción entre los trabajos de cada uno de éstos.

Todavía no se han llevado a cabo ningún tipo de experimentación o prueba que permita continuar rediseñando el brazo para hacer el prototipo final pero esto no ha impedido el planteamiento teórico del posible desarrollo del futuro prototipo.

Además, como parte de este trabajo, se ha realizado un estudio del estado actual de la robótica aplicada a la asistencia humana y se han estudiado diferentes procesos como puede ser la fabricación aditiva o mediante materiales compuestos. Todo esto ha permitido diseñar la metodología de trabajo para el prototipo final basándose en el primero, con lo que se ha adelantado el futuro proceso de investigación y desarrollo.

El presente trabajo permite abrir nuevas posibilidades para continuar con el desarrollo de este proyecto. Llegado a este punto, se sabe que los diferentes componentes del proyecto común tienen un gran margen de mejora.

Partiendo de la labor realizada en este Trabajo Final de Máster se espera resolver, en futuras investigaciones, las diferentes cuestiones pendientes de solucionar. Entre estas se proponen las siguientes:

- Se pueden añadir o modificar los grados de libertad aplicados que mejoren las funciones del brazo.
- La precisión es algo importante y con los datos actuales, previos al movimiento del brazo, se prevé que este factor debe de ser revisado.
- El peso que es capaz de manejar el brazo limita mucho al usuario. Con mejores componentes se puede aumentar considerablemente esta carga.

- El cambio de componentes permite, también, una mejora en el diseño visual. Además, sería recomendable mejorar este factor evitando las uniones o parches entre las piezas a cara vista.
- La ergonomía es un factor fundamental en el diseño del brazo y los componentes deben amoldarse a éste y no al revés.

Se espera que este trabajo sirva como base en el diseño y la fabricación de un prototipo con mejores prestaciones, que recoja todas las mejoras mencionadas y permita, en un futuro, ofrecer un producto beneficioso para el ser humano.

Documento II

**PLIEGO DE
CONDICIONES**

1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se describirán los recursos materiales y humanos necesarios para la realización del trabajo y su satisfactorio desarrollo. Se dividirán los recursos materiales utilizados en el presente proyecto en herramientas de hardware y software.

El hardware deberá ser sofisticado para soportar cómodamente los procesos de cálculo que precisa el trabajo teniendo en cuenta también la larga duración de los mismos. Estos procesos pueden ser relativamente largos por lo que los medios físicos informáticos tendrán que soportar con garantías tales tareas requeridas.

En cuanto al software utilizado ya ha sido descrito con anterioridad, se trata de un programa muy común dentro del ámbito de estudio ingenieril: SIEMENS NX®.

Para la impresión en 3D también se ha utilizado el software XYZ Ware y como impresora la Da Vinci 1.0

2. CONDICIONES GENERALES

2.1. Descripción General

Cualquier puesto de trabajo en el que habitualmente, y durante una parte relevante del trabajo, se utilice un equipo con pantalla de visualización (ya sea un ordenador o vigilancia con pantallas) está sujeto a unos riesgos bien definidos y se deben prevenir. El trabajo con pantallas de visualización de datos es, quizás, el ejemplo más característico de cómo una nueva tecnología puede suponer la introducción de unos nuevos riesgos: problemas en ojos y visión, posturales y lesiones por movimientos repetitivos y estrés.

Para mitigar estos efectos, el *Real Decreto 488/1997, de 14 de abril*¹ establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de equipos que incluyan pantallas de visualización, donde se aplican las disposiciones de la *Ley 31/1995, de 8 de noviembre*, de Prevención de Riesgos Laborales.

Se debe prestar atención principalmente a cuatro variables para prever el tipo de riesgos con los que el trabajador puede encontrarse en la realización del proyecto:

- Tiempo de permanencia requerida ante la pantalla, que puede ser de manera continua o discontinua.
- Tiempo de trabajo con la pantalla de visualización.
- Exigencia y grado de complejidad de la tarea que el operario tiene que realizar ante la pantalla de visualización.
- Necesidad de obtener información de manera rápida y precisa.

Los factores generales a tener en cuenta para la prevención de riesgos laborales son:

¹ Ministerio de trabajo y Asuntos Sociales. Sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización. *Boletín oficial del Estado (BOE)*, I. Disposiciones Generales: 12928-12932, Abril 1997.

- Seguridad: debido a contactos eléctricos, caída o golpes en el puesto de trabajo.
- Higiene industrial: iluminación, ruido y condiciones termo-higiénicas, transmisiones de virus en el ambiente de trabajo o bacterias nocivas a través del contacto en el teclado que podría acumular una gran cantidad de éstas.
- Ergonomía: fatiga visual, picores, percepción borrosa, fatiga física y mental (ansiedad, irritabilidad o insomnio).

2.2. Real Decreto 488/1977, de 14 de abril

2.2.1. Artículo 1. Objeto

1. El presente Real Decreto establece las disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores de equipos que incluyan pantallas de visualización.
2. Las disposiciones de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, se aplicarán plenamente al conjunto del ámbito contemplado en el apartado anterior.
3. Quedan excluidos del ámbito de aplicación de este Real Decreto:
 - Los puestos de conducción de vehículos o máquinas.
 - Los sistemas informáticos embarcados en un medio transporte.
 - Los sistemas informáticos destinados prioritariamente a ser utilizados por el público.
 - Los sistemas llamados portátiles, siempre y cuando no se utilicen de modo continuado en un puesto de trabajo.
 - Las calculadoras, cajas registradoras y todos aquellos equipos que tengan un pequeño dispositivo de visualización de datos o medidas necesario para la utilización directa de dichos equipos.
 - Las máquinas de escribir de diseño clásico, conocidas como máquinas de ventanilla.

2.2.2. Artículo 2. Definiciones

A efectos de este Real Decreto se entenderá por:

1. Pantalla de visualización: una pantalla alfanumérica o gráfica, independientemente del método de representación visual utilizado.

2. Puesto de trabajo: el constituido por un equipo con pantalla de visualización provista, en su caso, de un teclado o dispositivo de adquisición de datos, de un programa para la interconexión persona/máquina, de accesorios ofimáticos y de un asiento y mesa o superficie de trabajo, así como el entorno laboral inmediato.
3. Trabajador: cualquier trabajador que habitualmente y durante una parte relevante de su trabajo normal utilice un equipo con pantalla de visualización.

2.2.3. Artículo 3. Obligaciones del empresario

1. El empresario adoptará las medidas necesarias para que la utilización por los trabajadores de equipos con pantallas de visualización no suponga riesgos para su seguridad o salud o, si ello no fuera posible, para que tales riesgos se reduzcan al mínimo. En cualquier caso, los puestos de trabajo a que se refiere el presente Real Decreto deberán cumplir las disposiciones mínimas establecidas en el anexo del mismo.
2. A efectos de lo dispuesto en el primer párrafo del apartado anterior, el empresario deberá evaluar los riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores, teniendo en cuenta en particular los posibles riesgos para la vista y los problemas físicos y de carga mental, así como el posible efecto añadido o combinado de los mismos.

La evaluación se realizará tomando en consideración las características propias del puesto de trabajo y las exigencias de la tarea y entre éstas, especialmente, las siguientes:

- El tiempo promedio de utilización diaria del equipo.
 - El tiempo máximo de atención continua a la pantalla requerido por la tarea habitual.
 - El grado de atención que exija dicha tarea.
3. Si la evaluación pone de manifiesto que la utilización por los trabajadores de equipos con pantallas de visualización supone o puede suponer un riesgo para su seguridad o salud, el empresario adoptará las medidas técnicas u organizativas necesarias para eliminar o reducir el riesgo al mínimo posible. En particular, deberá reducir la duración máximas del trabajo continuado en pantalla, organizando la actividad diaria de forma que esta tarea se alterne con

otras o estableciendo las pautas necesarias cuando la alternancia de tareas no sea posible o no baste para disminuir el riesgo suficientemente.

4. En los convenios colectivos podrá acordarse la periodicidad, duración y condiciones de organización de los cambios de actividad y pausas a que se refiere el apartado anterior.

2.2.4. Artículo 4. Vigilancia de la salud

1. El empresario garantizará el derecho de los trabajadores a una vigilancia adecuada de su salud, teniendo en cuenta en particular los riesgos para la vista y los problemas físicos y de carga mental, el posible efecto añadido o combinado de los mismos, y la eventual patología acompañante. Tal vigilancia será realizada por personal sanitario competente y según determinen las autoridades sanitarias en las pautas y protocolos que se elaboren, de conformidad con lo dispuesto en el apartado 3 del artículo 37 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el reglamento de los servicios de prevención. Dicha vigilancia deberá ofrecerse a los trabajadores en las siguientes ocasiones:
 - Antes de comenzar a trabajar con una pantalla de visualización.
 - Posteriormente, con una periodicidad ajustada al nivel de riesgo a juicio del médico responsable.
 - Cuando aparezcan trastornos que pudieran deberse a este tipo de trabajo.
2. Cuando los resultados de la vigilancia de la salud a que se refiere el apartado 1 lo hiciese necesario, los trabajadores tendrán derecho a un reconocimiento oftalmológico.
3. El empresario proporcionará gratuitamente a los trabajadores dispositivos correctores especiales para la protección de la vista adecuados al trabajo con el equipo de que se trate, si los resultados de la vigilancia de la salud a que se refieren los apartados anteriores demuestran su necesidad y no pueden utilizarse dispositivos correctores normales.

2.2.5. Artículo 5. Obligaciones en materia de información y formación

1. De conformidad con los artículos 18 y 19 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, el empresario deberá garantizar que los trabajadores y los representantes de los trabajadores reciban una formación e información adecuadas sobre los riesgos derivados de la utilización de los equipos que incluyan pantallas de visualización, así como sobre las medidas de prevención y protección que hayan de adoptarse en aplicación del presente Real Decreto.
2. El empresario deberá informar a los trabajadores sobre todos los aspectos relacionados con la seguridad y la salud en su puesto de trabajo y sobre las medidas llevadas a cabo de conformidad con lo dispuesto en los artículos 3 y 4 de este Real Decreto.
3. El empresario deberá garantizar que cada trabajador reciba una formación adecuada sobre las modalidades de uso de los equipos con pantallas de visualización, antes de comenzar este tipo de trabajo y cada vez que la organización del puesto de trabajo se modifique de manera apreciable.

2.2.6. Artículo 6. Consulta y participación de los trabajadores

La consulta y participación de los trabajadores o sus representantes sobre las cuestiones a que se refiere este Real Decreto se realizarán de conformidad con lo dispuesto en el apartado 2 del artículo 18 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

2.2.7. Anexo. Disposiciones mínimas

Por todo lo dispuesto anteriormente, se va a definir el puesto de trabajo específico para la prevención de riesgos laborales y seguridad.

1. Equipo

- Observación general. La utilización en sí misma del equipo no debe ser una fuente de riesgo para los trabajadores.
- Pantalla. Los caracteres de la pantalla deberán estar bien definidos y configurados de forma clara y tener una dimensión suficiente, disponiendo

de un espacio adecuado entre los caracteres y los renglones. La imagen de la pantalla deberá ser estable, sin fenómenos de destellos, centelleos u otras formas de inestabilidad. El usuario de terminales con pantalla deberá poder ajustar fácilmente la luminosidad y el contraste entre los caracteres y el fondo de la pantalla y adaptarlos fácilmente a las condiciones del entorno. La pantalla deberá ser orientable e inclinable a voluntad, con facilidad para adaptarse a las necesidades del usuario. Podrá utilizarse en pedestal independiente o una mesa regulable para la pantalla. La pantalla no deberá tener reflejos ni reverberaciones que puedan molestar al usuario.

- Teclado. El teclado deberá ser inclinable e independiente de la pantalla para permitir que el trabajador adopte una postura cómoda que no provoque cansancio en los brazos o las manos. Tendrá que haber espacio suficiente delante del teclado para que el usuario pueda apoyar los brazos y las manos. La superficie del teclado deberá ser mate para evitar los reflejos. La disposición del teclado y las características de las teclas deberán tender a facilitar su utilización. Los símbolos de las teclas deberán resaltar suficientemente y ser legibles desde la posición normal de trabajo.
- Mesa o superficie de trabajo. La mesa o superficie de trabajo deberán ser poco reflectantes, tener dimensiones suficientes y permitir una colocación flexible de la pantalla, del teclado, de los documentos y del material accesorio. El soporte de los documentos deberá ser estable y regulable y estará colocado de tal modo que se reduzcan al mínimo los movimientos incómodos de la cabeza y los ojos. El espacio deberá ser suficiente para permitir a los trabajadores una posición cómoda.
- Asiento de trabajo. El asiento de trabajo deberá ser estable, proporcionando al usuario libertad de movimiento y procurándole una postura confortable. La altura del mismo deberá ser regulable. El respaldo deberá ser reclinable y su altura ajustable. Se pondrá un reposapiés a disposición de quienes lo deseen.

2. Entorno

- Espacio. El puesto de trabajo deberá tener una dimensión suficiente y estar acondicionado de tal manera que haya espacio para permitir los cambios de postura y movimientos de trabajo.
 - Iluminación. La iluminación general y la iluminación especial (lámparas de trabajo), cuando sea necesaria, deberán garantizar unos niveles adecuados de iluminación y unas relaciones adecuadas de luminancias entre la pantalla y su entorno, habida cuenta del carácter del trabajo, de las necesidades visuales del usuario y del tipo de pantalla utilizado. El acondicionamiento del lugar de trabajo y del puesto de trabajo, así como la situación y las características técnicas de las fuentes de luz artificial, deberán coordinarse de tal manera que se eviten los deslumbramientos y los reflejos molestos en la pantalla u otras partes del equipo.
 - Reflejos y deslumbramientos. Los puestos de trabajo deberán instalarse de tal forma que las fuentes de luz, tales como ventanas y otras aberturas, los tabiques transparentes o translúcidos y los equipos o tabiques de color claro no provoquen deslumbramiento directo ni produzcan reflejos molestos en la pantalla. las ventanas deberán ir equipadas con un dispositivo de cobertura adecuado y regulable para atenuar la luz del día que ilumine el puesto de trabajo.
 - Ruido. El ruido producido por los equipos instalados en el puesto de trabajo deberá tenerse en cuenta al diseñar el mismo, en especial para que no se perturbe la atención ni la palabra.
 - Calor. Los equipos instalados en el puesto de trabajo no deberán producir un calor adicional que pueda ocasionar molestias a los trabajadores.
 - Emisiones. Toda radiación, excepción hecha de la parte visible del espectro electromagnético, deberá reducirse a niveles insignificantes desde el punto de vista de la protección de la seguridad y de la salud de los trabajadores.
 - Humedad. Deberá crearse y mantenerse una humedad aceptable.
3. Interconexión ordenador/persona. Para la elaboración, la elección, la compra y la modificación de programas, así como para la definición de las tareas que

requieran pantallas de visualización, el empresario tendrá en cuenta los siguientes factores:

- El programa habrá de estar adaptado a la tarea que deba realizarse.
- El programa habrá de ser fácil de utilizar o deberá, en su caso, poder adaptarse al nivel de conocimientos y de experiencia del usuario; no deberá utilizarse ningún dispositivo cuantitativo de control sin que los trabajadores hayan sido informados y previa consulta con sus representantes.
- Los sistemas deberán proporcionar a los trabajadores indicaciones sobre su desarrollo.
- Los sistemas deberán mostrar la información en un formato y a un ritmo adaptado a los operadores.
- Los principios de ergonomía deberán aplicarse en particular al tratamiento de la información por parte de la persona.

3. CONDICIONES DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Al ser un trabajo principalmente se software de simulación, no requiere de grandes dimensiones espaciales o equipos físicos complejos. Básicamente se necesita hardware, software (y su documentación, licencias, manuales), conexión a internet, conocimientos previos de índole ingenieril, en concreto de materiales y diseño asistido por computador, cierta experiencia con equipos informáticos, acceso a material adicional relacionado con el tema para la mejor comprensión (tesis doctorales, proyectos previos, estudios similares etc.) y personal cualificado para la supervisión del mismo.

A continuación se especifican en detalle los requisitos establecidos.

3.1. Hardware

El hardware deberá ser sofisticado para soportar cómodamente los procesos de cálculo que requiere este tipo de proyectos teniendo en cuenta los largos tiempos de simulación que son habituales. Debe garantizar la relativamente rápida convergencia de los casos lanzados en el mismo para poder tener holgura y hacer las pruebas necesarias para la correcta implementación del trabajo. Debido a la complejidad del trabajo son necesarias gran cantidad de simulaciones, precisión de los resultados y aplicabilidad. Se ha utilizado un ordenador de sobremesa de 4 núcleos y una GPU de 3GB de memoria GDDR5 con una interfaz de memoria de 192 bits.

3.2. Software

Los programas utilizados para la elaboración del trabajo se detallan a continuación:

- Microsoft Office®
- SIEMENS NX®
- Google Drive®
- PDF Reader®
- Dropbox®
- Repetier-Host®
- XYZware®

3.2.1. Conexión a internet

Mantener una conexión estable a internet es crucial para la búsqueda de bibliografía en internet, descarga de artículos, foros de ayuda y comunicación vía correo electrónico con el tutor.

3.2.2. Conocimientos previos

Se necesita cierta información enfocada a la ingeniería: ciencias de los materiales, elasticidad y resistencia de materiales, mecánica de fluidos, diseño asistido por ordenador, fabricación asistida por computador, etc. En este caso, una formación relacionada tanto con el diseño como con la fabricación asistida por computador es deseable: conceptos generales, particularidades, aplicaciones reales, etc.

Es recomendable, además, tener predisposición, cierta autonomía, capacidad analítica y de síntesis, paciencia y perseverancia.

3.2.3. Conocimientos informáticos

En el ámbito de la simulación y el cálculo de trayectorias es necesario estar familiarizado con ciertas herramientas que ayudan a cumplir los objetivos y a solventar problemas de forma rápida y eficiente. El total desconocido de los programas informáticos anteriormente mencionados puede causar un desarrollo lento y tedioso del proyecto dado el nivel de dificultad que entraña. Se recomienda un aprendizaje concurrente y un proceder multitarea para avanzar sin interrupciones.

3.2.4. Material adicional

Se necesita acceso a documentos específicos del tema a tratar debido a la complejidad del mismo. Se recomienda que el usuario tenga conocimientos de otros idiomas, principalmente inglés, ya que gran parte de este material se encuentra escrito en esta lengua. Manejar la bibliografía con cierta soltura será un factor clave para el avance del proyecto.

3.2.5. Supervisión

El supervisor encargado de la dirección del proyecto deberá tener experiencia demostrada y contrastada en la ejecución de proyectos de estudio CAD-CAM-CAE. Además, un porcentaje importante, al menos un 90% de dichos proyectos, deberán haber sido llevados de forma satisfactoria tanto en lo que se refiere a plazos, presupuesto, cumplimiento de especificaciones y aceptación por parte del cliente.

3.3. Condiciones de garantía y mantenimiento

La empresa contratada para la realización del proyecto garantiza durante el periodo de dos años el producto final, de tal forma que se compromete a solventar cualquier problema surgido en el uso cotidiano de éste, así como ofrecer un servicio de ayuda sobre el manejo del mismo. El plazo de garantía comenzará a ser efectivo desde el momento de la recepción provisional del sistema. La garantía quedará invalidada en el caso que no se hayan seguido las pautas de uso que se indica en las instrucciones del mismo, así también como las condiciones que se deben de cumplir para que la garantía sea válida.

En el caso del presente producto no hará falta un mantenimiento específico para su uso. Sólo con un uso adecuado, evitando los riesgos explicados en el tutorial de la garantía, se solventan la mayoría de los problemas.

3.4. Reclamaciones

Únicamente se atenderán las reclamaciones formuladas por escrito en un plazo de quince días hábiles a partir del momento de la entrega del trabajo al cliente. El plazo anteriormente citado se prolongará por espacio de un mes en el caso de que la entrega se realice fuera de España. En el caso de que alguna de las mercancías

entregadas resulte defectuosa el vendedor únicamente se compromete a la sustitución de las mismas declinando así a cualquier otra responsabilidad.

Ante envíos equivocados o la ausencia de los mismos, el vendedor igualmente se compromete únicamente al suministro de la mercancía estipulada en las condiciones establecidas por el cliente, siendo ajeno a cualquier responsabilidad.

3.5. Condiciones legales y contractuales

En el hipotético caso de que, durante la ejecución del proyecto, el comprador quisiera extender el contrato a otros suministros, éstos serían objeto de nuevo presupuesto. En el caso de modificaciones, variaciones u otras causas que implicasen la suspensión temporal del suministro o retraso en el periodo de entrega, se podrá solicitar una prórroga equivalente para terminar la ejecución contractual, a condición de que adelante tal solicitud antes de que el término haya caducado. Los aumentos o disminuciones que en el suministro tuvieran que verificarse serían valorados sobre la base de los precios vigentes.

3.6. Revisión de los precios

Los precios que se muestran en el presupuesto son invariables, cualesquiera que sean las variaciones del coste de los materiales o mano de obra.

3.7. Fianza

El contratista se compromete a obtener aval bancario a favor del comprador, en concepto de fianza por el 10% del valor total del contrato, para responder del cumplimiento de todas y cada una de las obligaciones prevista en el mismo. Dicho aval deberá mantenerse desde el inicio del trabajo hasta el término del periodo de garantía. La fianza será devuelta al contratista una vez firmada la recepción definitiva de la aplicación.

3.8. Aceptación

La aceptación, referida a los puntos objeto de la presente compraventa, será cumplida mediante el uso de procedimientos de prueba, o programas establecidos por el vendedor. Cuando la obligación de instalación corresponda al vendedor, como es el caso, por estar incluido este servicio en el precio de los productos, la aceptación se producirá en el lugar de la instalación al demostrar el vendedor que, tanto los procedimientos de diagnóstico como los de prueba funcionan correctamente o que, resulta probado que el producto se encuentra en condiciones normales de funcionamiento. Si la instalación fuese programada o demorada por el comprador más de treinta días con posterioridad a la fecha de entrega, entonces el vendedor considerará que los productos han sido aceptados con efectividad del trigésimo primer día, contado a partir de la fecha de entrega.

Documento III

PRESUPUESTO

1. INTRODUCCIÓN

En este documento se muestran los costes que ha supuesto la realización del trabajo *Diseño, cálculo y fabricación de un brazo robot para la asistencia en discapacidades*. A lo largo del capítulo se presentan los gastos de material, software, personal y de oficina.

Éstos forman parte de los presupuestos parciales que, en conjunto, constituyen el presupuesto total del proyecto. Los precios aplicados a los grupos de coste corresponden a tarifas legales vigentes, habiéndose realizado, en caso de necesidad, estimaciones coherentes y siéndoles aplicado su IVA correspondiente. En este caso se ha aplicado un IVA del 21% al no pertenecer ninguno de los trabajos realizados durante el periodo de realización a las categorías a las que se aplica el IVA reducido o el superreducido. Por otra parte, si los resultados obtenidos fueran para un trabajo encomendado por alguna empresa externa al Departamento, sí que se hubieran añadido a los gastos generales el beneficio económico.

El coste de amortización se calcula como se muestra en la ecuación 1:

$$amort = \frac{VC - VR}{n} \quad (1)$$

donde:

amort: amortización [€/año];

VC: valor de compra [€];

VR: valor residual al cabo del periodo de amortización [€];

n: periodo de amortización [años].

Siendo la tasa horaria (ecuación 2):

$$t_h = \frac{\textit{amort}}{\textit{horas}_{\textit{trabajadas/año}}} \quad (2)$$

donde:

t_h : tasa horaria [€/hora];

$\textit{horas}_{\textit{trabajadas/año}}$: horas trabajadas al año.

Los precios unitarios correspondientes al personal se calculan como se presentan en la ecuación 5 (tomando en consideración previamente las horas trabajadas, ecuación 3):

$$\frac{\textit{horas}_{\textit{trabajadas}}}{\textit{año}} = \left(\frac{\textit{semanas}}{\textit{año}} - \frac{\textit{horas}_{\textit{vacaciones}}}{\textit{festivos}} \right) \cdot \frac{\textit{horas}_{\textit{trabajadas}}}{\textit{semana}} \quad (3)$$

Las horas trabajadas por el personal involucrado en el trabajo (alumno y director) suman un total de:

$$\frac{\textit{horas}_{\textit{trabajadas}}}{\textit{año}} = 8 \frac{\textit{semanas}}{\textit{año}} \cdot 40 \frac{\textit{horas}_{\textit{trabajadas}}}{\textit{semana}} = 320 \textit{horas}_{\textit{trabajadas/año}} \quad (4)$$

$$\textit{Coste horario} = \frac{\textit{Salario bruto anual}}{\textit{horas}_{\textit{trabajadas/año}}} \quad (5)$$

2. ESTADO DE MEDICIONES

Se definen a continuación los recursos que han sido necesarios para la correcta realización del presente Trabajo Final de Máster, que son de carácter informático:

- Conjunto de los equipos informáticos y software.

Descripción	Unidades
Ordenador de sobremesa	1
Monitor SAMSUNG® S24D590L	1
Impresora 3D Da Vinci 1.0	1
Licencia Microsoft Office® 2013	1
Licencia SIEMENS NX® 10	1
Licencia Repetier-Host®	1
Licencia XYZware®	1

Tabla 1: Equipos informáticos y software utilizado en el trabajo.

- Montaje e instalación del equipo informático.

Descripción	Unidades
Ordenador de sobremesa	1
Monitor SAMSUNG® S24D590L	1
Impresora 3D Da Vinci 1.0	1
Técnico informático	1

Tabla 2: Montaje e instalación del equipo.

- Instalación del software específico.

Descripción	Unidades
Microsoft Office® 2013	1
SIEMENS NX® 10	1
Técnico de laboratorio	1

Tabla 3: Instalación del software.

- Personal específico para el desarrollo del trabajo.

Descripción	Unidades
Ingeniero Mecánico	1

Tabla 4: Personal específico.

- Alquiler de una oficina para la ubicación de los elementos y desarrollo del trabajo.

Descripción	Unidades
Oficina	1
Permisos de oficina	1
Seguro de oficina	1

Tabla 5: Alquiler de la oficina.

- Maquinaria de taller para realizar la fabricación de las diferentes piezas del brazo.

Descripción	Unidades
Centro de mecanizado	1
Torno	1
Otros equipos	1
Técnico de taller	1

Tabla 6: Maquinaria para la fabricación.

3. DESGLOSE DE COSTES UNITARIOS

Para una correcta comprensión del uso de los fondos necesarios para el proyecto se procede a descomponerlos en los siguientes apartados.

3.1. Coste material y software unitario

3.1.1. Equipo informático

- **Ordenador de sobremesa**

El equipo tiene un valor de compra de 980,00€. Para el equipo utilizado se ha estimado un valor residual del 20% a lo largo del uso total que se le ha asignado y un periodo de amortización del mismo de los 5 años de duración del trabajo. Tomando la ecuación 1 se obtiene la amortización del ordenador (ecuación 6).

$$amort_{Sobremesa} = \frac{980 - 196}{5} = 156,80\text{€/año} \quad (6)$$

Teniendo así una tasa horaria de (ecuación 7):

$$t_{hSobremesa} = \frac{156,8}{320} = 0,49\text{€/hora} \quad (7)$$

- **Monitor**

El monitor SAMSUNG® S24D590L tiene un valor de compra de 189,00€. Para el equipo que se ha utilizado, se ha estimado un valor residual del 20% a lo largo del uso total que se ha dado y un periodo de amortización del mismo de los 5 años en los que

se ha realizado el trabajo. Tomando la ecuación 1 se obtiene la amortización del ordenador (ecuación 8)

$$amort_{Monitor} = \frac{189 - 37,8}{5} = 30,24\text{€/año} \quad (8)$$

$$t_{hMonitor} = \frac{30,24}{320} = 0,09\text{€/hora} \quad (9)$$

▪ Impresora 3D

La impresora tiene un valor de compra de 699,00€. Para el equipo utilizado se ha estimado un valor residual del 20% a lo largo del uso total que se le ha asignado y un periodo de amortización del mismo de los 2 meses de duración del trabajo. Tomando la ecuación 1 se obtiene la amortización de la impresora (ecuación 10).

$$amort_{Impresora\ 3D} = \frac{699 - 139,8}{5} = 111,84\text{€/año} \quad (10)$$

Teniendo así una tasa horaria de (ecuación 11):

$$t_{hImpresora\ 3D} = \frac{111,84}{320} = 0,35\text{€/hora} \quad (11)$$

3.1.2. Software

El coste del software se considera amortizado para el año de duración de la licencia y sin valor residual, las horas trabajadas con éstos son las horas correspondientes a un año, 1800h.

Los programas que se han utilizado bajo licencia durante el proyecto son:

▪ Licencia de Microsoft Office®

El valor de una licencia anual estándar es de 80,00€. La tasa horaria correspondiente se muestra en la ecuación 12:

$$t_{hMicrosoft\ Office} = \frac{80}{1800} = 0,04\text{€/hora} \quad (12)$$

- **Licencia de SIEMENS NX®**

El valor de una licencia anual estándar es de 2.095,00€. La tasa horaria correspondiente se muestra en la ecuación 13:

$$t_{h_{\text{SIEMENS NX}}} = \frac{2095}{1800} = 1,16\text{€/hora} \quad (13)$$

- **Licencia de Repetier-Host®**

Este software no dispone de licencia. La tasa horaria correspondiente se muestra en la ecuación 14:

$$t_{h_{\text{Repetier-Host}}} = \frac{0}{1800} = 0,00\text{€/hora} \quad (14)$$

- **Licencia de Licencia XYZware®**

Este software no dispone de licencia. La tasa horaria correspondiente se muestra en la ecuación 15:

$$t_{h_{\text{Repetier-Host}}} = \frac{0}{1800} = 0,00\text{€/hora} \quad (15)$$

3.2. Coste de personal cualificado unitario

Se han tomado los sueldos para el diferente personal cualificado según las retribuciones del profesorado interno en base a la ley de presupuestos del vigente año definidas por el Servicio de Recursos Humanos de la Sección de Nóminas y Seguridad Social del Ministerio de Empleo y Seguridad Social.

- **Coste de un Ingeniero Mecánico**

El Ingeniero ha dedicado a la realización del trabajo un periodo de 3 meses. El coste horario teniendo en cuenta su salario bruto anual, el coste horario se presenta en la ecuación 16.

$$\text{Salario bruto anual}_{\text{Ingeniero}} = 21000,00\text{€/año} \quad (16)$$

$$\text{Coste horario}_{\text{Ingeniero}} = \frac{90000\text{€/año}}{1800\text{horas/año}} = 50,00\text{€/hora} \quad (17)$$

- **Coste asociado al técnico informático**

Para la instalación de diversos programas informáticos utilizados se requiere de un técnico informático, el cual ha trabajado un total de 5 horas para la realización del trabajo. El coste horario (ecuación 19) es de:

$$\text{Salario bruto anual}_{\text{Técnico informático}} = 18000,00\text{€/año} \quad (18)$$

$$\text{Coste horario}_{\text{Técnico informático}} = \frac{18000\text{€/año}}{1800\text{horas/año}} = 10,00\text{€/hora} \quad (19)$$

3.3. Coste de oficina unitario

El coste del alquiler de la oficina se ha estimado en base a la media de alquiler de oficinas por trimestre en la ciudad de Valencia, siendo de 900,00€/trimestre. Todo ello resulta en un coste total de oficina expuesto en la ecuación 21.

$$\text{Coste}_{\text{mensual oficina}} = \frac{900\text{€}}{3 \text{ meses}} = 300,00\text{€/mes} \quad (20)$$

$$\text{Coste}_{\text{total}} = \frac{300\text{€}}{\text{mes}} \cdot 3 \text{ meses} = 900,00\text{€} \quad (21)$$

Resaltar que estos costes incluyen de por sí todos los permisos necesarios, gasto de luz y agua, calefacción, material de oficina y el seguro correspondiente.

3.3. Coste de taller

El coste del alquiler de la maquinaria de taller se ha estimado en base a la media de alquiler de maquinaria de taller en España. Siendo de 40,00€/hora. Este valor incluye horas de operario, herramientas, gasto de maquinaria, configuración de máquina y reglaje. Resaltar que estos costes incluyen de por sí todos los permisos necesarios, gasto de luz y agua, refrigeración de herramienta y el seguro correspondiente.

El tiempo de mecanizado de los programas de moldes hace un total de 274 minutos. En este valor se aplica el tiempo que se dedica en preparar la máquina y materiales haciendo un total de 420 minutos más. El tiempo de mecanizado de las piezas torneadas hace un total de 360 minutos.

Haciendo un sumatorio de los tiempos estimados se considera que se ha trabajado un total de 17,56 horas para la realización del trabajo respecto al coste de taller.

4. DESGLOSE DE COSTES TOTALES

A continuación se muestran los costes y el importe, por separado, del Impuesto del Valor Añadido (IVA) a cada uno de los precios.

4.1. Coste de material y software total

En la Tabla 7 se detalla el coste total de los materiales y software previamente descritos.

Descripción	Periodo	Tasa horaria	Importe	IVA (21%)	Total producto
	[h]	[€/h]	[€]	[€]	[€]
Ordenador de sobremesa	350	0,49	171,50	36,02	207,52
Monitor	350	0,09	31,50	6,62	38,12
Impresora 3D	30	0,35	10,50	2,21	12,71
Microsoft Office®	140	0,04	5,60	1,18	6,78
SIEMENS NX®	250	1,16	290,00	60,90	350,90
Repetier-Host®	10	0,00	0,00	0,00	0,00
XYZware®	10	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL					616,01 €

Tabla 7: Coste total de material y del software de trabajo.

El coste total del material y del software es de seiscientos dieciséis con un euros (#616,01€#).

4.2. Coste de personal cualificado total

En la Tabla 8 se detalla el coste total del personal involucrado en el trabajo.

Descripción	Periodo	Tasa horaria	Importe	IVA (21%)	Total producto
	[h]	[€/h]	[€]	[€]	[€]
Ingeniero Mecánico	350	50,00	17500,00	3675,00	21175,00
Técnico Informático	5	10,00	50,00	10,50	60,50
TOTAL					21235,50 €

Tabla 8: Coste total del personal cualificado.

El coste total del personal cualificado es de veintiún mil doscientos treinta y cinco con cincuenta euros (#21235,50€#).

4.3. Coste de oficina total

En la *Tabla 9* se detalla el coste total del uso de la oficina donde se ha realizado el trabajo.

Descripción	Periodo	Tasa horaria	Importe	IVA (21%)	Total producto
	[meses]	[€/mes]	[€]	[€]	[€]
Oficina	3	300,00	900,00	189,00	1089,00
TOTAL					1089,00 €

Tabla 9: Coste total de uso de oficina.

El coste total de oficina es de mil ochenta y nueve euros (#1089,00€#).

4.3. Coste de taller total

En la tabla 10 se detalla el coste total del uso de maquinaria de taller involucrado en el trabajo.

Descripción	Periodo	Tasa horaria	Importe	IVA (21%)	Total producto
	[h]	[€/h]	[€]	[€]	[€]
Taller	17,56	40,00	702,40	147,50	849,90
TOTAL					849,90 €

Tabla 10: Coste total de taller.

El coste total de taller es de ochocientos cuarenta y nueve con noventa euros (#849,90€#).

5. RESUMEN DEL PRESUPUESTO TOTAL

Finalmente, se unen todos los costes asociados en la *Tabla 11*.

Descripción	Presupuesto [€]
Coste de material y software	616,01
Coste de personal cualificado	21235,50
Coste de oficina	1089,00
Coste de taller	849,90
TOTAL	23790,42 €

Tabla 11: Coste total del trabajo.

El presupuesto total del presente proyecto asciende a veinte tres mil setecientos noventa con cuarenta y dos euros (#23790,42€#).

En Valencia a 07 de Julio del 2016

En autor del proyecto: Cristóbal Haro Galarza

BIBLIOGRAFÍA

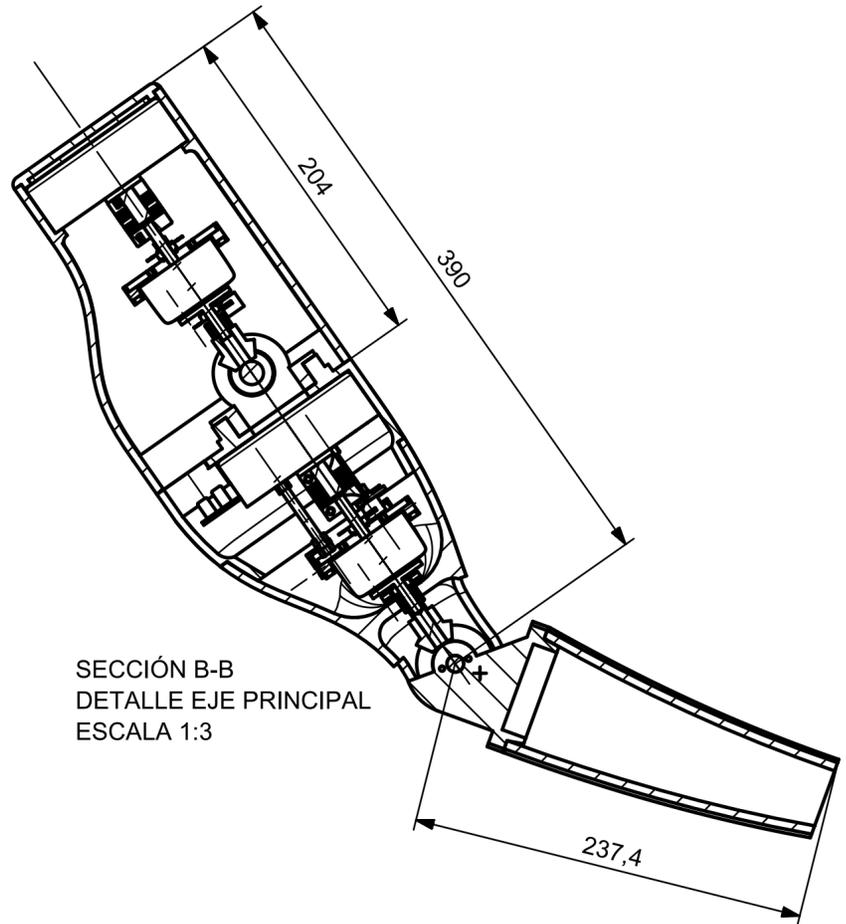
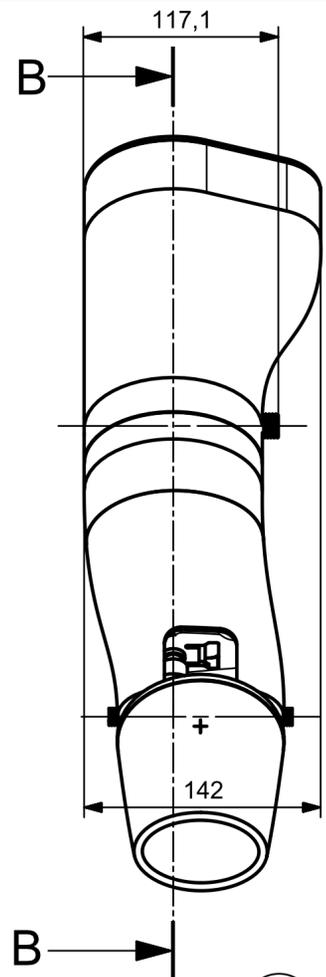
- [1] González, Jesús Manuel Dorador; Patricia Ríos Murillo; Itzel Flores Luna; Ana Juárez Mendoza, «Robótica y prótesis inteligentes,» 2014.
- [2] Xataka, «Éstas son las tecnologías de impresión 3D que hay sobre la mesa y lo que puedes esperar de ellas,» 20 2 2014. [En línea]. Available: <http://www.xataka.com/perifericos/estas-son-las-tecnologias-de-impresion-3d-que-hay-sobre-la-mesa-y-lo-que-puedes-esperar-de-ellas>. [Último acceso: 23 02 2016].
- [3] Tecnologías de los plásticos, «Impresión 3D,» 17 02 2013. [En línea]. Available: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2013/02/impresion-3d.html>. [Último acceso: 23 02 2016].
- [4] TFMRIMUNED, «MODELADO POR DEPOSICIÓN DE HILO FUNDIDO FDM,» [En línea]. Available: <https://tfmrimuned.wordpress.com/modelado-por-deposicion-de-hilo-fundido-fdm/>. [Último acceso: 23 02 2016].
- [5] Cristina Castejón, Juan Carlos García-Prada, Omar José Lara, «Modelado de una transmisión Harmonic Drive. Análisis del error cinemático,» Madrid, España, 2009.
- [6] T. Tuttle, «Understanding and modeling the behavior of a Harmonic Drive Gear Transmission,» 1992.
- [7] SIEMENS, «SIMATIC Controllers - The intelligent choice for your automation

- tasks,» Siemens AG, 2016. [En línea]. Available: www.siemens.com. [Último acceso: 07 05 2016].
- [8] Avago Technologies, «Three Channel Optical Incremental Encoder Modules,» Avago, E.E.U.U., 2014.
- [9] M. Motor, «Maxon Gama EC Flat,» Maxon, 2016. [En línea]. Available: www.maxonmotor.es. [Último acceso: 07 05 2016].
- [10] M. Chailly, «Michaud Chailly,» Groupe MAURIN, 2012. [En línea]. Available: <http://www.michaud-chailly.fr/roulement-transmission/>. [Último acceso: 24 02 2016].
- [11] A. Technologies, «Avago,» 17 March 2014. [En línea]. Available: www.avagotech.com. [Último acceso: 18 02 2016].
- [12] M. Motor, «Maxonmotor,» [En línea]. Available: <http://www.maxonmotor.es/>. [Último acceso: 02 10 2016].
- [13] F. GmbH, «Franke,» [En línea]. Available: <http://www.franke-gmbh.com/bearings/products/bearing-assemblies/lva/>. [Último acceso: 10 02 2016].
- [14] R. Online, «RS,» Amidata S.A., [En línea]. Available: <http://es.rs-online.com/>. [Último acceso: 24 02 2016].
- [15] SIEMENS, «Siemens PLM Software,» 2016. [En línea]. Available: www.plm.automation.siemens.com. [Último acceso: 2016 05 14].
- [16] D.Gay; S.V.Hoa; S.W.Tsai, «Composite Materials. Design and Applications,» 2003.
- [17] R. Davé, «J. Compos. Mater,» 1990.
- [18] M. V. Bruschke and S. G. Advan, «Polym. Compos,» 1990.
- [19] Ashland, «The Infusion Process,» Ashland, 2015. [En línea]. Available: www.ashland.com. [Último acceso: 28 05 2016].

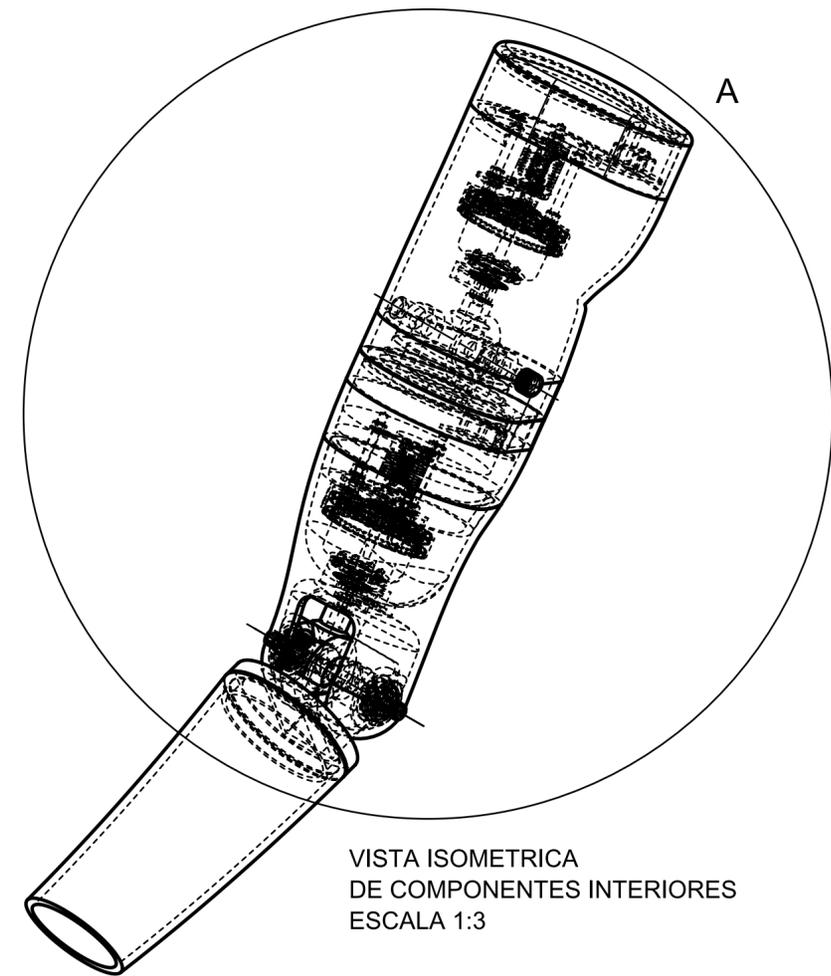
-
- [20] Innova Composite, «Proceso de fabricación de los amateriales compuestos,» 2016. [En línea]. Available: www.innovacomposite.com. [Último acceso: 05 06 2016].
- [21] Ghent University, «Vacuum Infusion - The Equipment and Process of Resin Infusion,» Belgium, 2015.
- [22] CarmasComposites, «Sistema de Infusión de Resina,» CarmasComposites, 2016. [En línea]. Available: www.carmas.com.ar. [Último acceso: 05 06 16].
- [23] GuillerminaMDF, «MDF: Usos y Aplicaciones,» 2016. [En línea]. Available: www.tablerosguillermina.com.ar. [Último acceso: 05 06 2016].
- [24] CMT, «CMT Orange Tools,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.cmtutensili.it/>. [Último acceso: 06 06 16].
- [25] ISCAR LTD, «Iscar Electronic Catalog,» 2016. [En línea]. Available: www.iscar.com. [Último acceso: 12 05 2016].
- [26] SMW Autoblok Ibérica, «Sistemas de amarre para centro de mecanizado,» 2016. [En línea]. Available: http://smwautoblok.es/documentos/SMWAutoblok_Grupo_Catalogo.pdf. [Último acceso: 16 06 2016].
- [27] S. Lorenzo, «Car And Driver Thef 1,» 6 JUN 2013. [En línea]. Available: www.caranddriverthef1.com. [Último acceso: 23 05 16].
- [28] Sandvik Coromant, 2016. [En línea]. Available: www.sandvik.coromant.com. [Último acceso: 05 06 2016].
- [29] SecoTools, «Mecanizado de composites,» SECO, 2016. [En línea]. Available: www.secotools.com. [Último acceso: 23 05 2016].

Anexo A

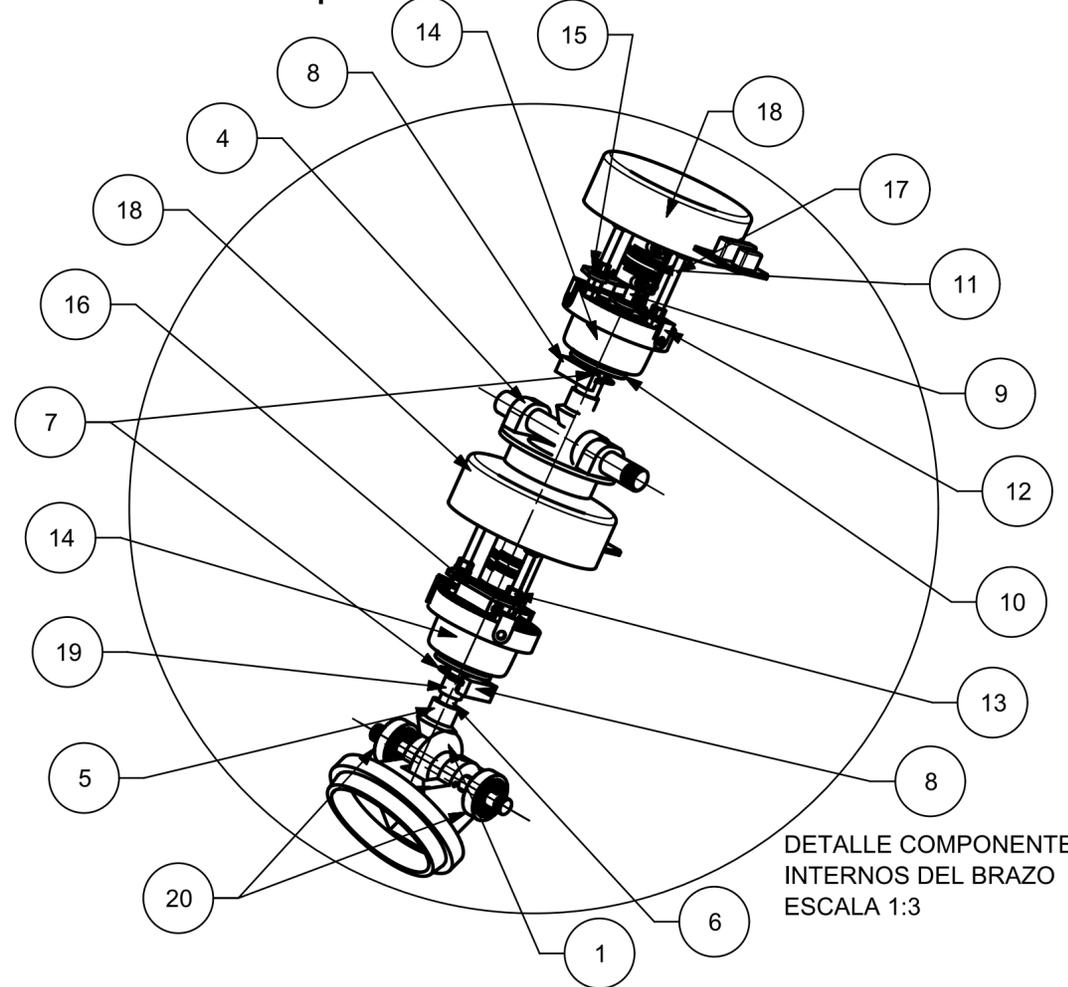
PLANOS



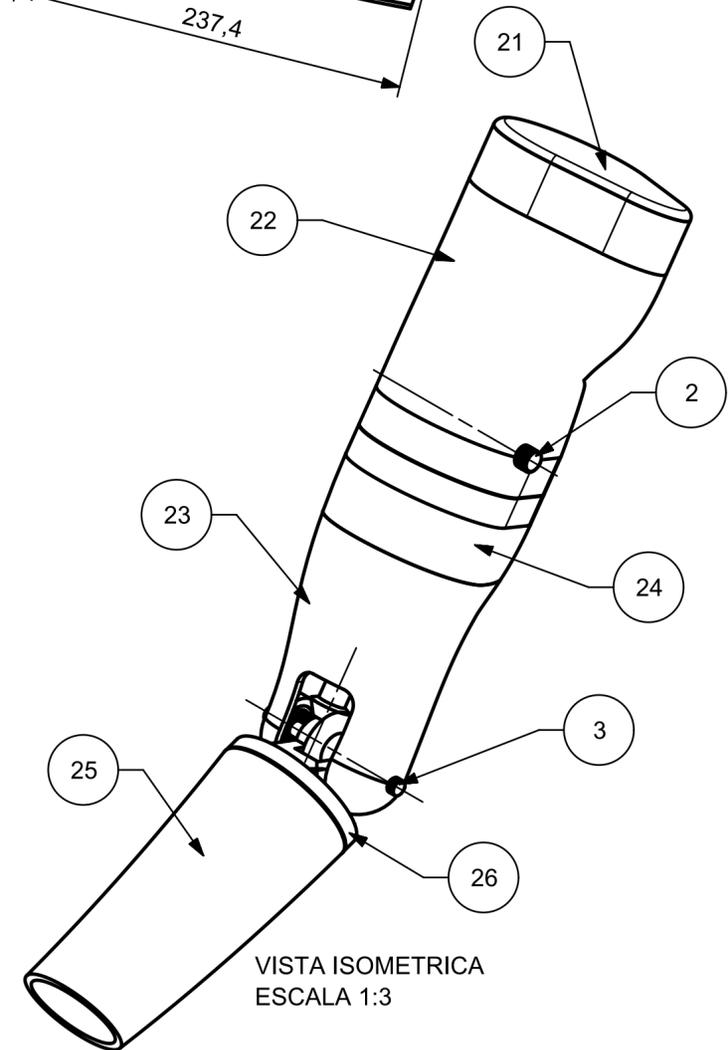
SECCIÓN B-B
DETALLE EJE PRINCIPAL
ESCALA 1:3



VISTA ISOMETRICA
DE COMPONENTES INTERIORES
ESCALA 1:3



DETALLE COMPONENTES
INTERIOS DEL BRAZO
ESCALA 1:3

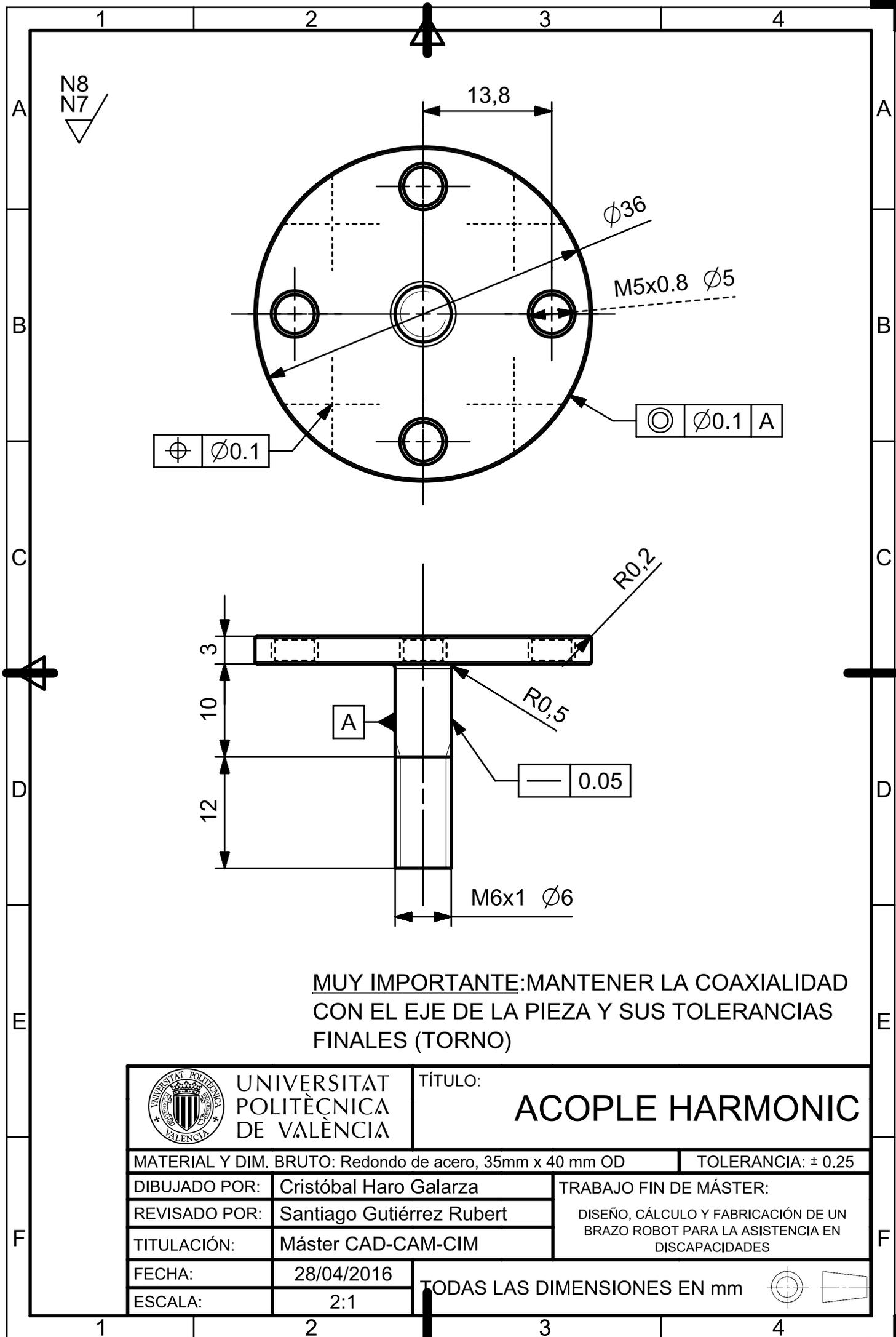


VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1:3

RESTO DE COTAS EN MODELO CAD

26	CODO	1
25	ANTEBRAZO	1
24	BRAZO PARTE INTERMEDIO	1
23	BRAZO PARTE INFERIOR	1
22	BRAZO PARTE SUPERIOR	1
21	TAPA HOMBRO	1
20	RODAMIENTO BOLAS Ref: L16200 2RSH	2
19	RODAMIENTO DE RODILLOS Dint=10mm	3
18	MOTOR MAXON (BRUSHLESS)	2
17	ESPÁRRAGO M5 L=57mm	6
16	SOPORTE ENCODER	2
15	ARANDELA M5	8
14	HARMONIC DRIVE	2
13	TUERCA M5	22
12	ESCUADRA METÁLICA	6
11	ACOPLEMENTO FLEXIBLE Ref: PCMR25-10-6-A	1
10	ACOPLE HARMONIC	2
9	EJE D=6mm L=55mm	2
8	ENCODER Ref: HEDX-9XX0	4
7	CODEWHEEL Ref: HEDS5140	4
6	EJE D=10mm L=36mm	2
5	ENGRANAJE CÓNICO D=24,4mm	2
4	UNIÓN HOMBRO	1
3	EJE D=10mm L=110mm	1
2	EJE D=10mm L=120mm	1
1	ENGRANAJE CÓNICO D=46,4mm	2
MARCA		CANTIDAD
NOMBRE		

	UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO: CONJUNTO GENERAL BRAZO
	MATERIAL Y DIM. BRUTO: ENSAMBLE	ISO 2768-mH
DIBUJADO POR: Cristóbal Haro Galarza	TRABAJO FIN DE MÁSTER:	
REVISADO POR: Santiago Gutiérrez Rubert	DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES	
TITULACIÓN: Máster CAD-CAM-CIM		
FECHA: 18/06/16		
ESCALA: 1:3		TODAS LAS DIMENSIONES EN mm



MUY IMPORTANTE: MANTENER LA COAXIALIDAD CON EL EJE DE LA PIEZA Y SUS TOLERANCIAS FINALES (TORNO)



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TÍTULO:

ACOPLE HARMONIC

MATERIAL Y DIM. BRUTO: Redondo de acero, 35mm x 40 mm OD

TOLERANCIA: ± 0.25

DIBUJADO POR: Cristóbal Haro Galarza

TRABAJO FIN DE MÁSTER:

REVISADO POR: Santiago Gutiérrez Rubert

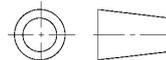
DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES

TITULACIÓN: Máster CAD-CAM-CIM

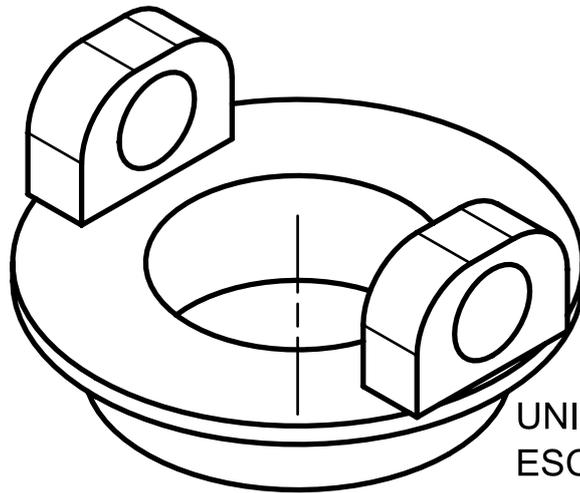
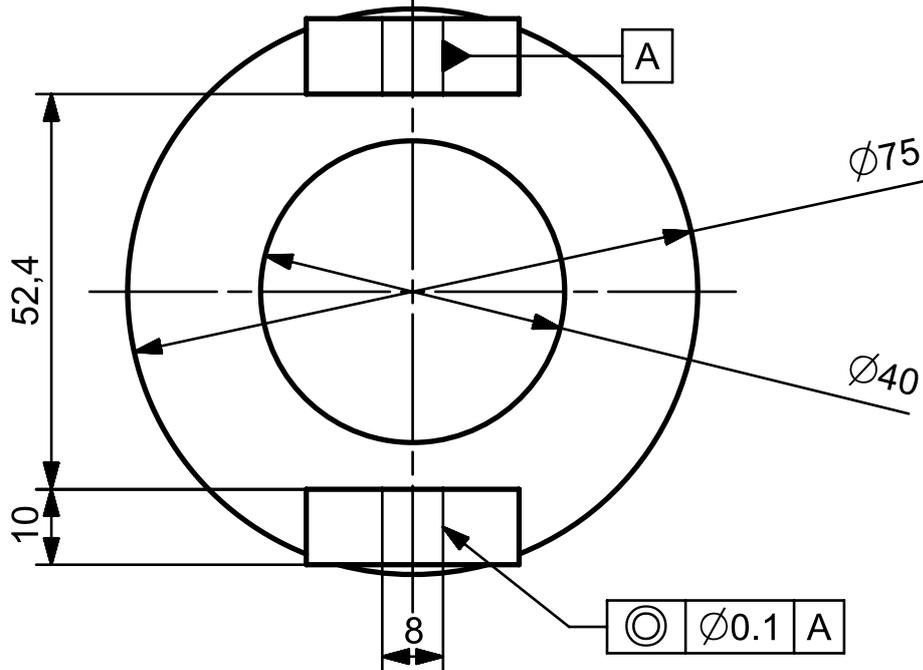
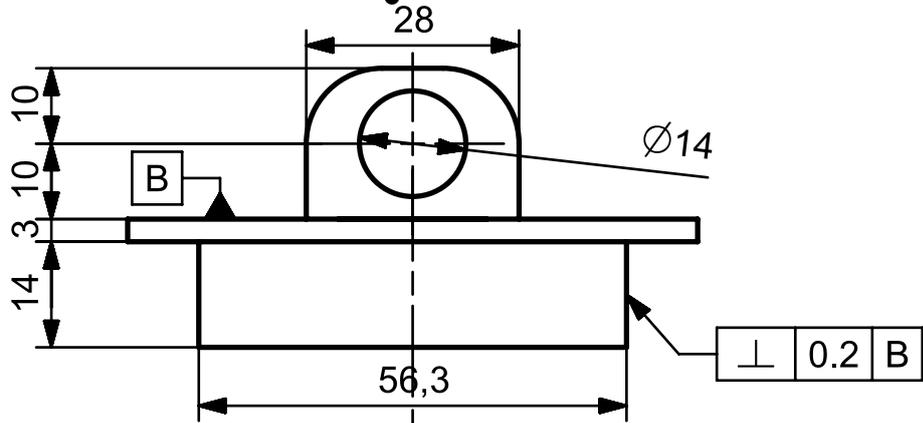
FECHA: 28/04/2016

ESCALA: 2:1

TODAS LAS DIMENSIONES EN mm



Nº 89
Nº 8



UNIÓN HOMBRO
ESCALA 1:2



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TÍTULO:

UNIÓN HOMBRO

MATERIAL Y DIM. BRUTO: Bloque Nylon 80X80X40mm

TOLERANCIA: ± 0.25

DIBUJADO POR: Cristóbal Haro Galarza

TRABAJO FIN DE MÁSTER:

REVISADO POR: Santiago Gutiérrez Rubert

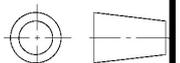
DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN
BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN
DISCAPACIDADES

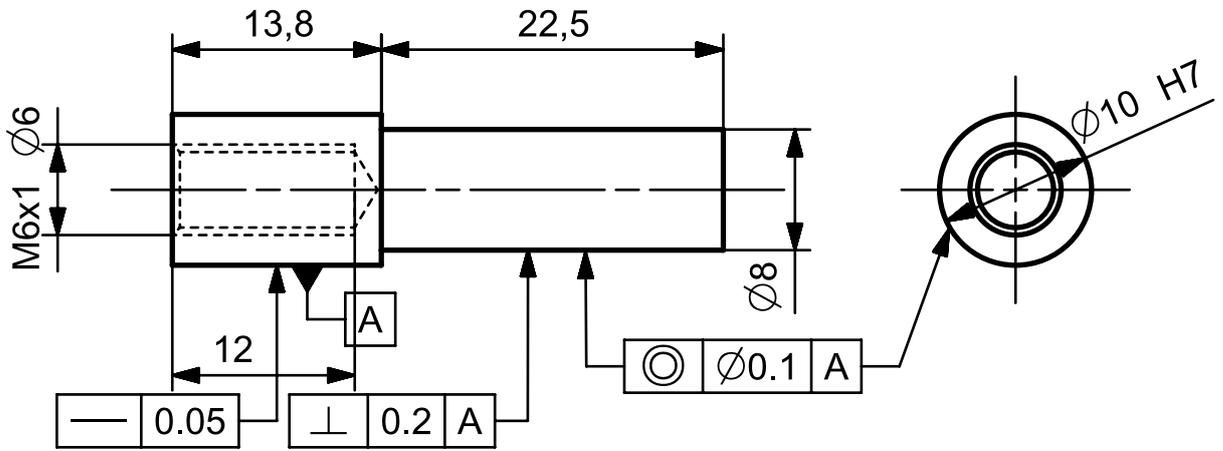
TITULACIÓN: Máster CAD-CAM-CIM

FECHA: 16/04/2016

ESCALA: 1:1

TODAS LAS DIMENSIONES EN mm





PIEZA 2
ESCALA 2:1

**MUY IMPORTANTE: MANTENER LA COAXIALIDAD
CON EL EJE DE LA PIEZA Y SUS TOLERANCIAS
FINALES (TORNO)**



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TÍTULO:

PIEZA 2: EJE DE DIÁMETROS VARIABLES

MATERIAL Y DIM. BRUTO: Varilla de acero, 45mm x 12 mm OD

ISO 2768-mH

DIBUJADO POR: Cristóbal Haro Galarza

TRABAJO FIN DE MÁSTER:

REVISADO POR: Santiago Gutiérrez Rubert

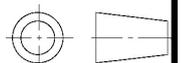
DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN
BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN
DISCAPACIDADES

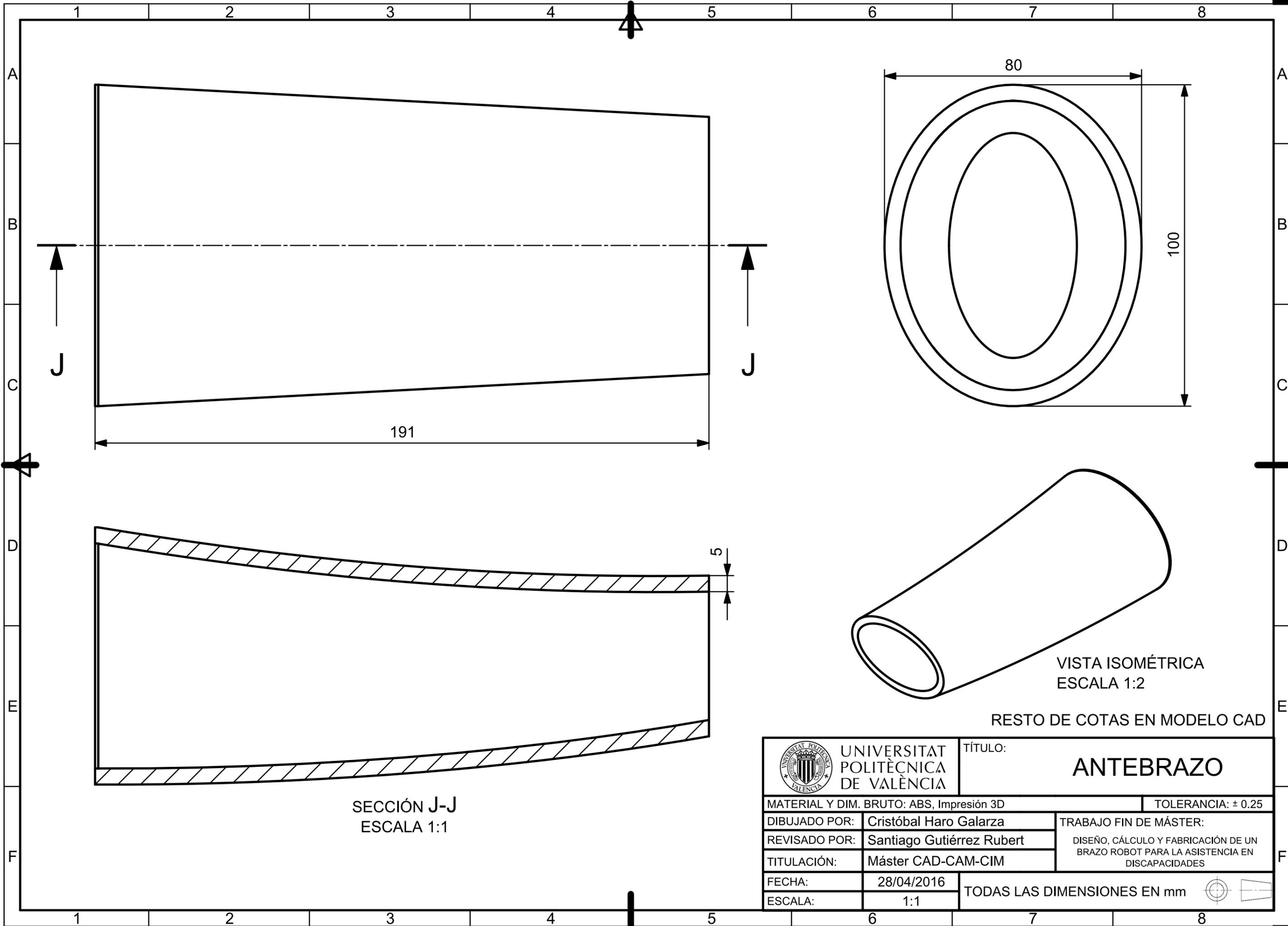
TITULACIÓN: Máster CAD-CAM-CIM

FECHA: 28/02/2016

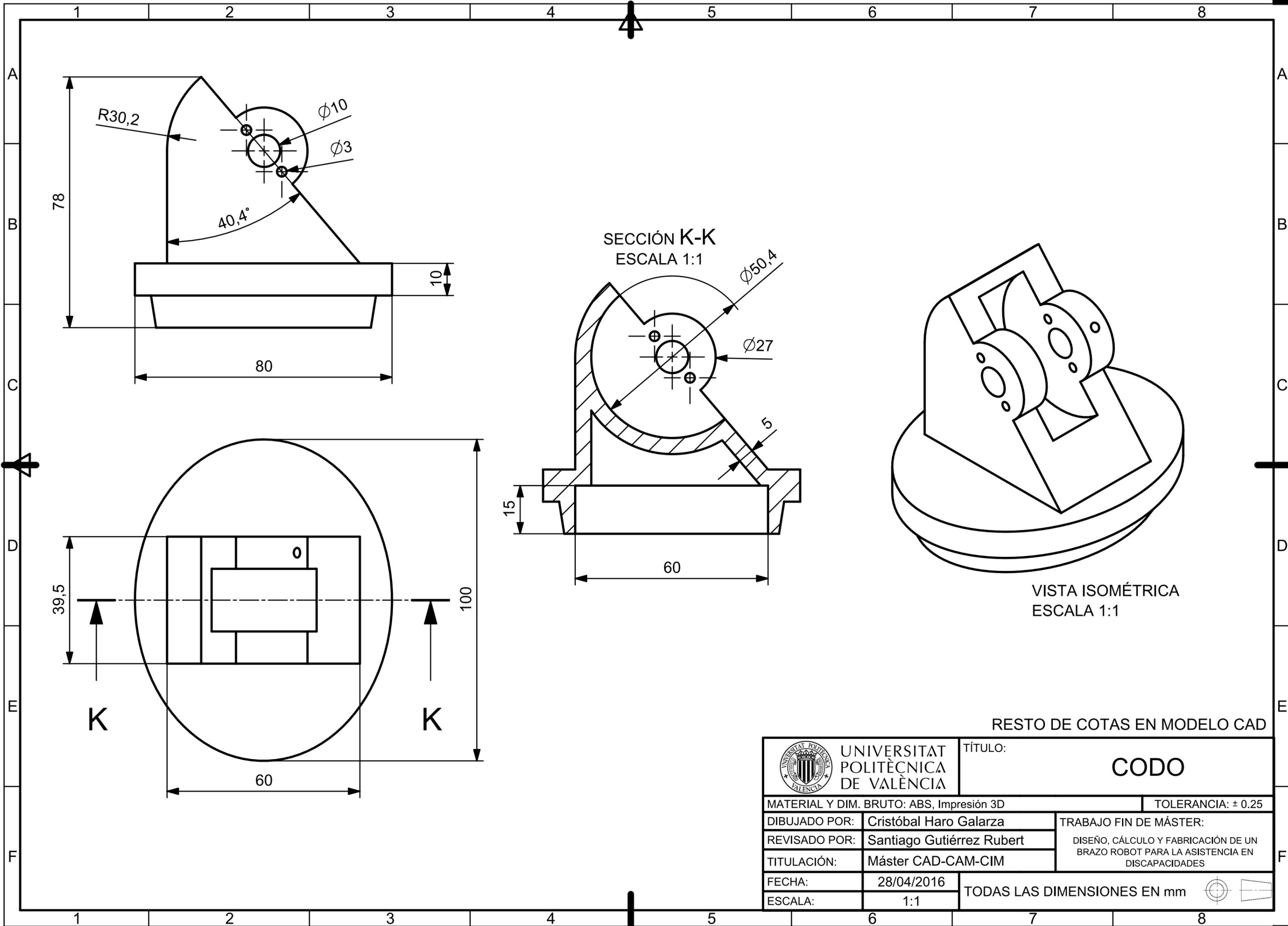
ESCALA: 2:1

TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

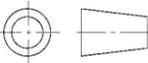


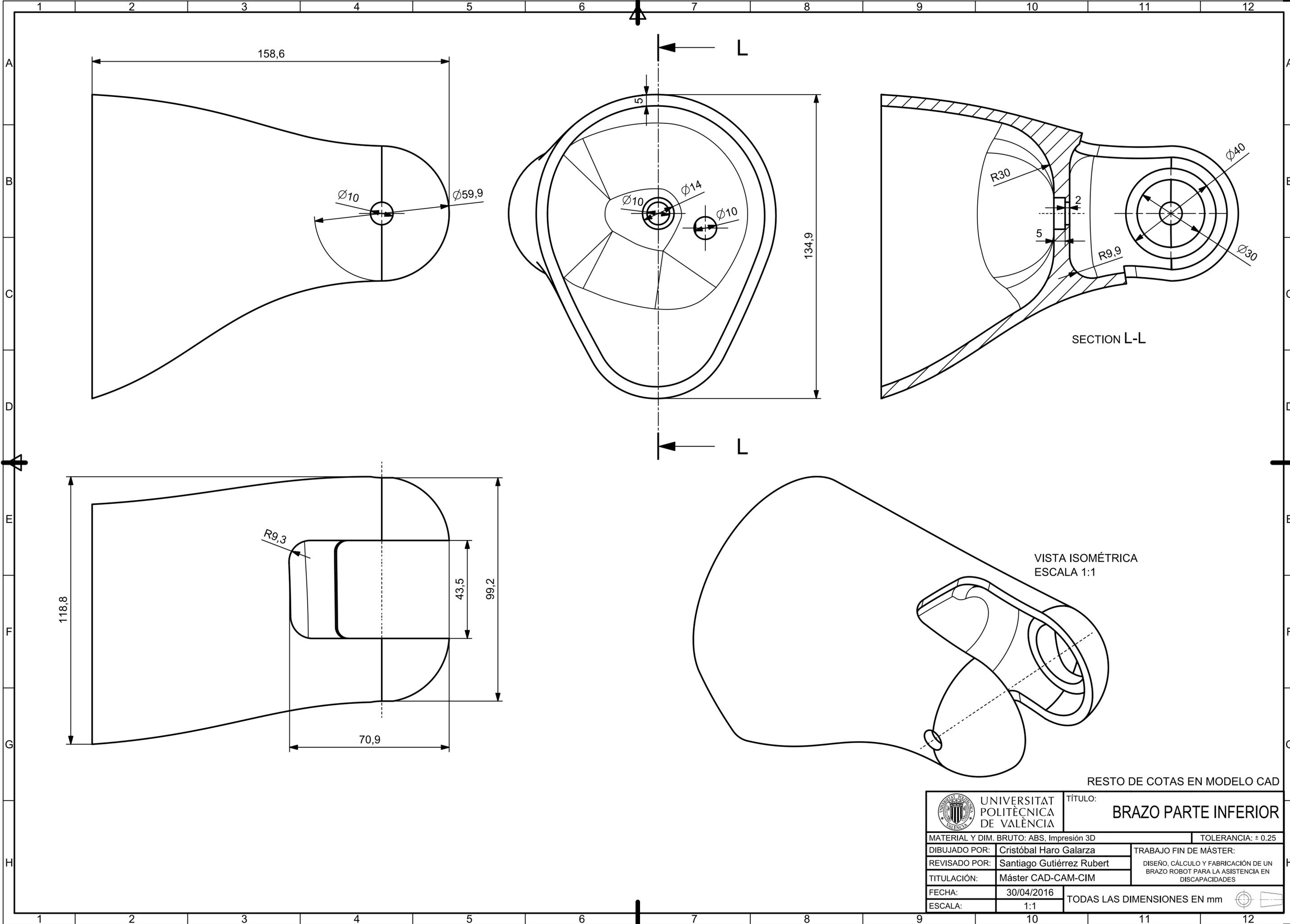


 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO:	ANTEBRAZO
	MATERIAL Y DIM. BRUTO: ABS, Impresión 3D	
DIBUJADO POR:	Cristóbal Haro Galarza	TRABAJO FIN DE MÁSTER: DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES
REVISADO POR:	Santiago Gutiérrez Rubert	
TITULACIÓN:	Máster CAD-CAM-CIM	
FECHA:	28/04/2016	TODAS LAS DIMENSIONES EN mm
ESCALA:	1:1	



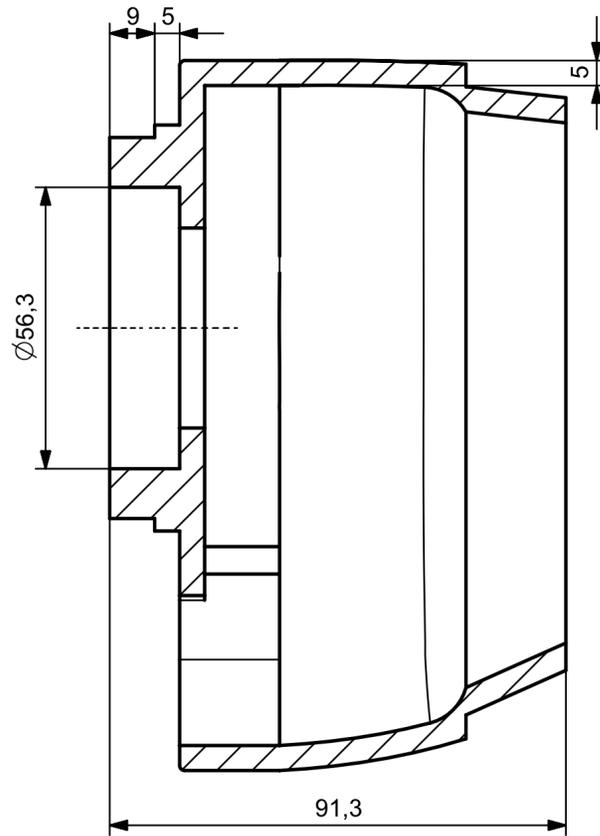
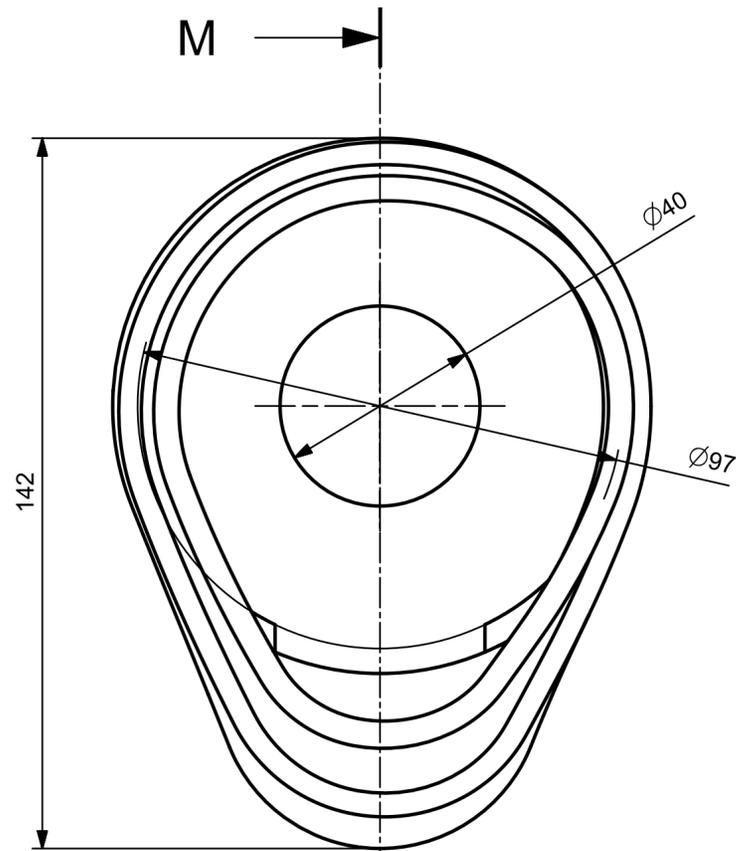
RESTO DE COTAS EN MODELO CAD

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO:		CODO
	MATERIAL Y DIM. BRUTO: ABS, Impresión 3D		
DIBUJADO POR:	Cristóbal Haro Galarza	TRABAJO FIN DE MÁSTER:	
REVISADO POR:	Santiago Gutiérrez Rubert	DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES	
TITULACIÓN:	Máster CAD-CAM-CIM		
FECHA:	28/04/2016	TODAS LAS DIMENSIONES EN mm 	
ESCALA:	1:1		

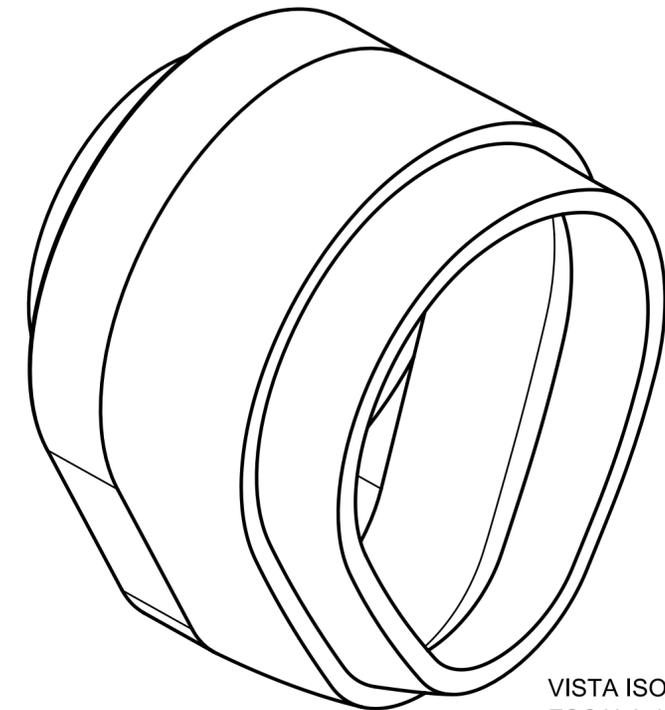


RESTO DE COTAS EN MODELO CAD

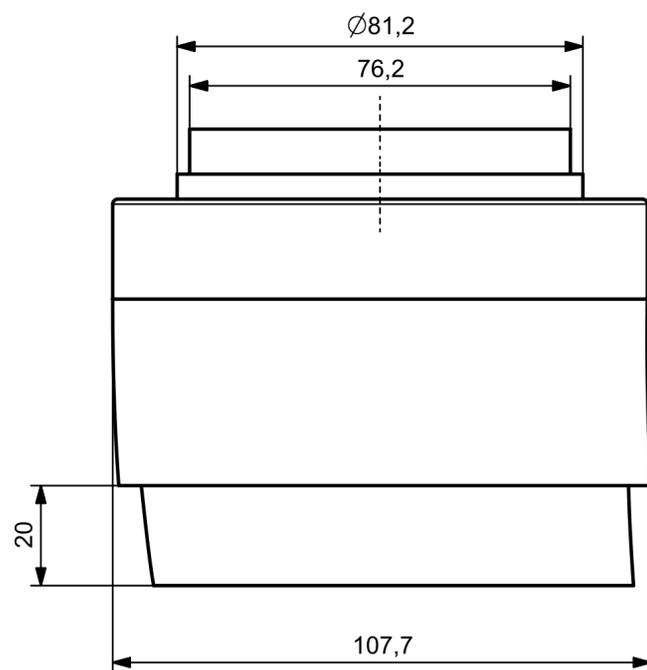
	UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO: BRAZO PARTE INFERIOR
	MATERIAL Y DIM. BRUTO: ABS, Impresión 3D	TOLERANCIA: $\pm 0,25$
DIBUJADO POR: Cristóbal Haro Galarza	TRABAJO FIN DE MÁSTER:	
REVISADO POR: Santiago Gutiérrez Rubert	DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES	
TITULACIÓN: Máster CAD-CAM-CIM		
FECHA: 30/04/2016		
ESCALA: 1:1	TODAS LAS DIMENSIONES EN mm	



SECTION M-M

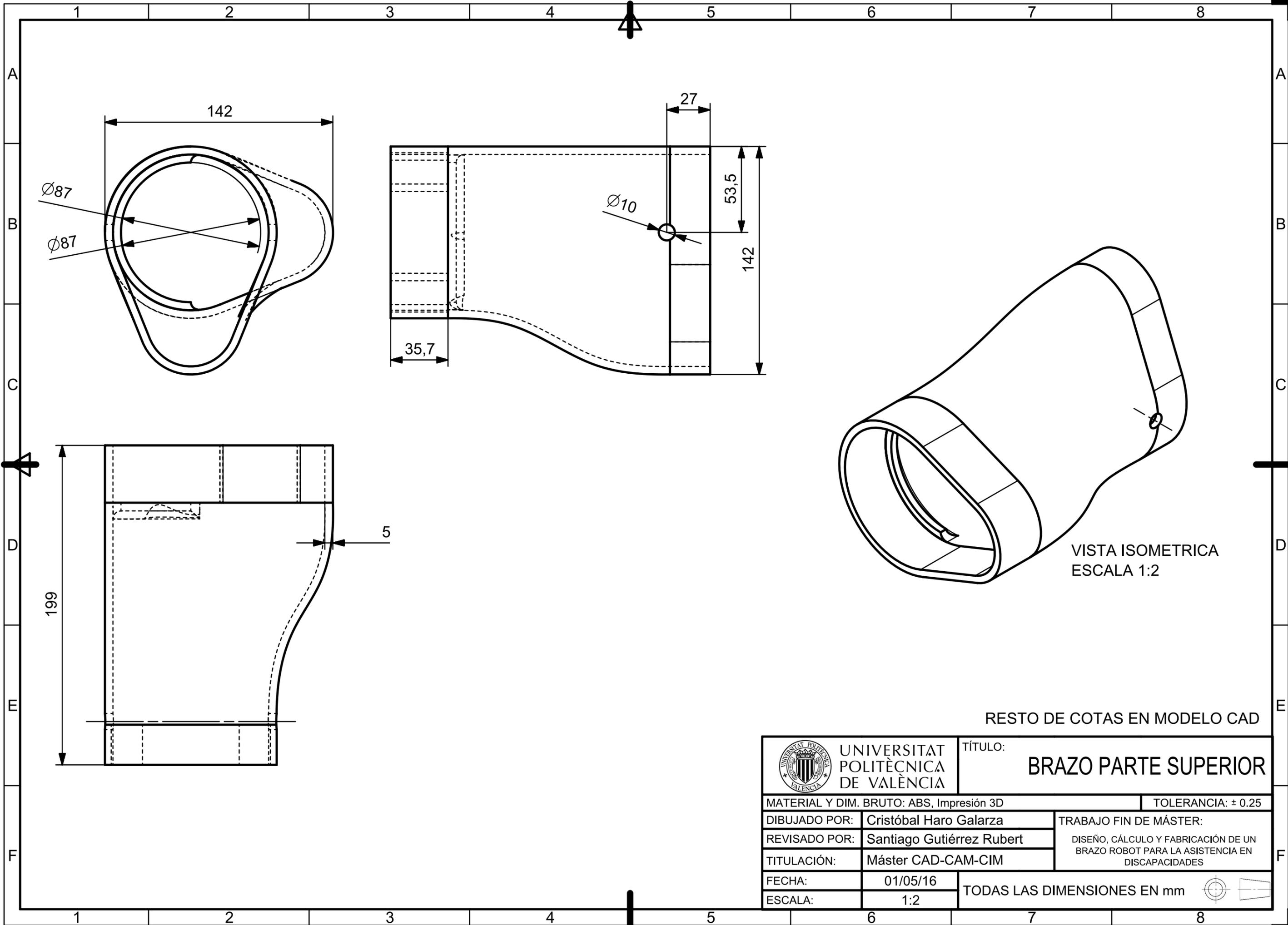


VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:1



RESTO DE COTAS EN MODELO CAD

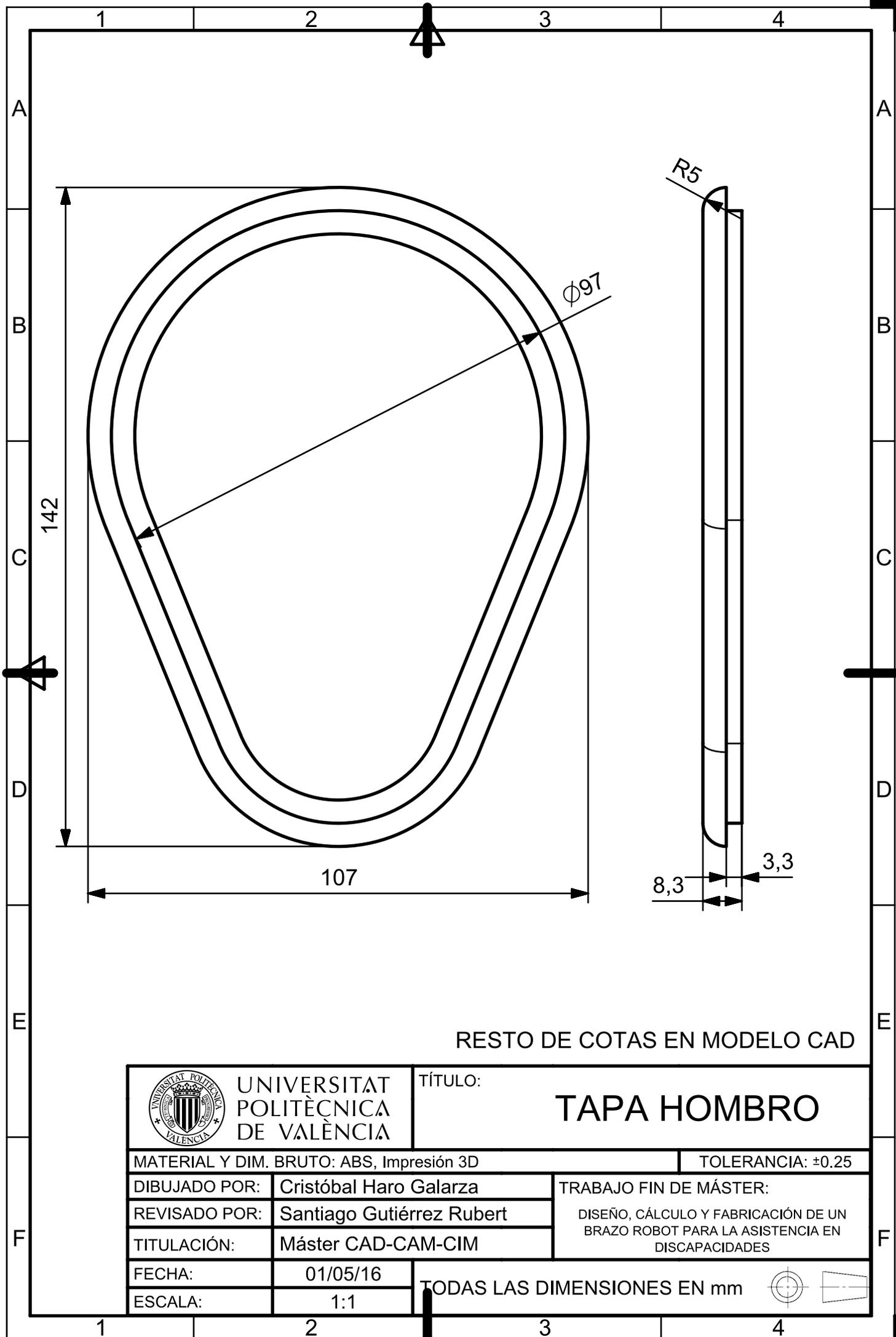
 UNIVERSITAT POLITÀCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO:		BRAZO PARTE INTERMEDIA
	MATERIAL Y DIM. BRUTO: ABS, Impresión 3D		
DIBUJADO POR:	Cristóbal Haro Galarza	TRABAJO FIN DE MÁSTER:	
REVISADO POR:	Santiago Gutiérrez Rubert	DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES	
TITULACIÓN:	Máster CAD-CAM-CIM		
FECHA:	01/05/2016	TODAS LAS DIMENSIONES EN mm	
ESCALA:	1:1	 	



VISTA ISOMETRICA
ESCALA 1:2

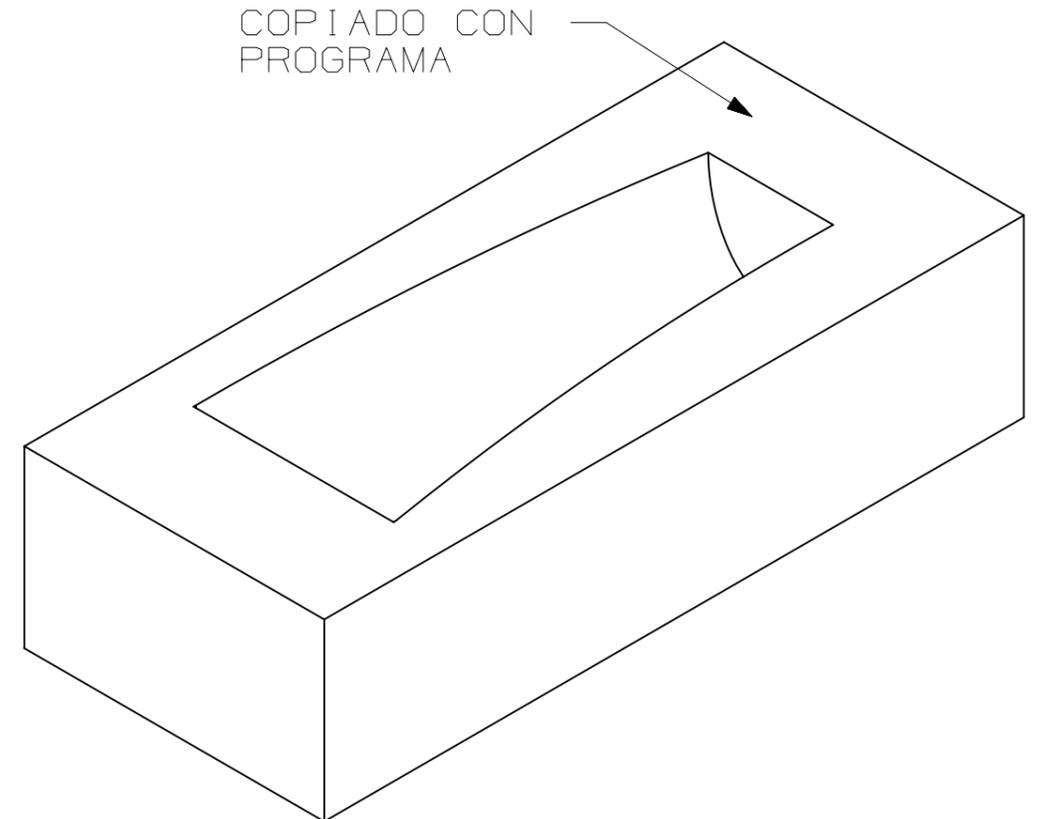
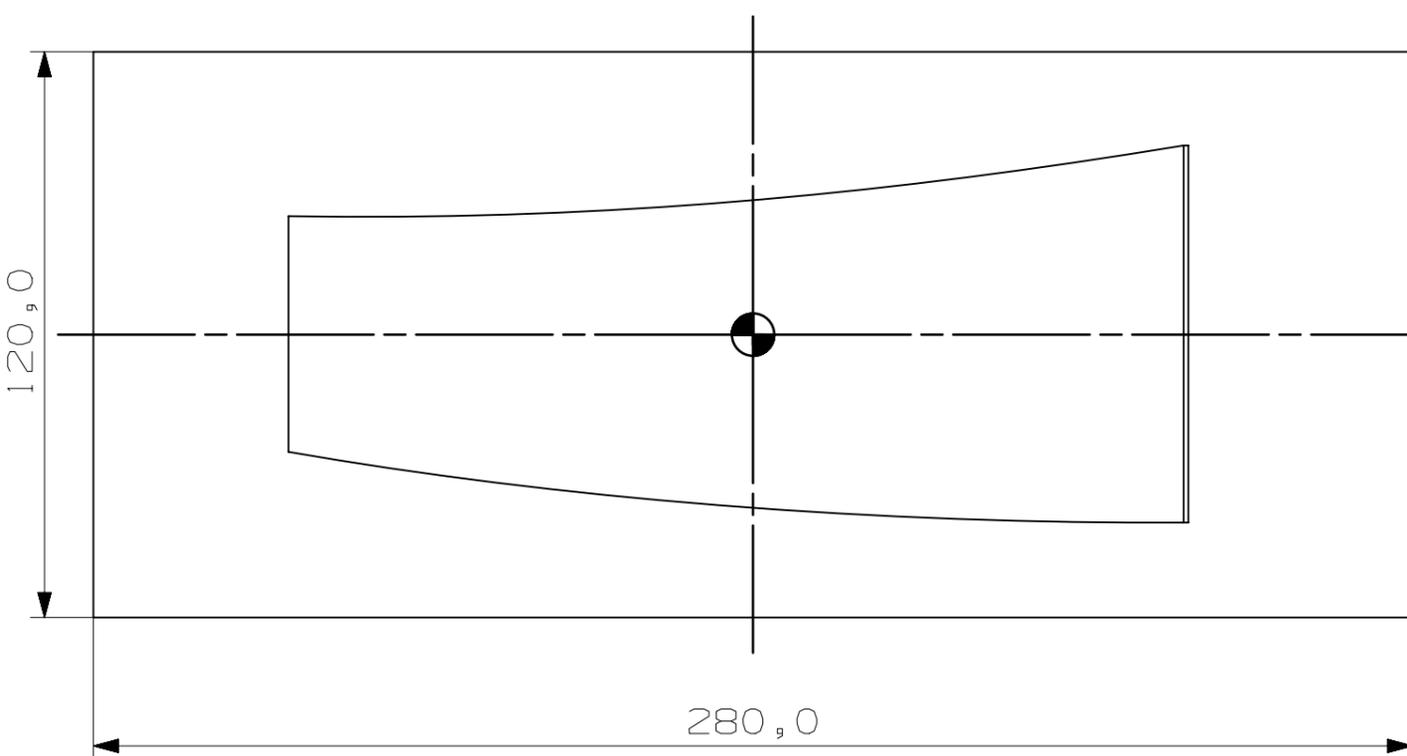
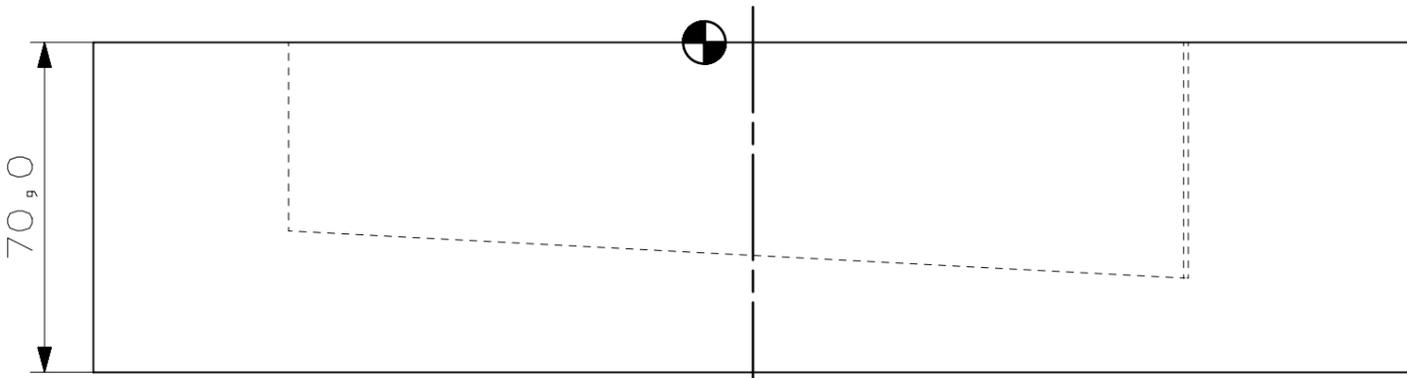
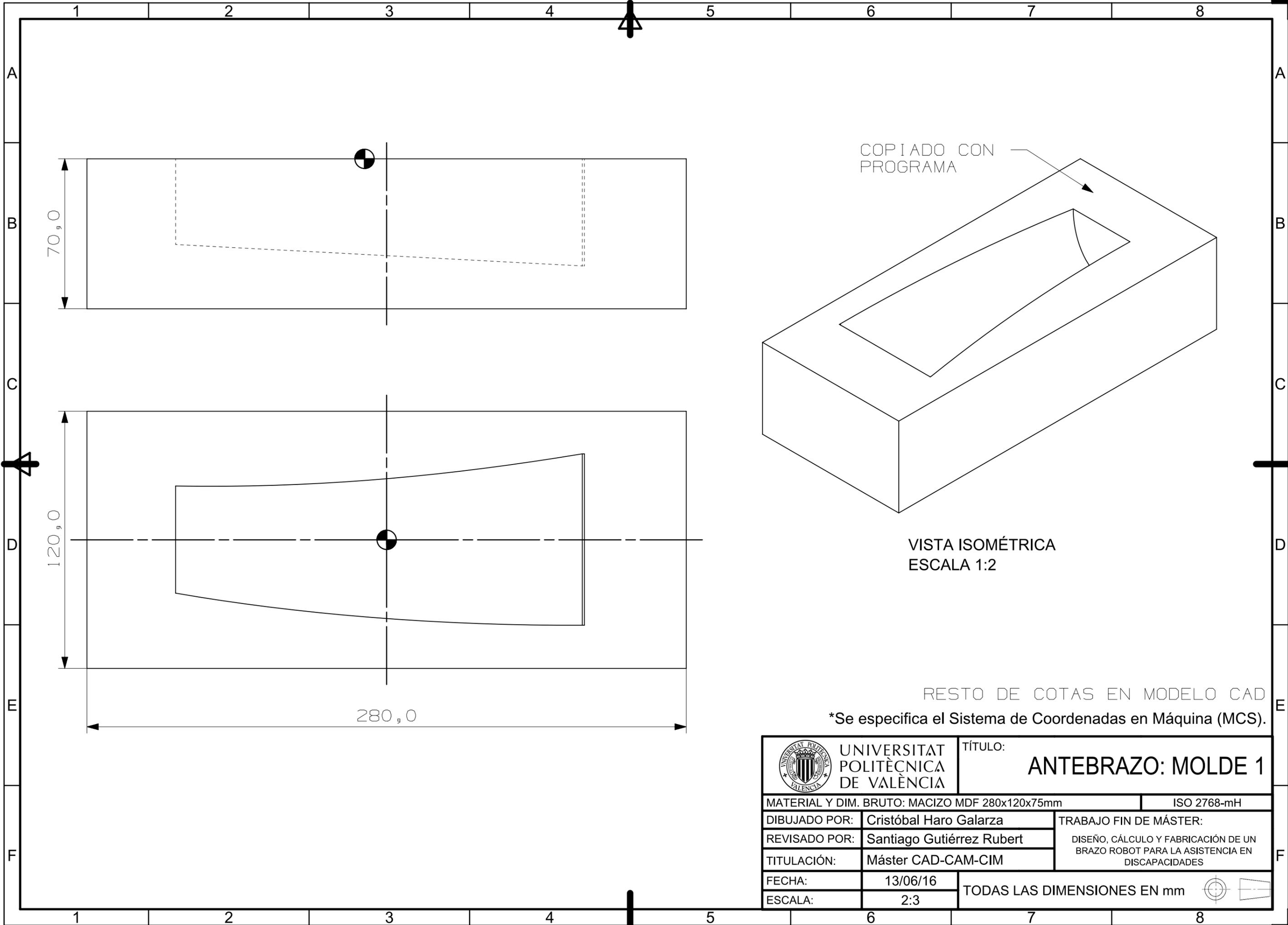
RESTO DE COTAS EN MODELO CAD

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO: BRAZO PARTE SUPERIOR	
	MATERIAL Y DIM. BRUTO: ABS, Impresión 3D	
DIBUJADO POR: Cristóbal Haro Galarza	TOLERANCIA: ± 0.25	
REVISADO POR: Santiago Gutiérrez Rubert	TRABAJO FIN DE MÁSTER:	
TITULACIÓN: Máster CAD-CAM-CIM	DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES	
FECHA: 01/05/16	TODAS LAS DIMENSIONES EN mm	
ESCALA: 1:2		



RESTO DE COTAS EN MODELO CAD

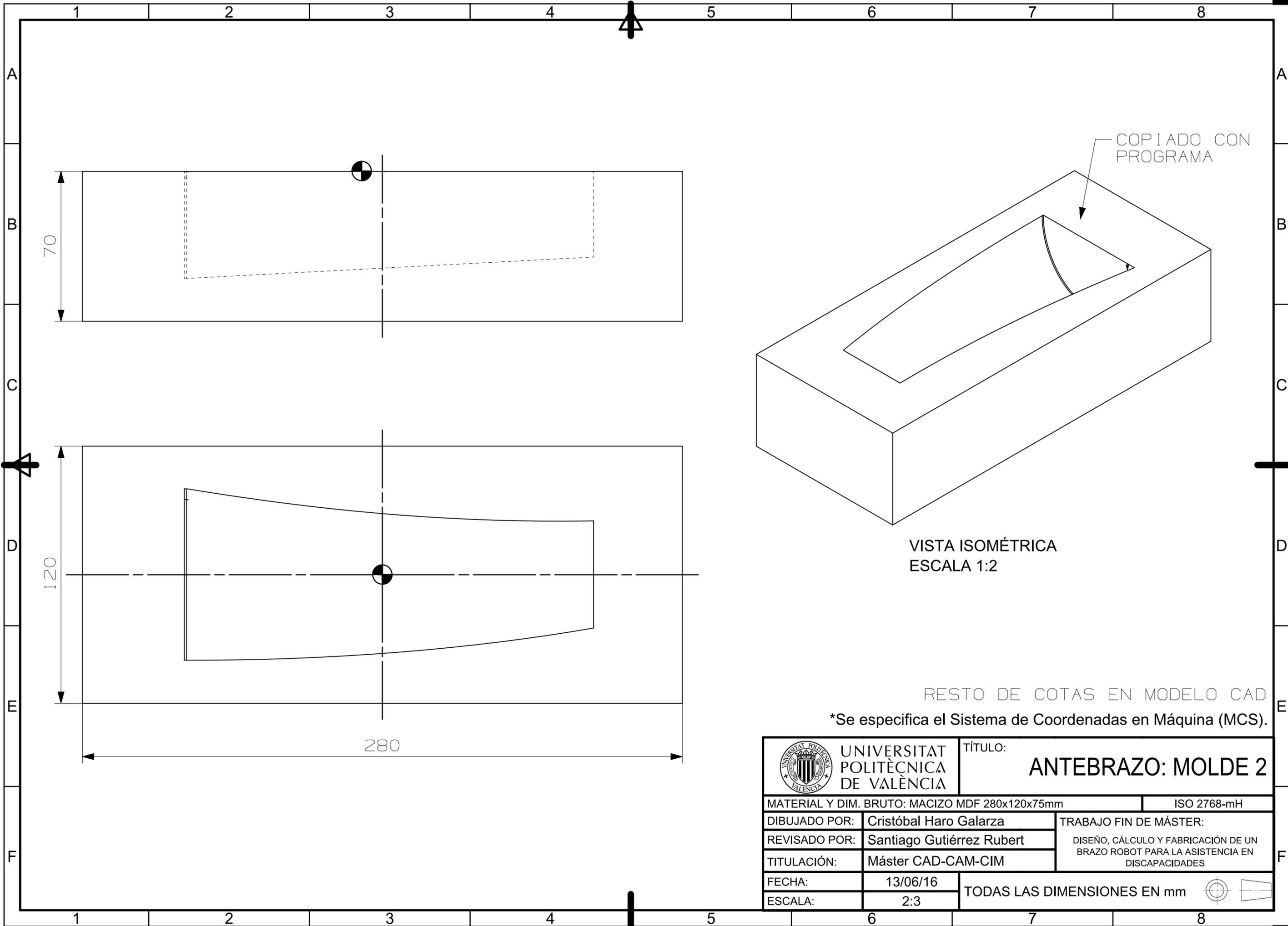
	UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO: TAPA HOMBRO
	MATERIAL Y DIM. BRUTO: ABS, Impresión 3D	TOLERANCIA: ±0.25
DIBUJADO POR: Cristóbal Haro Galarza	REVISADO POR: Santiago Gutiérrez Rubert	TRABAJO FIN DE MÁSTER: DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES
TITULACIÓN: Máster CAD-CAM-CIM	FECHA: 01/05/16	
ESCALA: 1:1	TODAS LAS DIMENSIONES EN mm	 



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:2

RESTO DE COTAS EN MODELO CAD
*Se especifica el Sistema de Coordenadas en Máquina (MCS).

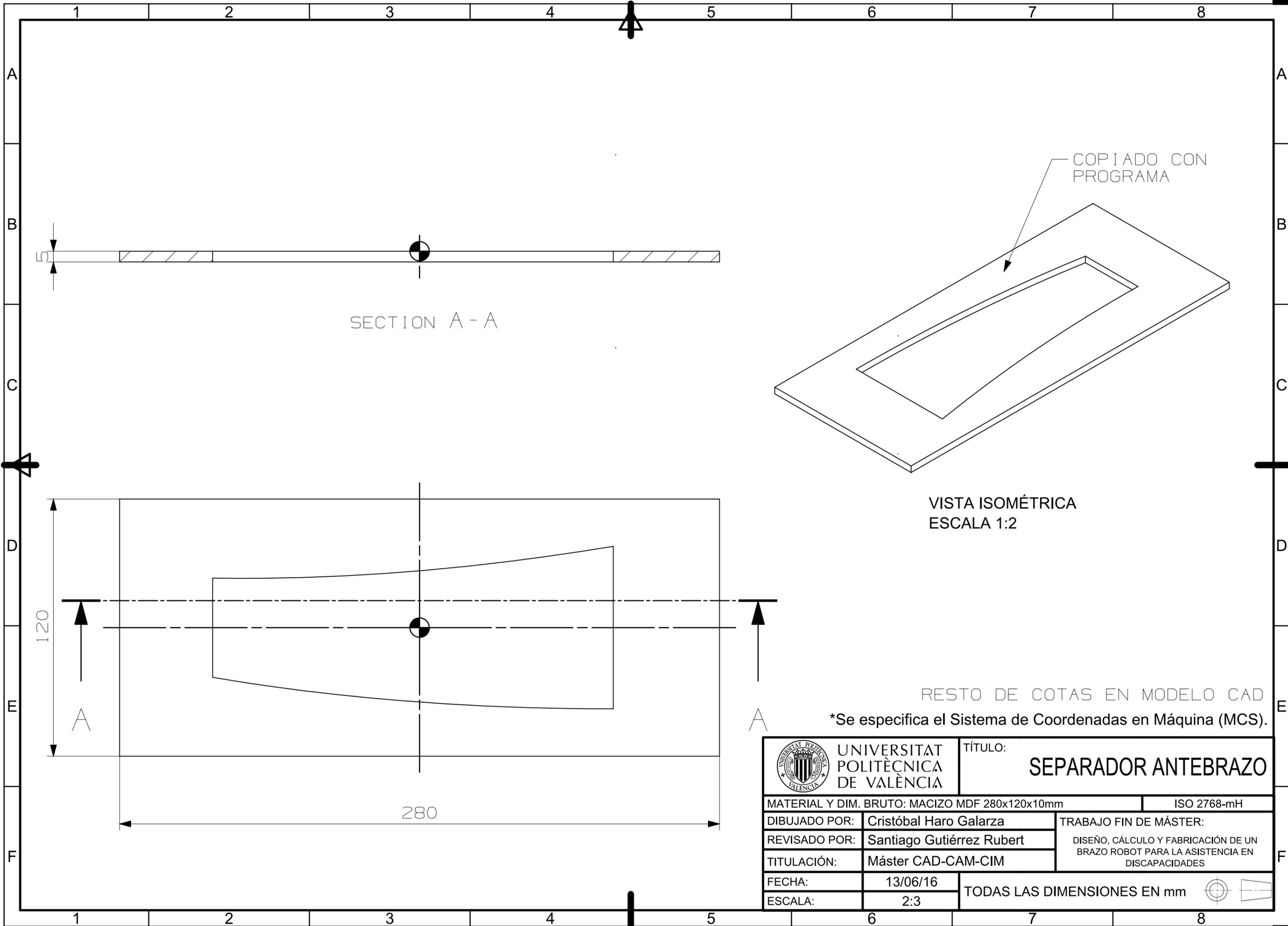
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO:	ANTEBRAZO: MOLDE 1
	MATERIAL Y DIM. BRUTO: MACIZO MDF 280x120x75mm	
DIBUJADO POR: Cristóbal Haro Galarza	TRABAJO FIN DE MÁSTER:	
REVISADO POR: Santiago Gutiérrez Rubert	DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES	
TITULACIÓN: Máster CAD-CAM-CIM		
FECHA: 13/06/16	TODAS LAS DIMENSIONES EN mm	
ESCALA: 2:3		



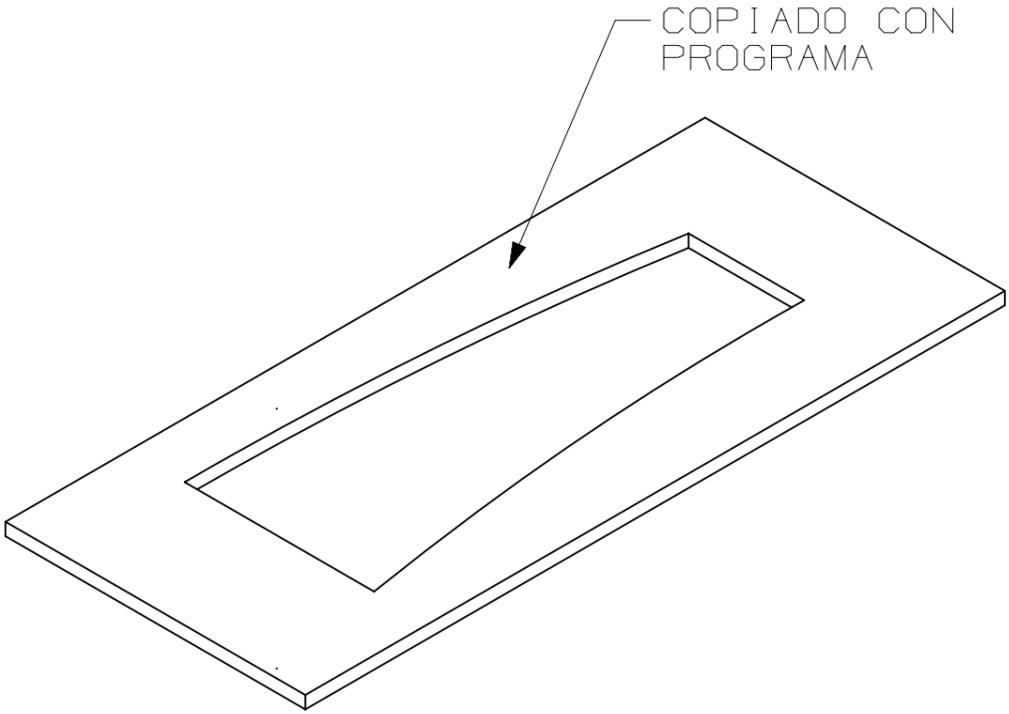
VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:2

RESTO DE COTAS EN MODELO CAD
*Se especifica el Sistema de Coordenadas en Máquina (MCS).

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO:	ANTEBRAZO: MOLDE 2
	MATERIAL Y DIM. BRUTO: MACIZO MDF 280x120x75mm	
DIBUJADO POR:	Cristóbal Haro Galarza	TRABAJO FIN DE MÁSTER: DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES
REVISADO POR:	Santiago Gutiérrez Rubert	
TITULACIÓN:	Máster CAD-CAM-CIM	
FECHA:	13/06/16	TODAS LAS DIMENSIONES EN mm
ESCALA:	2:3	



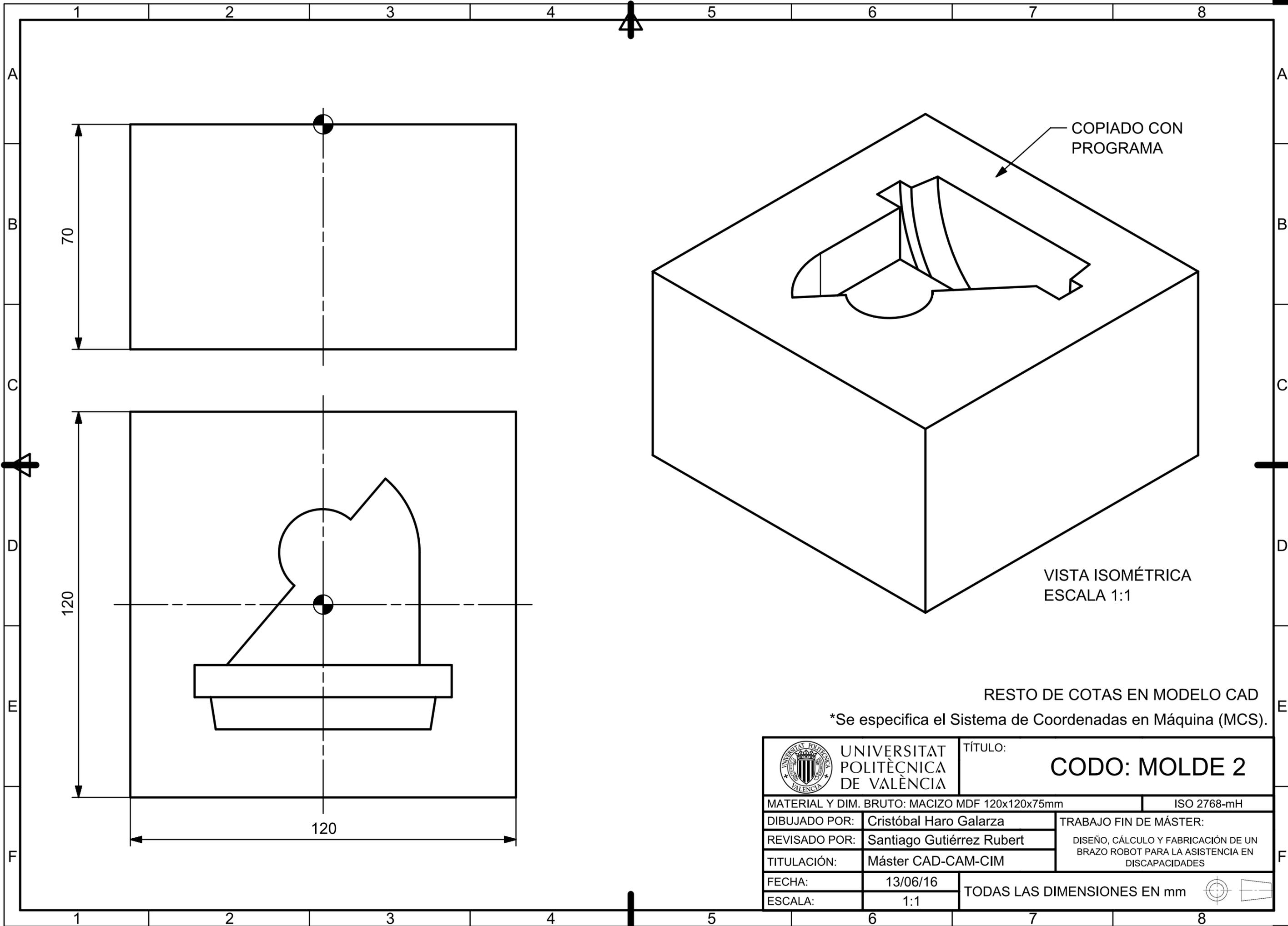
SECTION A - A



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:2

RESTO DE COTAS EN MODELO CAD
*Se especifica el Sistema de Coordenadas en Máquina (MCS).

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO:		SEPARADOR ANTEBRAZO
	MATERIAL Y DIM. BRUTO: MACIZO MDF 280x120x10mm		
DIBUJADO POR:	Cristóbal Haro Galarza	TRABAJO FIN DE MÁSTER:	
REVISADO POR:	Santiago Gutiérrez Rubert	DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES	
TITULACIÓN:	Máster CAD-CAM-CIM		
FECHA:	13/06/16	TODAS LAS DIMENSIONES EN mm 	
ESCALA:	2:3		



70

120

120

COPIADO CON PROGRAMA

VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:1

RESTO DE COTAS EN MODELO CAD

*Se especifica el Sistema de Coordenadas en Máquina (MCS).



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TÍTULO:

CODO: MOLDE 2

MATERIAL Y DIM. BRUTO: MACIZO MDF 120x120x75mm

ISO 2768-mH

DIBUJADO POR:

Cristóbal Haro Galarza

TRABAJO FIN DE MÁSTER:

REVISADO POR:

Santiago Gutiérrez Rubert

DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN
BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN
DISCAPACIDADES

TITULACIÓN:

Máster CAD-CAM-CIM

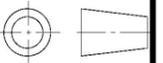
FECHA:

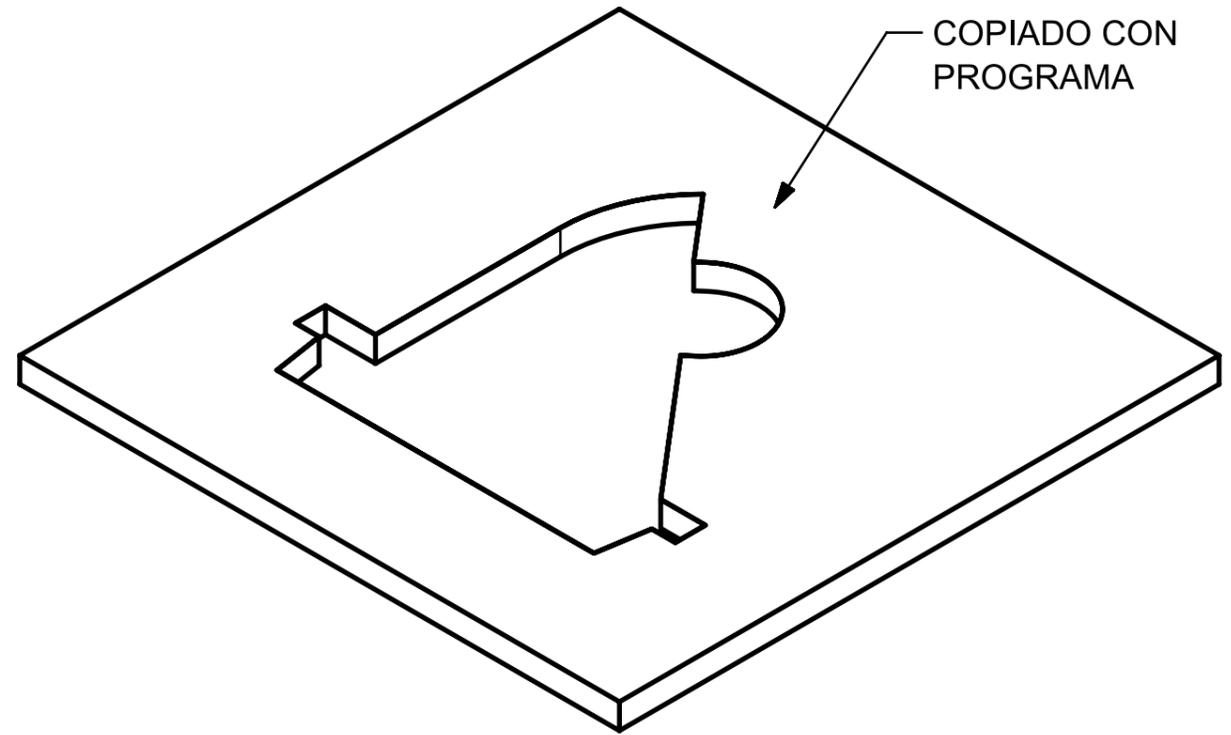
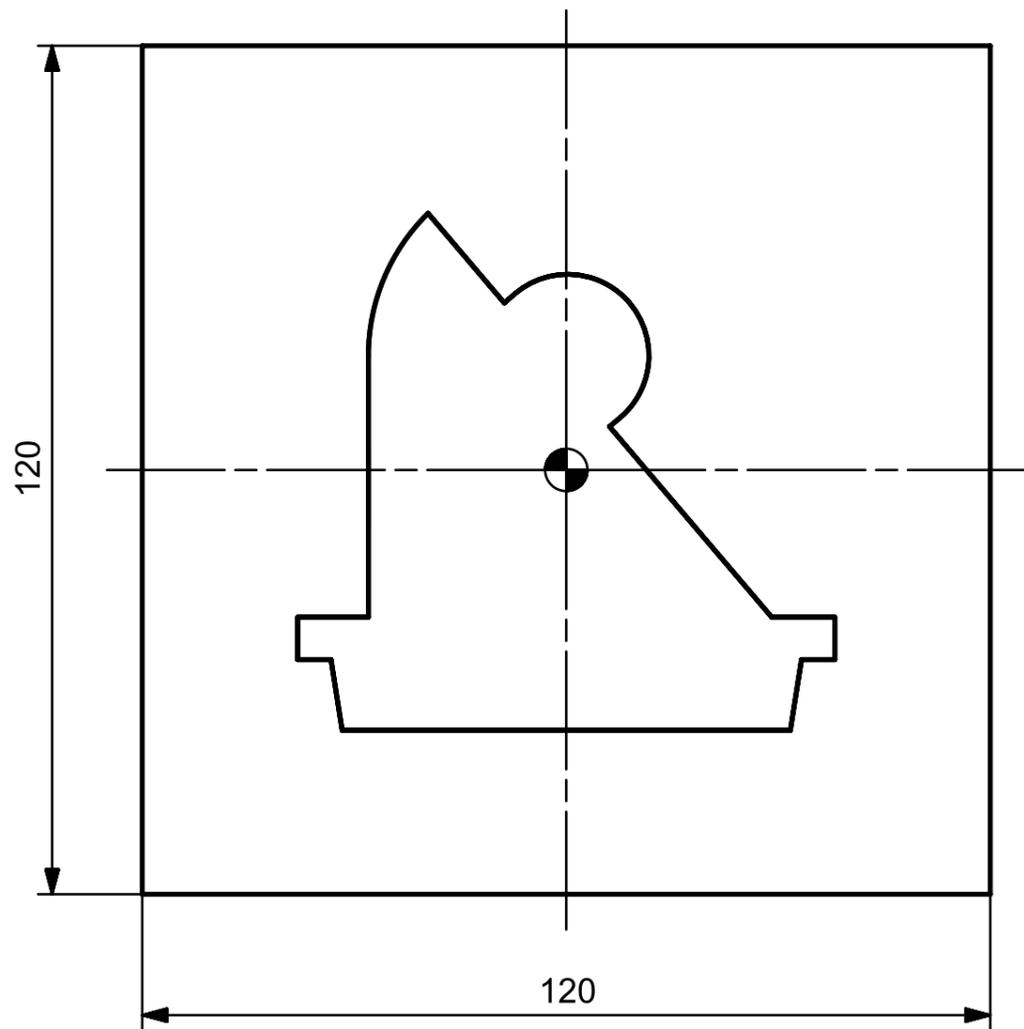
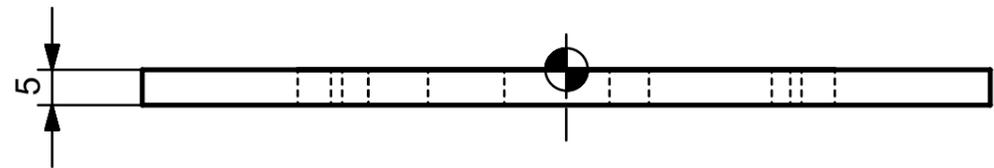
13/06/16

TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

ESCALA:

1:1

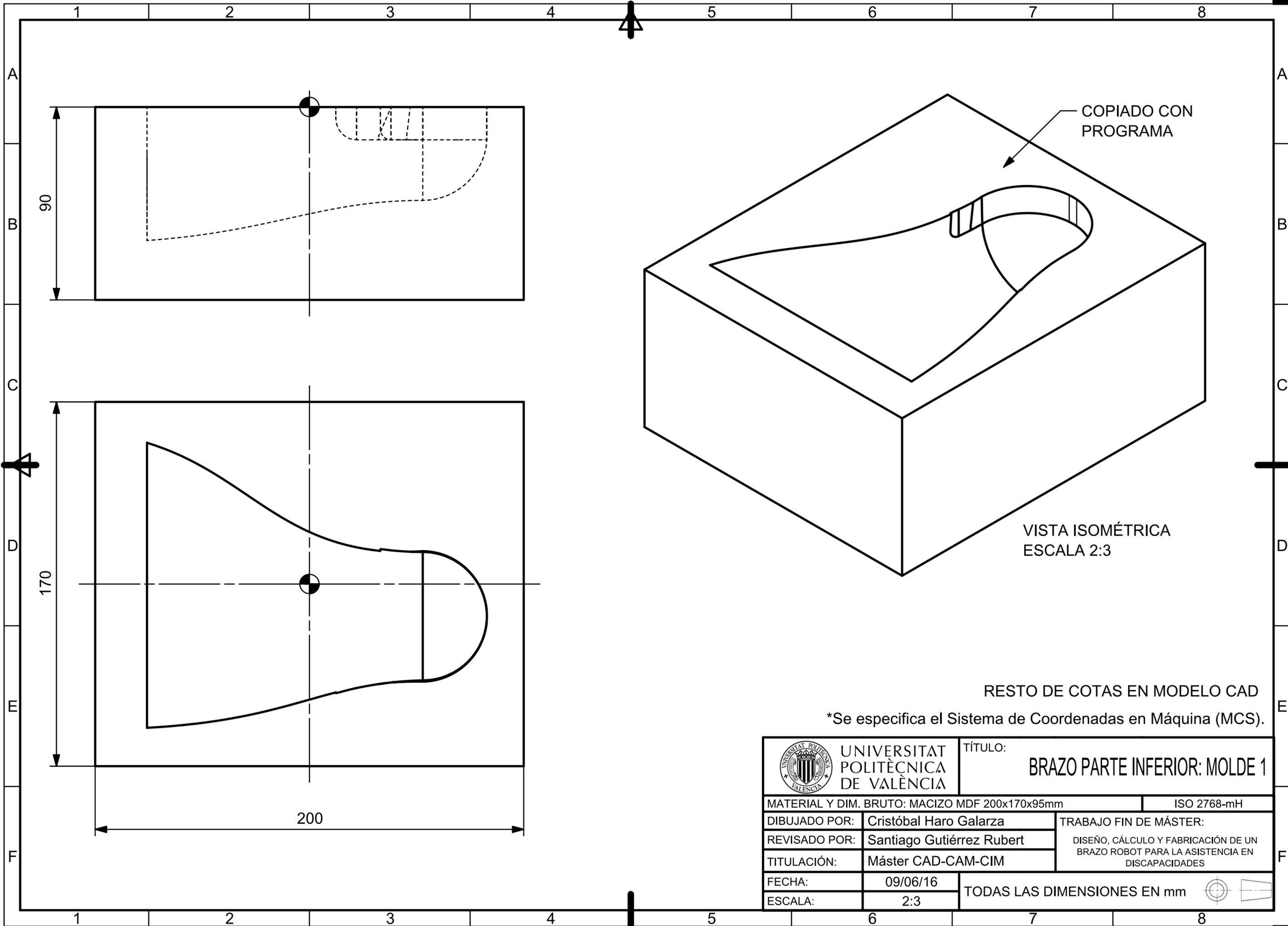




VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:1

RESTO DE COTAS EN MODELO CAD
*Se especifica el Sistema de Coordenadas en Máquina (MCS).

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO:	
	SEPARADOR CODO	
MATERIAL Y DIM. BRUTO: MACIZO MDF 120x120x10mm		ISO 2768-mH
DIBUJADO POR:	Cristóbal Haro Galarza	TRABAJO FIN DE MÁSTER: DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES
REVISADO POR:	Santiago Gutiérrez Rubert	
TITULACIÓN:	Máster CAD-CAM-CIM	
FECHA:	13/06/16	TODAS LAS DIMENSIONES EN mm
ESCALA:	1:1	



90

170

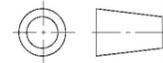
200

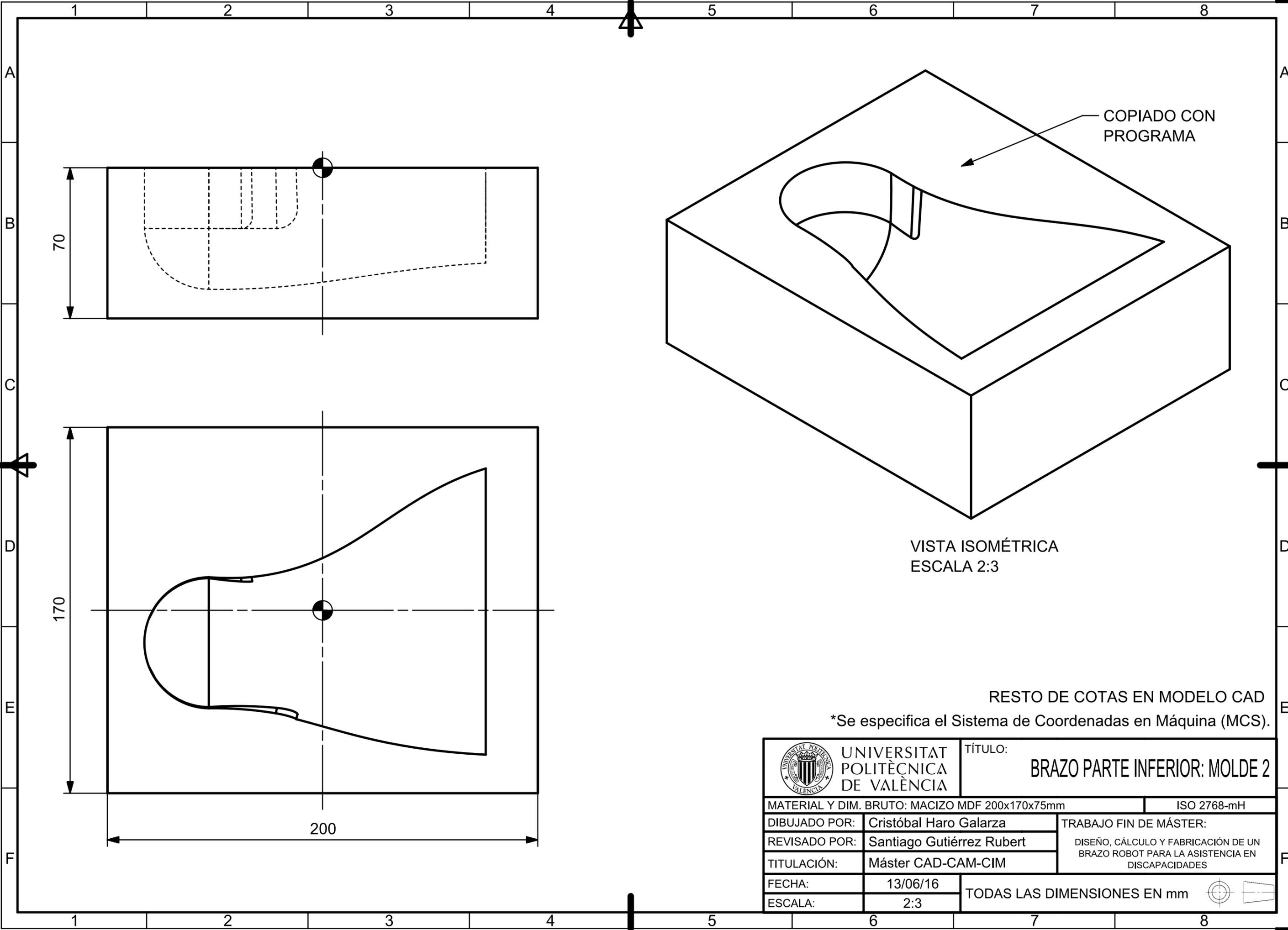
COPIADO CON PROGRAMA

VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 2:3

RESTO DE COTAS EN MODELO CAD

*Se especifica el Sistema de Coordenadas en Máquina (MCS).

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		TÍTULO: BRAZO PARTE INFERIOR: MOLDE 1	
MATERIAL Y DIM. BRUTO: MACIZO MDF 200x170x95mm		ISO 2768-mH	
DIBUJADO POR: Cristóbal Haro Galarza	TRABAJO FIN DE MÁSTER:		DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES
REVISADO POR: Santiago Gutiérrez Rubert	TITULACIÓN: Máster CAD-CAM-CIM		
FECHA: 09/06/16	TODAS LAS DIMENSIONES EN mm		
ESCALA: 2:3			



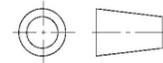
COPIADO CON PROGRAMA

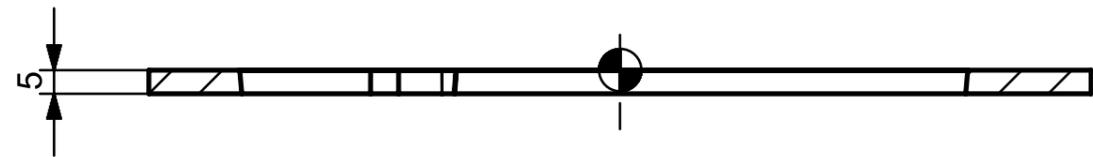
VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 2:3

RESTO DE COTAS EN MODELO CAD

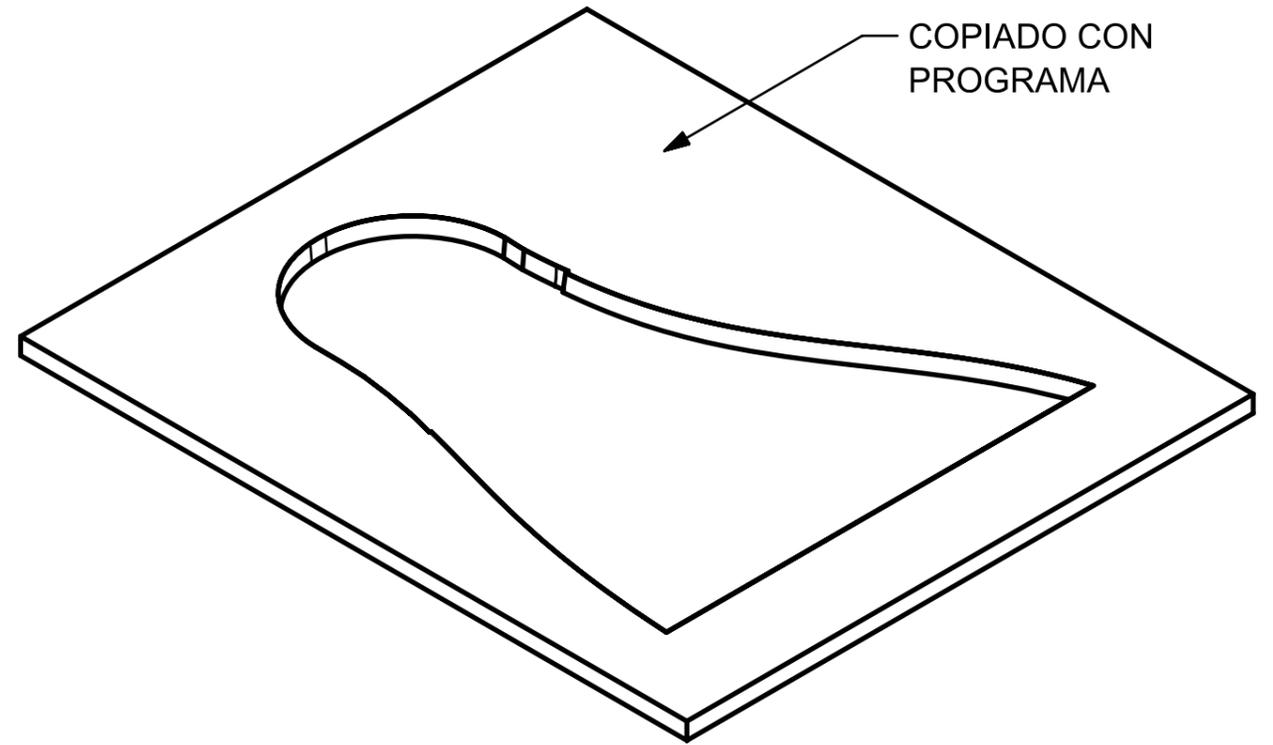
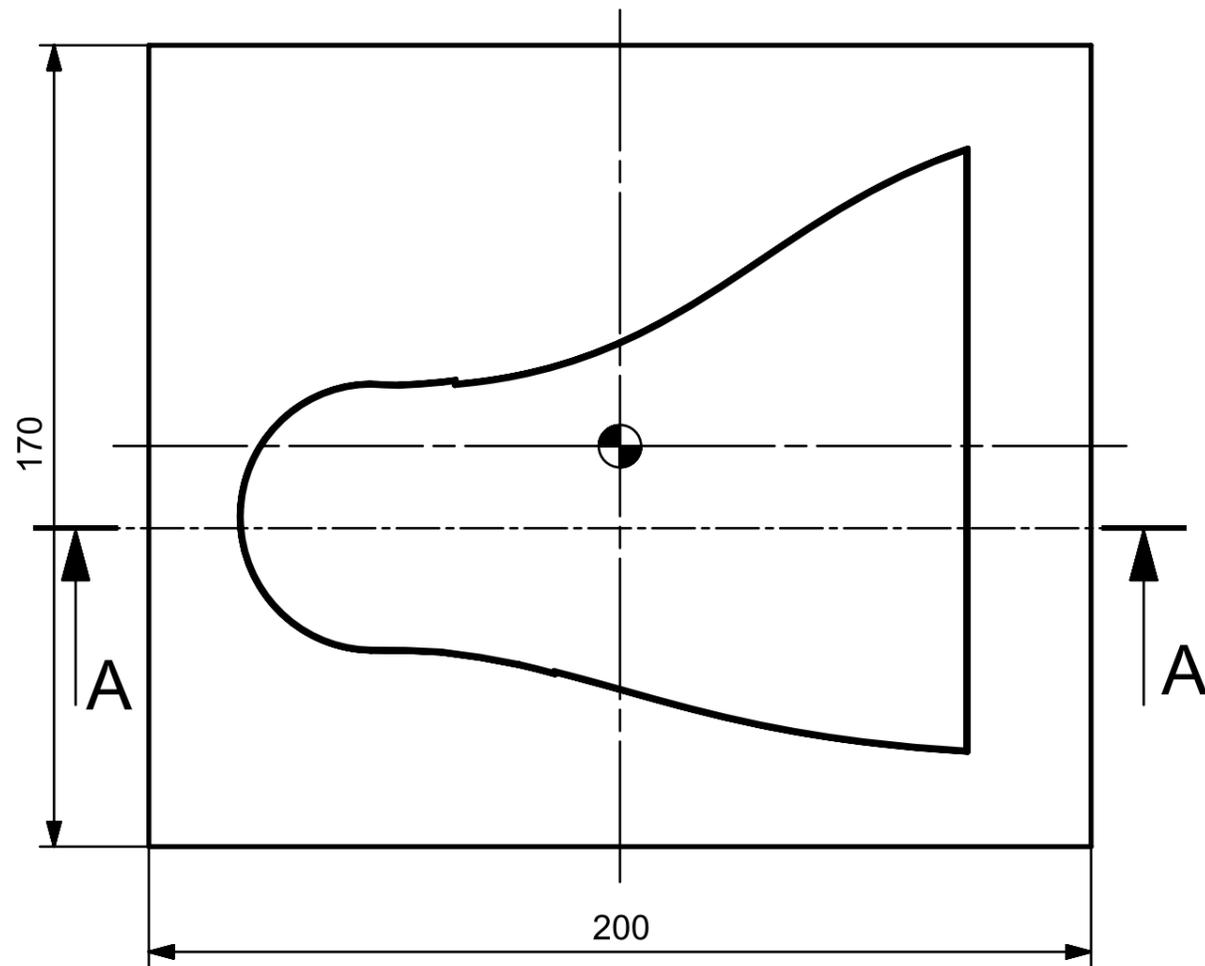
*Se especifica el Sistema de Coordenadas en Máquina (MCS).

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO:	
	BRAZO PARTE INFERIOR: MOLDE 2	
MATERIAL Y DIM. BRUTO: MACIZO MDF 200x170x75mm		ISO 2768-mH
DIBUJADO POR:	Cristóbal Haro Galarza	TRABAJO FIN DE MÁSTER: DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES
REVISADO POR:	Santiago Gutiérrez Rubert	
TITULACIÓN:	Máster CAD-CAM-CIM	
FECHA:	13/06/16	TODAS LAS DIMENSIONES EN mm
ESCALA:	2:3	





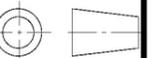
SECTION A-A

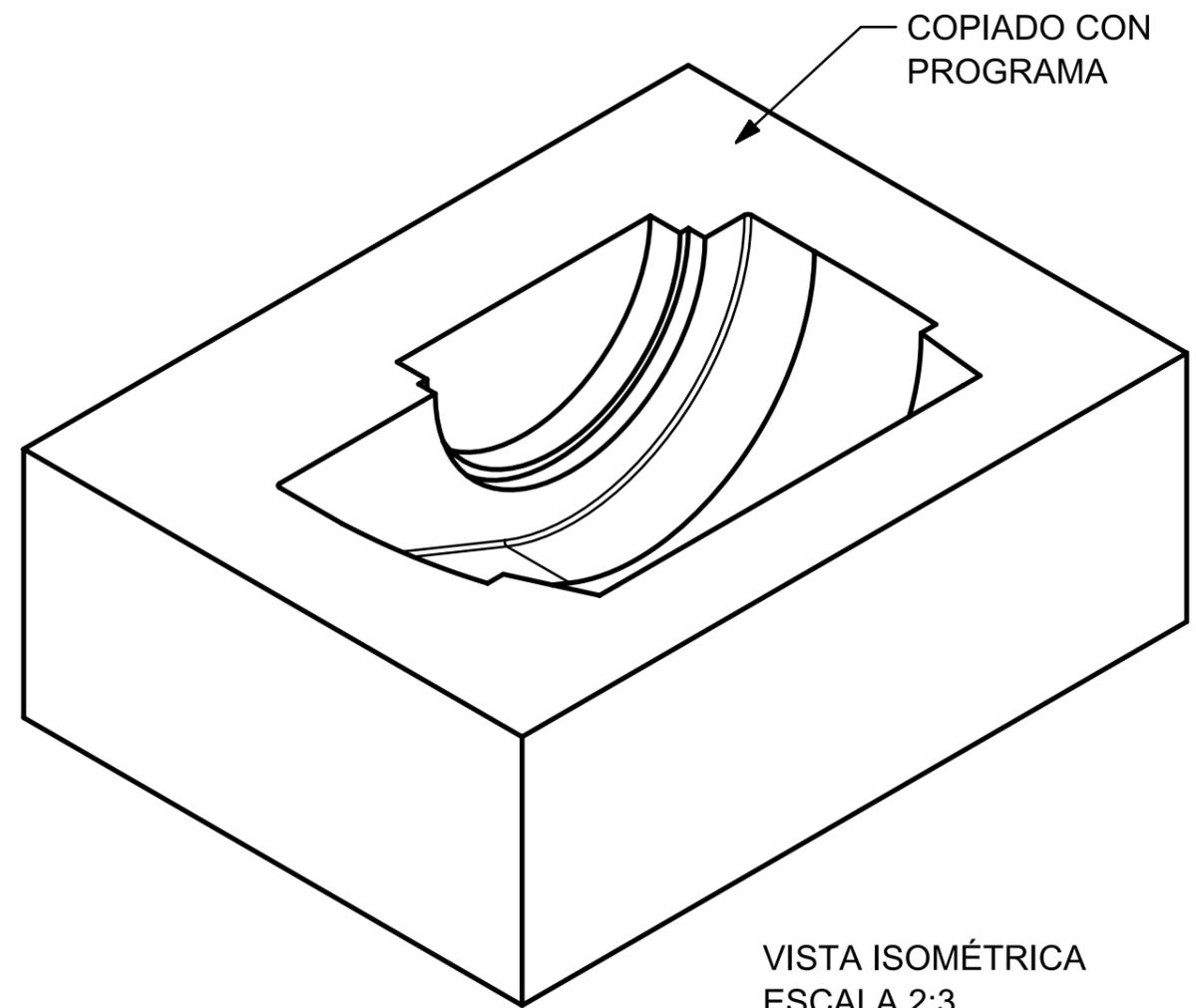
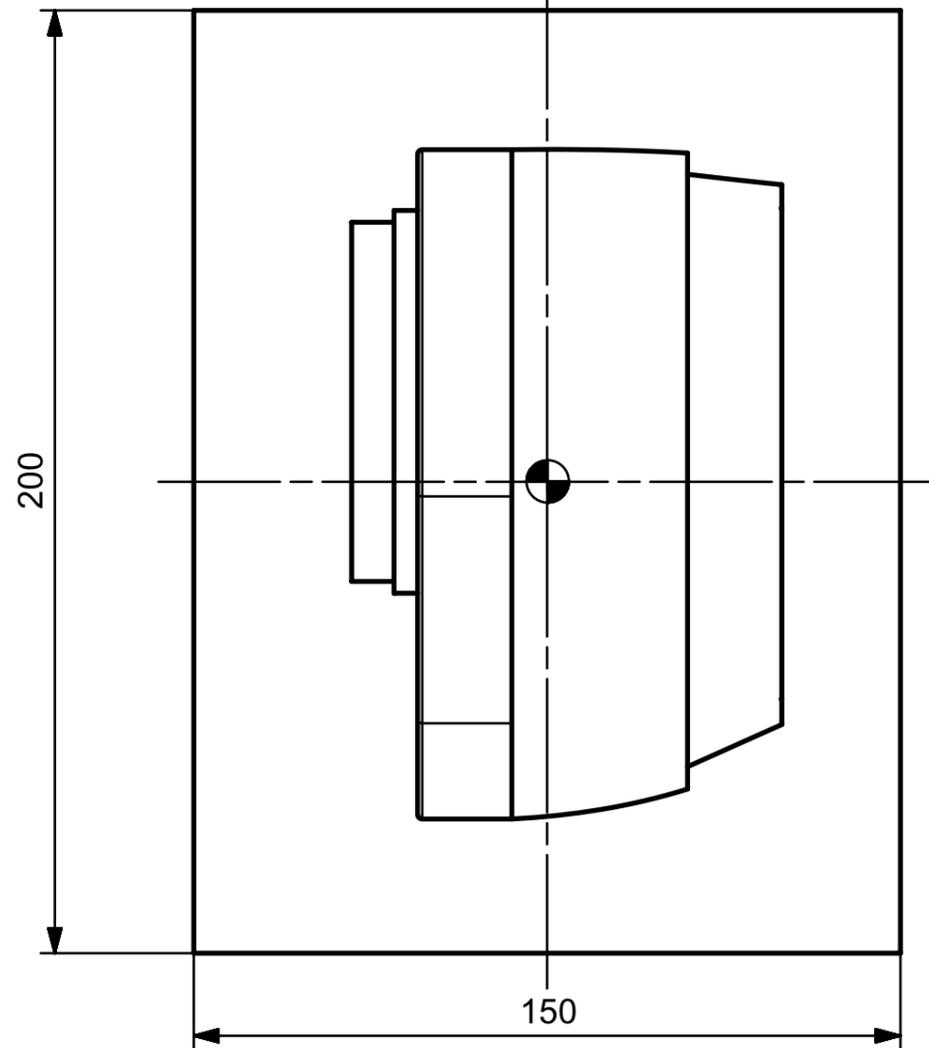
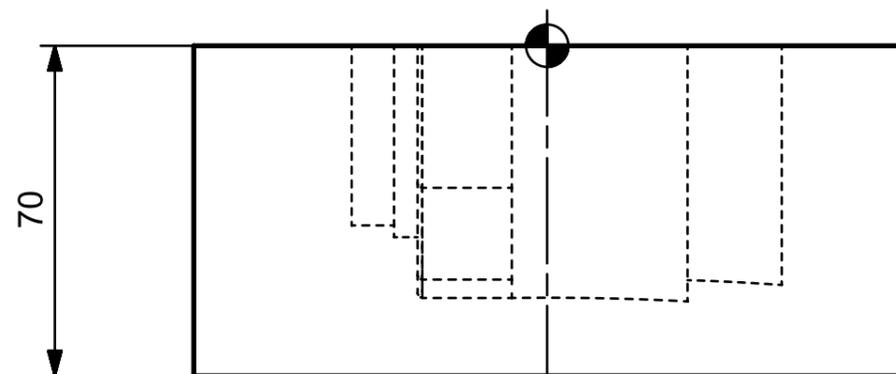


VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 2:3

RESTO DE COTAS EN MODELO CAD
*Se especifica el Sistema de Coordenadas en Máquina (MCS).

 UNIVERSITAT POLITÀCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO:		SEPARADOR BRAZO PARTE INFERIOR
	MATERIAL Y DIM. BRUTO: MACIZO MDF 200x170x10mm		
DIBUJADO POR:	Cristóbal Haro Galarza	TRABAJO FIN DE MÁSTER:	
REVISADO POR:	Santiago Gutiérrez Rubert	DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES	
TITULACIÓN:	Máster CAD-CAM-CIM		
FECHA:	08/06/16	TODAS LAS DIMENSIONES EN mm	
ESCALA:	2:3		



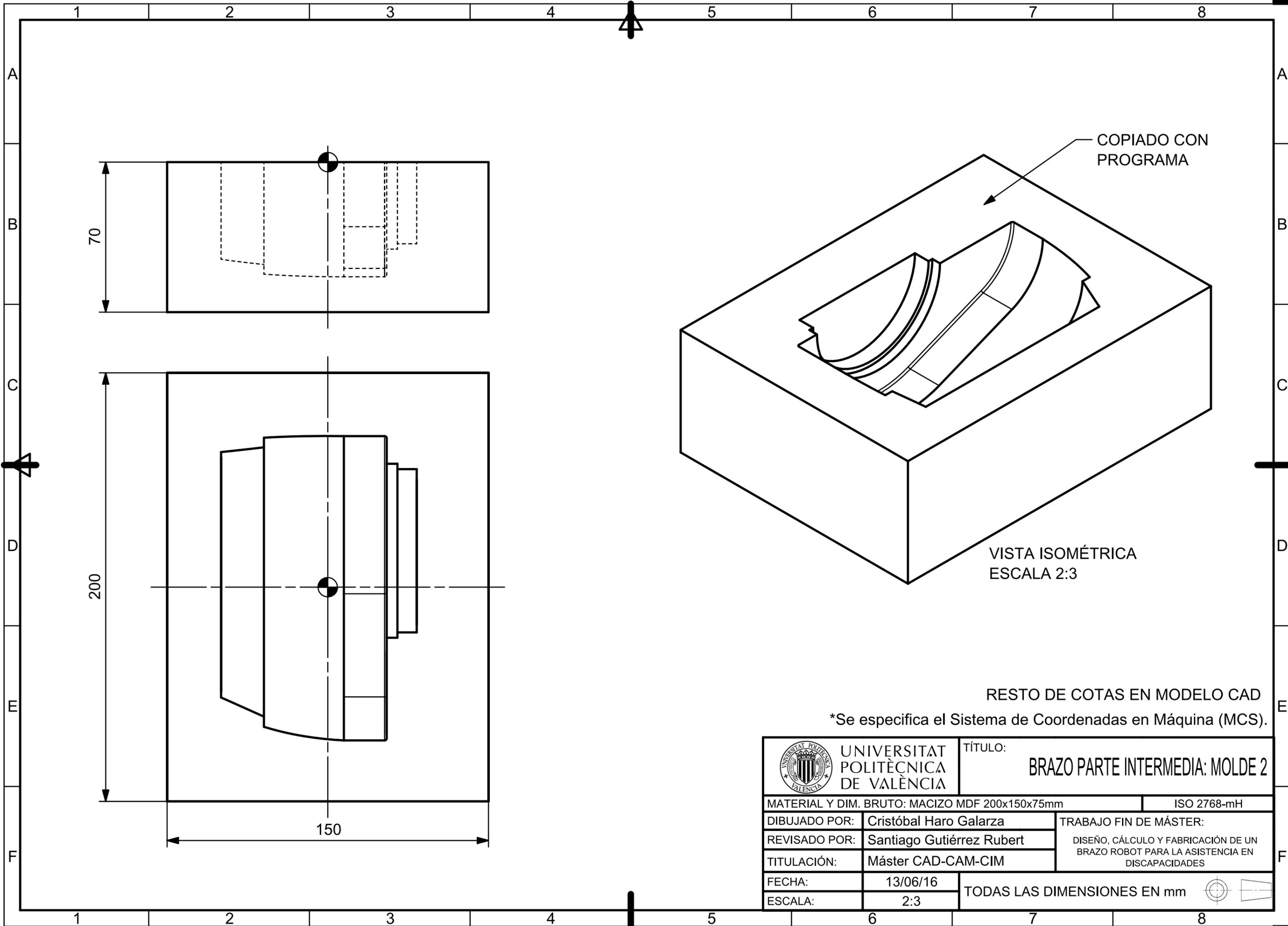


VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 2:3

RESTO DE COTAS EN MODELO CAD

*Se especifica el Sistema de Coordenadas en Máquina (MCS).

	UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO: BRAZO PARTE INTERMEDIA: MOLDE 1
	MATERIAL Y DIM. BRUTO: MACIZO MDF 200x150x75mm	ISO 2768-mH
DIBUJADO POR: Cristóbal Haro Galarza	REVISADO POR: Santiago Gutiérrez Rubert	TRABAJO FIN DE MÁSTER: DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES
TITULACIÓN: Máster CAD-CAM-CIM	FECHA: 13/06/16	
ESCALA: 2:3	TODAS LAS DIMENSIONES EN mm	



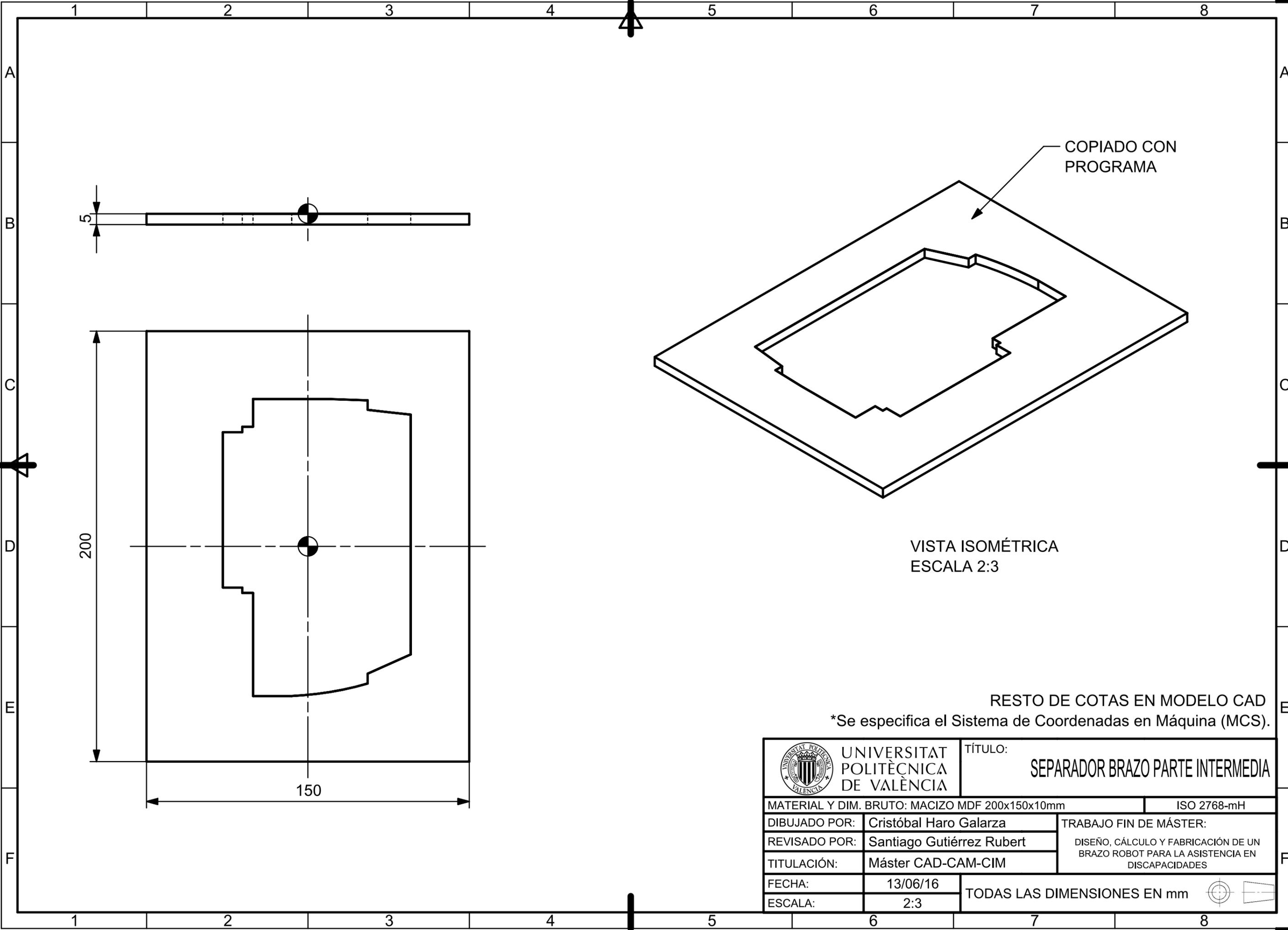
COPIADO CON PROGRAMA

VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 2:3

RESTO DE COTAS EN MODELO CAD

*Se especifica el Sistema de Coordenadas en Máquina (MCS).

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO: BRAZO PARTE INTERMEDIA: MOLDE 2	
	MATERIAL Y DIM. BRUTO: MACIZO MDF 200x150x75mm	
DIBUJADO POR: Cristóbal Haro Galarza	ISO 2768-mH	
REVISADO POR: Santiago Gutiérrez Rubert	TRABAJO FIN DE MÁSTER:	
TITULACIÓN: Máster CAD-CAM-CIM	DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES	
FECHA: 13/06/16	TODAS LAS DIMENSIONES EN mm	
ESCALA: 2:3		



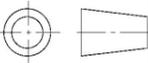
COPIADO CON PROGRAMA

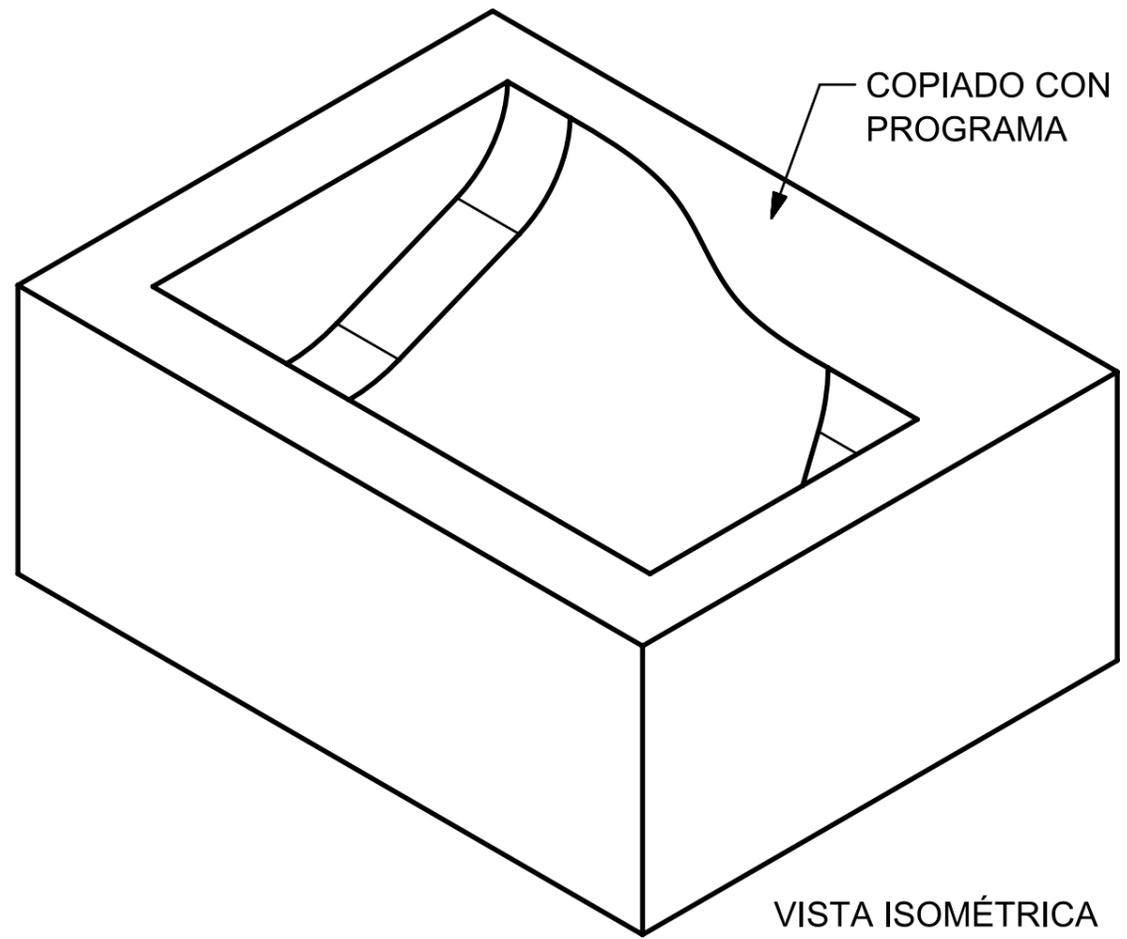
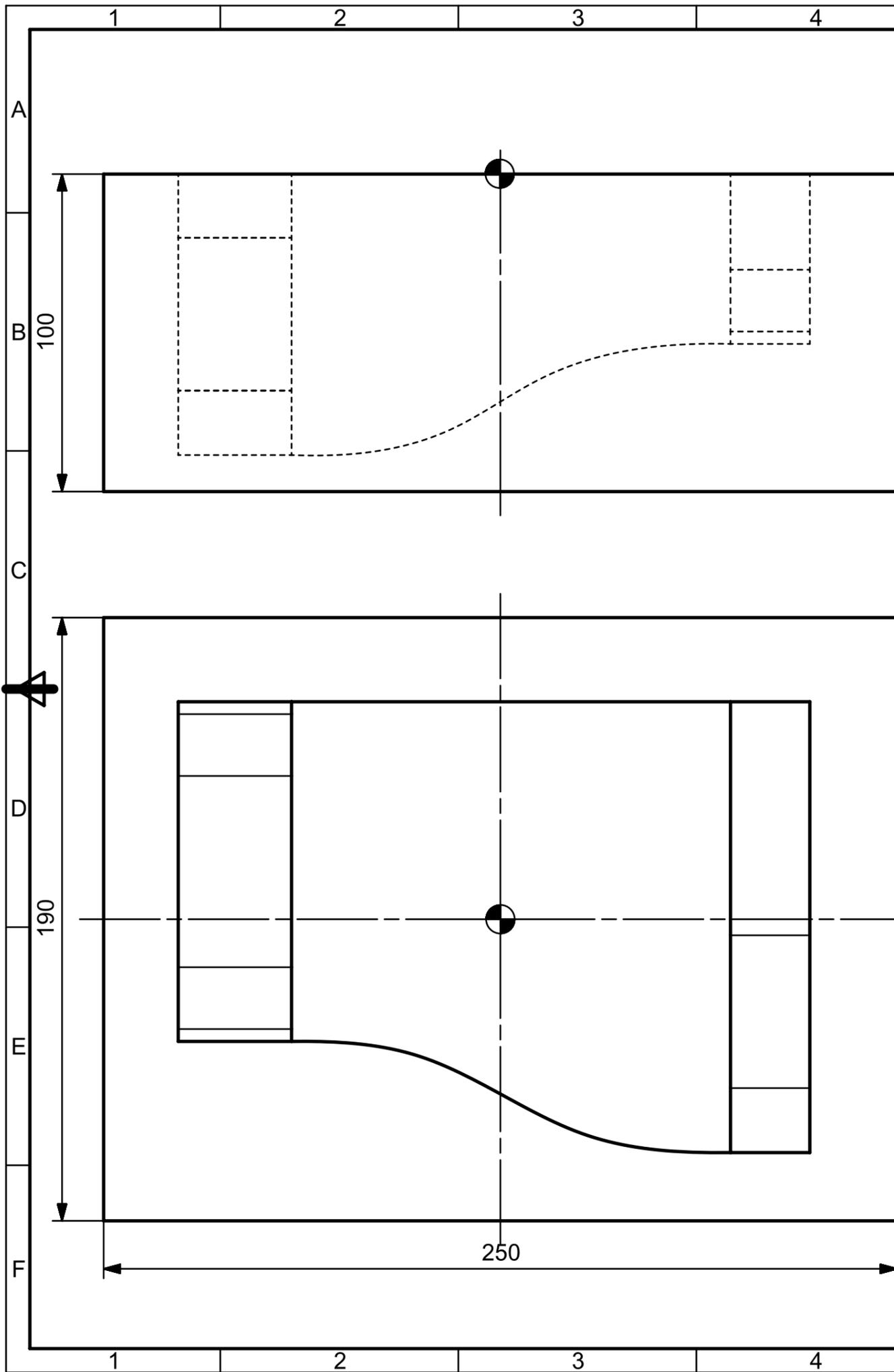
VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 2:3

RESTO DE COTAS EN MODELO CAD

*Se especifica el Sistema de Coordenadas en Máquina (MCS).

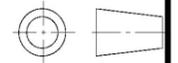
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO: SEPARADOR BRAZO PARTE INTERMEDIA	
	MATERIAL Y DIM. BRUTO: MACIZO MDF 200x150x10mm	
DIBUJADO POR: Cristóbal Haro Galarza	TRABAJO FIN DE MÁSTER:	
REVISADO POR: Santiago Gutiérrez Rubert	DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES	
TITULACIÓN: Máster CAD-CAM-CIM		
FECHA: 13/06/16	TODAS LAS DIMENSIONES EN mm	
ESCALA: 2:3		

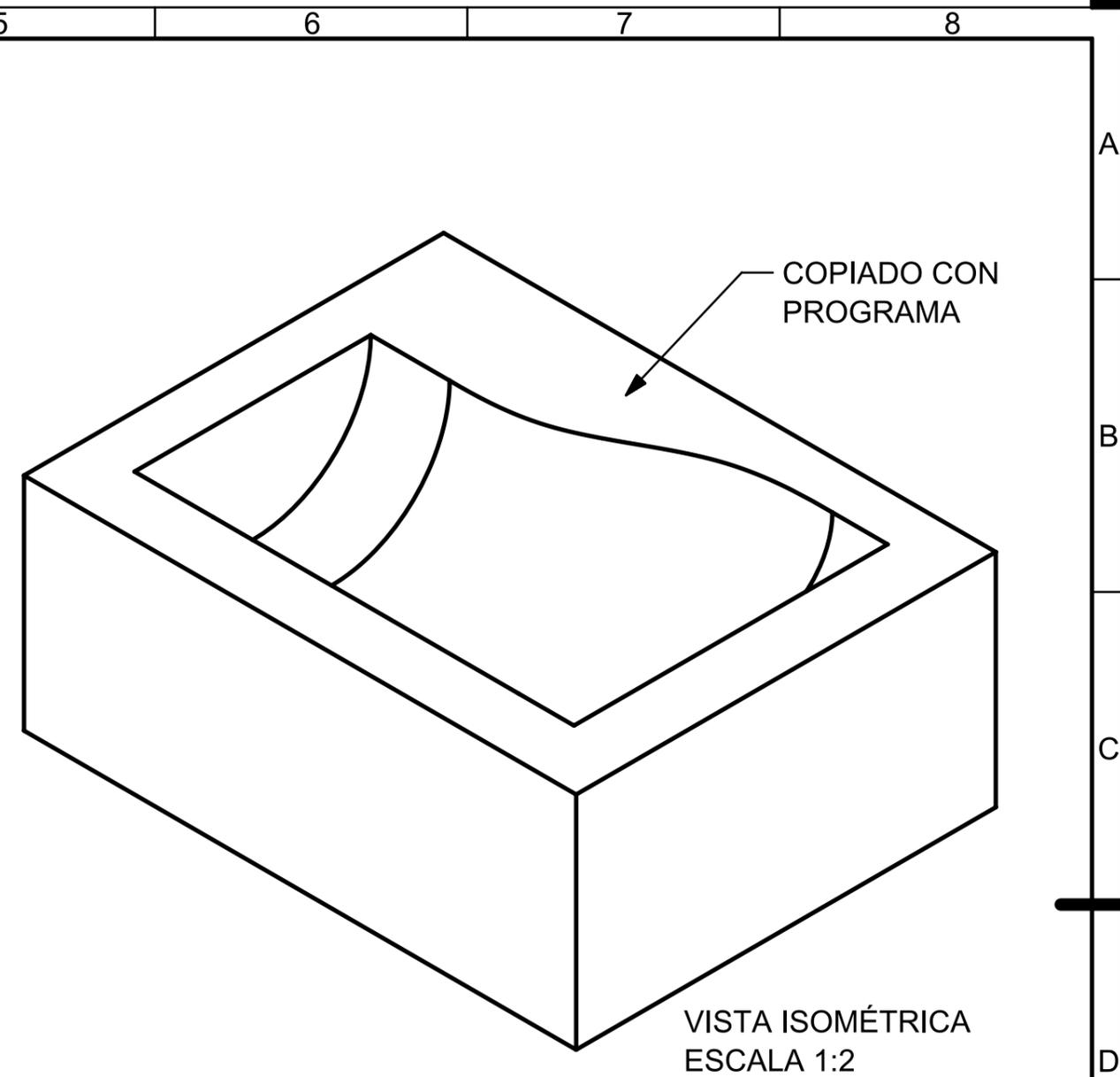
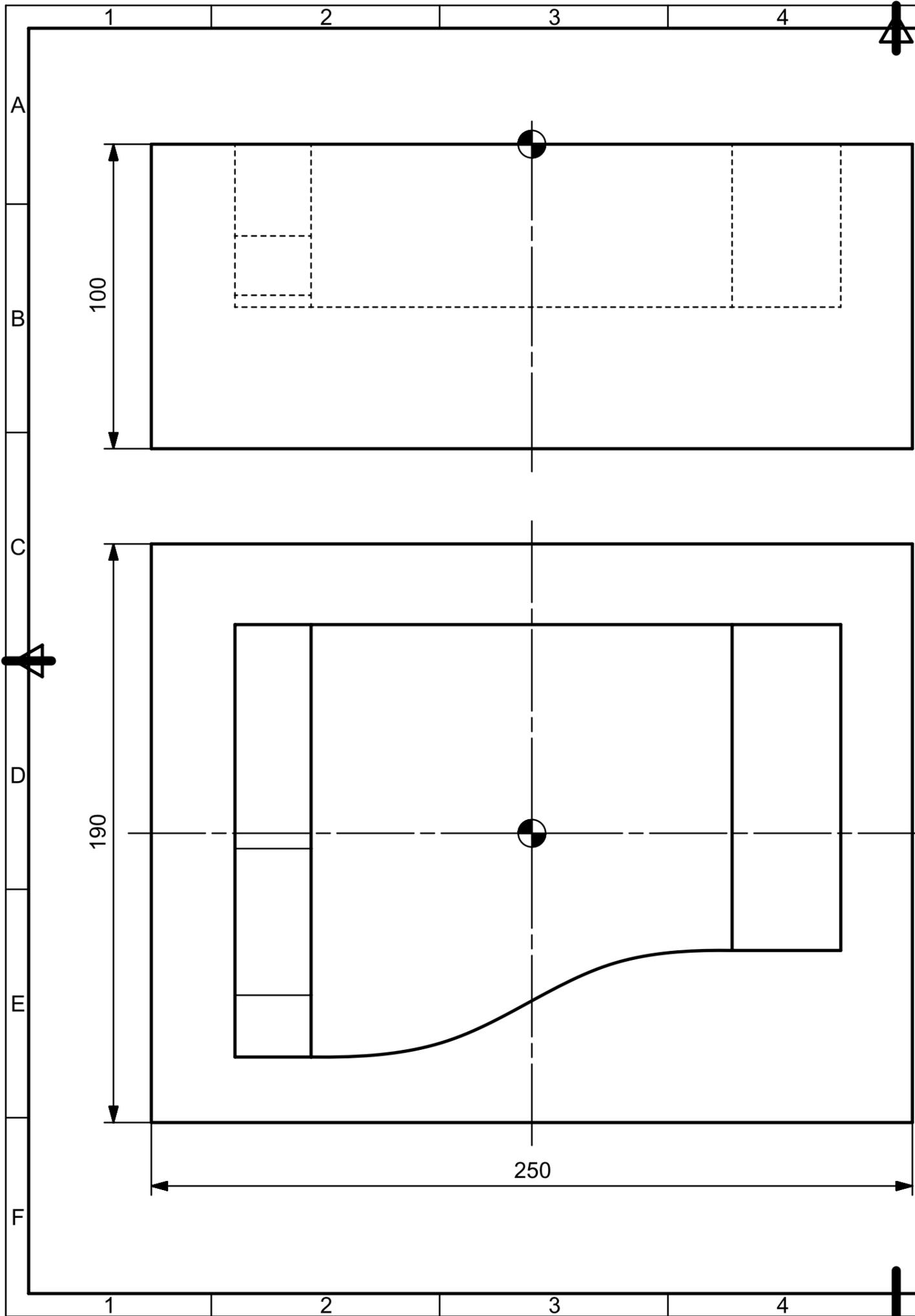




RESTO DE COTAS EN MODELO CAD
 *Se especifica el Sistema de Coordenadas en Máquina (MCS).

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO:	BRAZO PARTE SUPERIOR: MOLDE 1
	MATERIAL Y DIM. BRUTO: MACIZO MDF 250x190x110mm	
DIBUJADO POR:	Cristóbal Haro Galarza	TRABAJO FIN DE MÁSTER:
REVISADO POR:	Santiago Gutiérrez Rubert	DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES
TITULACIÓN:	Máster CAD-CAM-CIM	
FECHA:	13/06/16	TODAS LAS DIMENSIONES EN mm
ESCALA:	2:3	

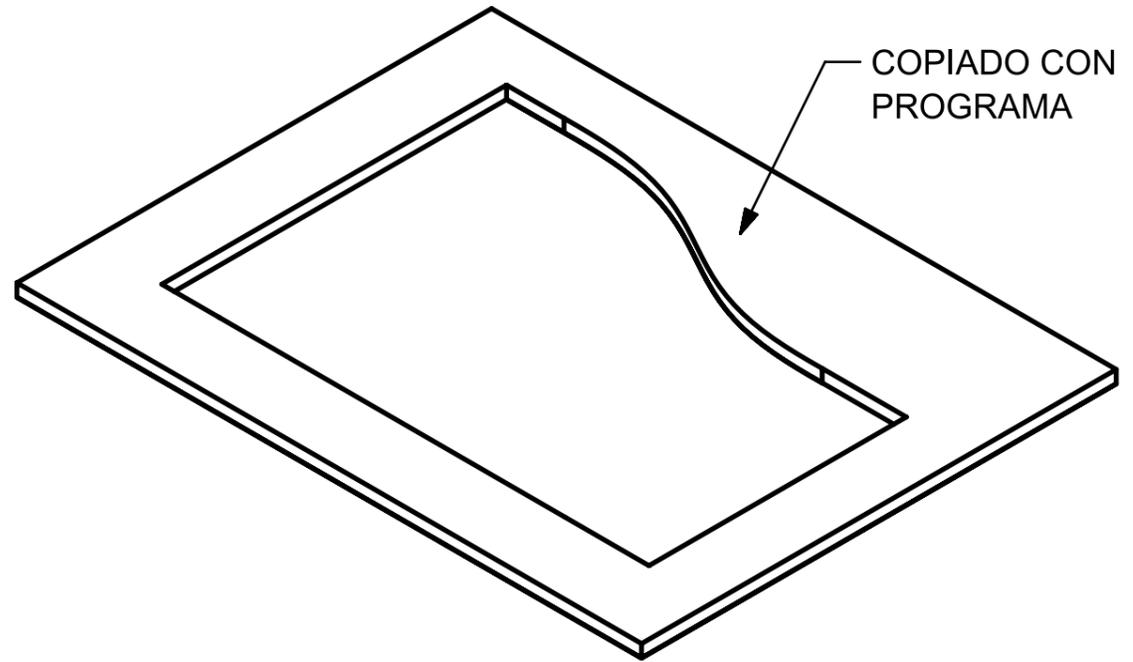
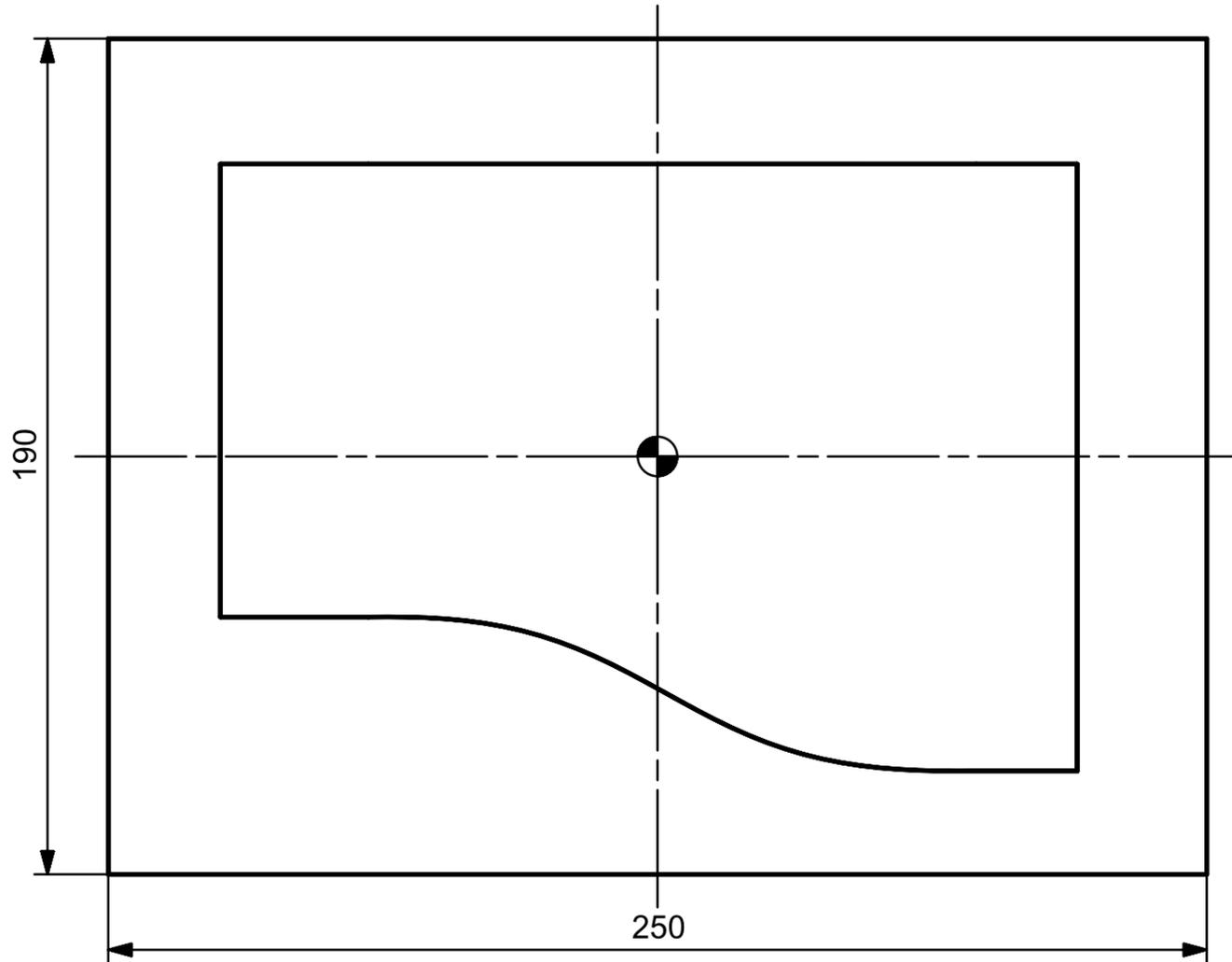
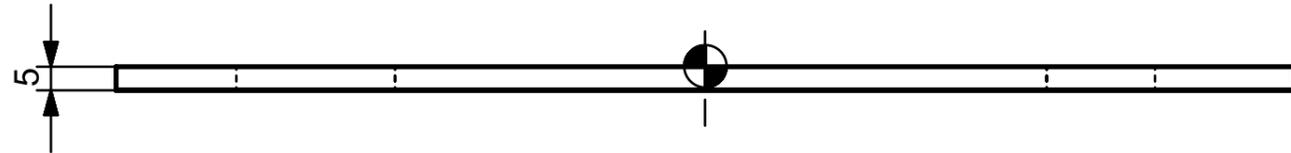




RESTO DE COTAS EN MODELO CAD
 *Se especifica el Sistema de Coordenadas en Máquina (MCS).

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO:	
	BRAZO PARTE SUPERIOR: MOLDE 2	
MATERIAL Y DIM. BRUTO: MACIZO MDF 250x190x110mm		ISO 2768-mH
DIBUJADO POR:	Cristóbal Haro Galarza	TRABAJO FIN DE MÁSTER: DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES
REVISADO POR:	Santiago Gutiérrez Rubert	
TITULACIÓN:	Máster CAD-CAM-CIM	
FECHA:	13/06/16	TODAS LAS DIMENSIONES EN mm
ESCALA:	2:3	



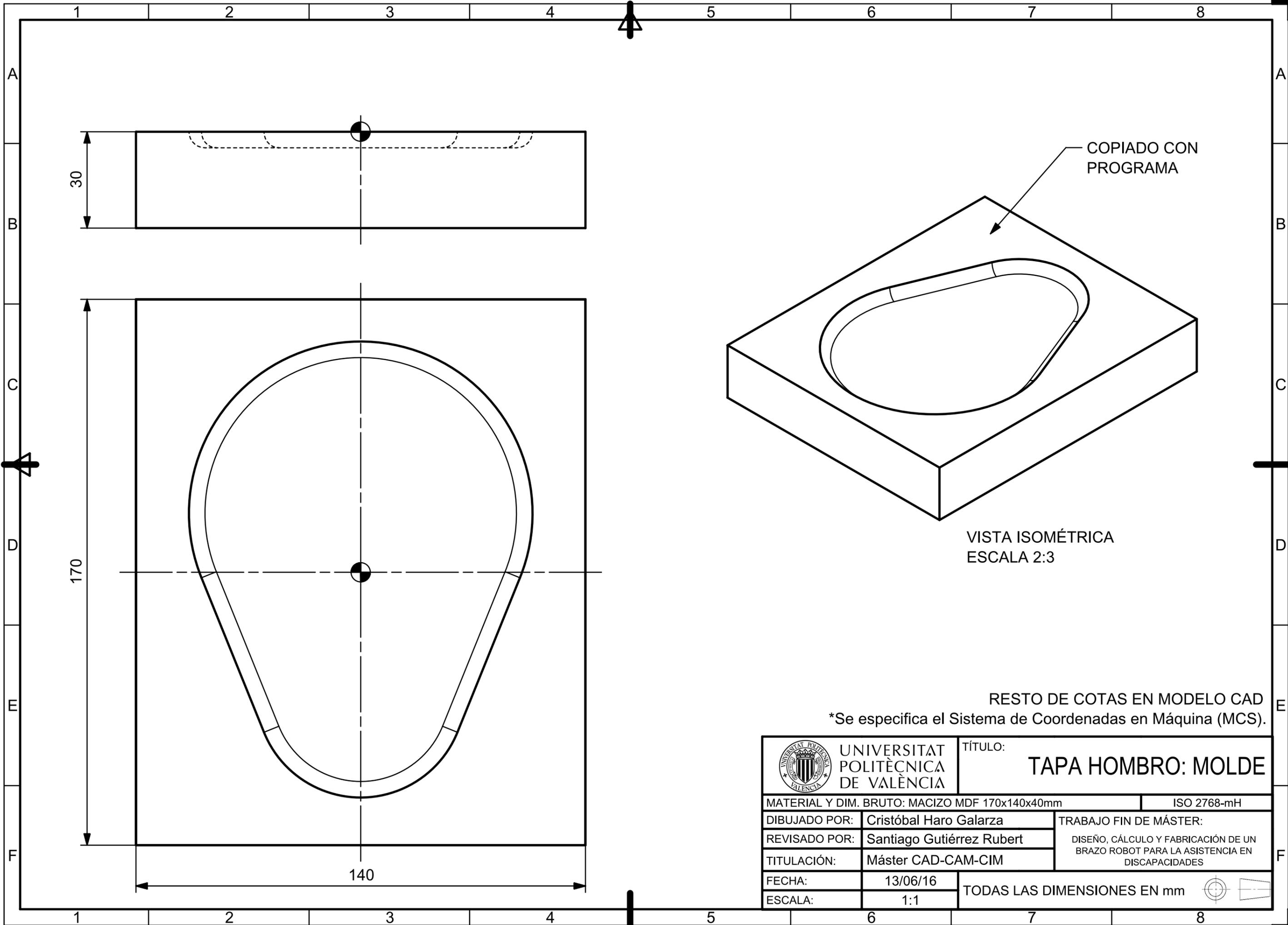


VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:2

RESTO DE COTAS EN MODELO CAD

*Se especifica el Sistema de Coordenadas en Máquina (MCS).

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO:		SEPARADOR BRAZO PARTE SUPERIOR
	MATERIAL Y DIM. BRUTO: MACIZO MDF 250x190x10mm		
DIBUJADO POR:	Cristóbal Haro Galarza	TRABAJO FIN DE MÁSTER:	
REVISADO POR:	Santiago Gutiérrez Rubert	DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES	
TITULACIÓN:	Máster CAD-CAM-CIM		
FECHA:	13/06/16	TODAS LAS DIMENSIONES EN mm 	
ESCALA:	2:3		

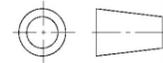


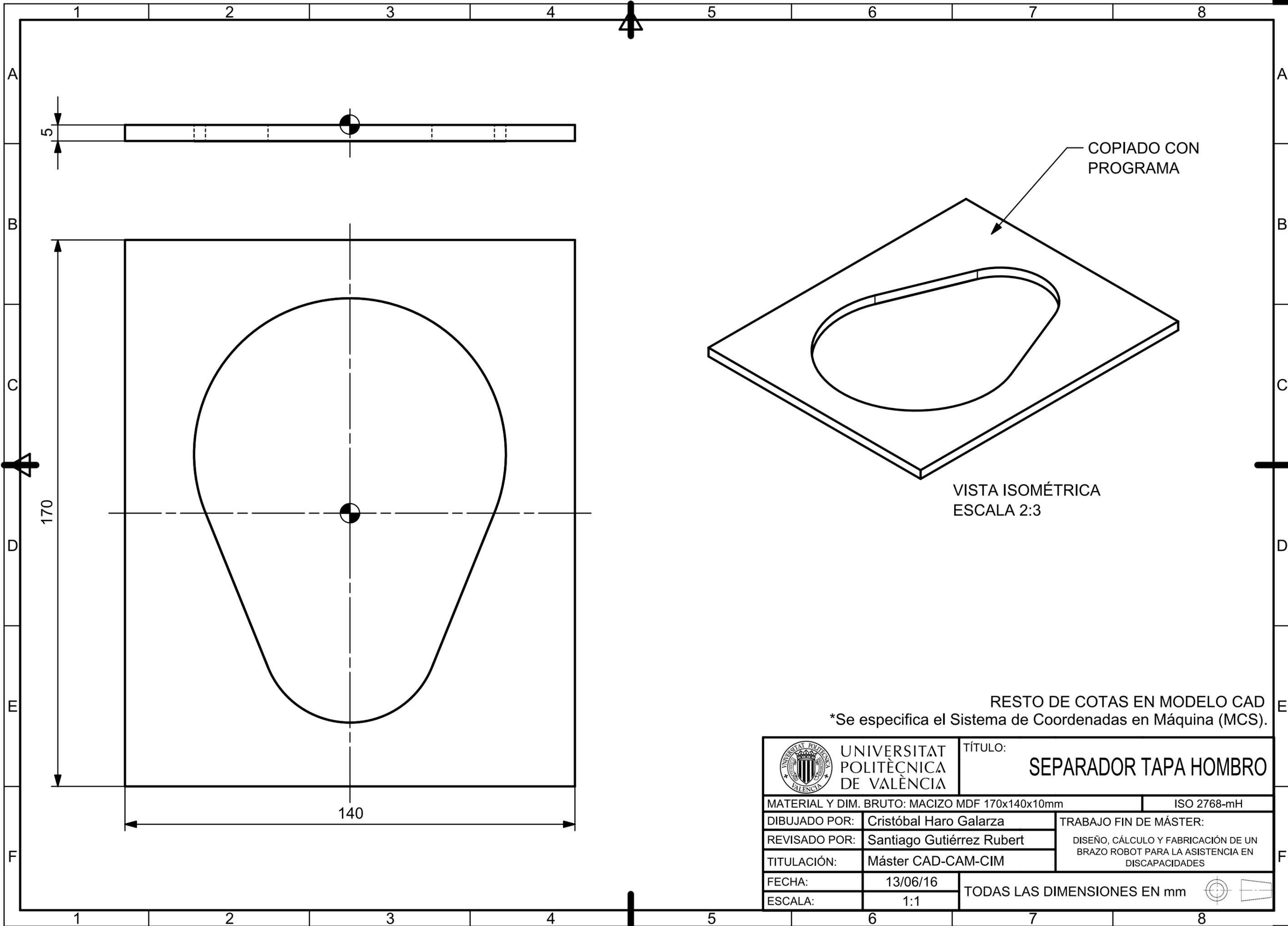
VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 2:3

COPIADO CON
PROGRAMA

RESTO DE COTAS EN MODELO CAD

*Se especifica el Sistema de Coordenadas en Máquina (MCS).

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO:		<h2>TAPA HOMBRO: MOLDE</h2>
	MATERIAL Y DIM. BRUTO: MACIZO MDF 170x140x40mm		
DIBUJADO POR:	Cristóbal Haro Galarza	TRABAJO FIN DE MÁSTER:	
REVISADO POR:	Santiago Gutiérrez Rubert	DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES	
TITULACIÓN:	Máster CAD-CAM-CIM		
FECHA:	13/06/16	TODAS LAS DIMENSIONES EN mm 	
ESCALA:	1:1		



COPIADO CON PROGRAMA

VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 2:3

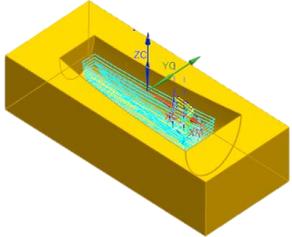
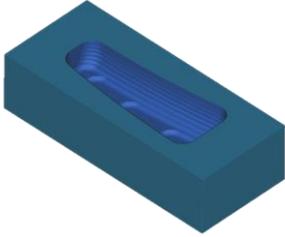
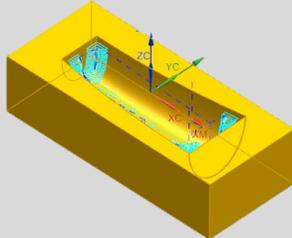
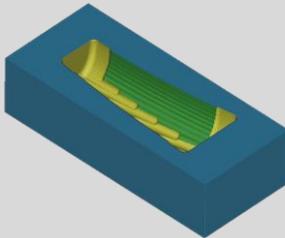
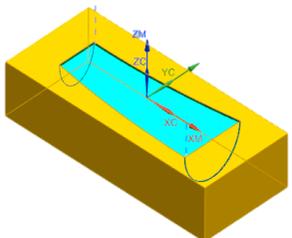
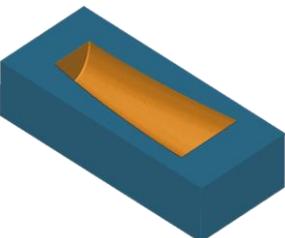
RESTO DE COTAS EN MODELO CAD
*Se especifica el Sistema de Coordenadas en Máquina (MCS).

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO: SEPARADOR TAPA HOMBRO	
	MATERIAL Y DIM. BRUTO: MACIZO MDF 170x140x10mm	
DIBUJADO POR: Cristóbal Haro Galarza	TRABAJO FIN DE MÁSTER:	
REVISADO POR: Santiago Gutiérrez Rubert	DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE UN BRAZO ROBOT PARA LA ASISTENCIA EN DISCAPACIDADES	
TITULACIÓN: Máster CAD-CAM-CIM		
FECHA: 13/06/16	TODAS LAS DIMENSIONES EN mm	
ESCALA: 1:1		

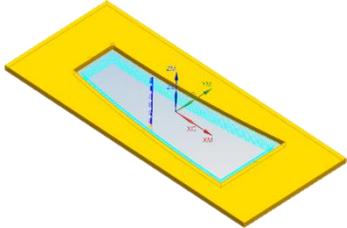
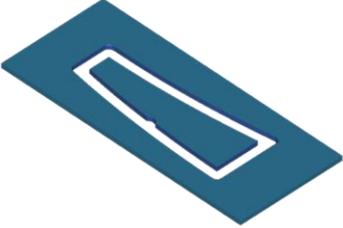
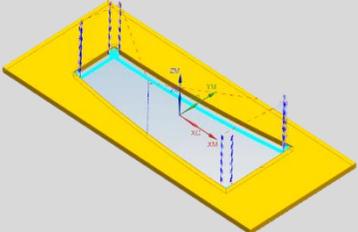
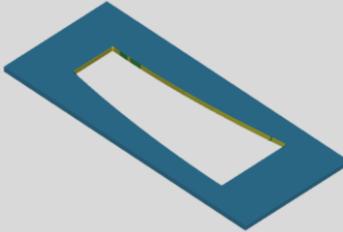
Anexo B

HOJAS DE RUTA (HdR)

Fabricación: Mecanizado y Control

Pieza: Antebrazo		Nº pieza: Molde 1	Plano: ANTEBRAZO: MOLDE 1	Operario:								Hoja: 1/14
Operación	Nº Programa + Definición	Trayectorias	Resultado	Amarre	Hta. / Plaquita	Porta-Hta	V _a (mmpm)	N (rpm)	Offset (mm)	Prof. de Corte (mm)	Pasada (mm)	Instrumento de control
1	000 Desbaste			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	TORICA Ø31.7 R6.4	DIN69871 40 EM12X 45	4800	20000	2	4	50% Plano Hta.	
2	001 Pre-acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø12.7 R6.35	DIN69871 40 EM12X 45	5756	24000	0.3	2	50% Plano Hta.	
3	002 Acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø3.2 R1.6	BT30 EM 6X 50	5753	24000	0	-	0.3	
<p>Nota 1: Las referencias de los diferentes componentes se puede obtener en el informe del trabajo en el Documento I: Memoria.</p> <p>Nota 2: El Sistema de Coordenadas Máquina (SMC) queda especificado en el plano de la pieza a mecanizar.</p> <p>Nota 3: Los costes no quedan reflejados en la Hoja de Ruta, éstos se pueden ver en el informe del trabajo Documento III: Presupuesto.</p> <p>Nota 4: Los mecanizados con la función espejo no quedan reflejados en las hojas de ruta para evitar un volumen excesivo en la memoria pero sí están realizados en el CAM y se han post-procesado.</p> <p>Nota 5: Si se desea realizar el mecanizado de la pieza opuesta del molde, se puede realizar el mecanizado incorporando en el código G la función espejo.</p>								Tiempos:				
								OP.1	2:02			
								OP.2	2:15			
								OP.3	12:21			

Fabricación: Mecanizado y Control

Pieza: Antebrazo		Nº pieza: Separador	Plano: SEPARADOR ANTEBRAZO	Operario:								Hoja: 2/14
Operación	Nº Programa + Definición	Trayectorias	Resultado	Amarre	Hta. / Plaquita	Porta-Hta	V _a (mmpm)	N (rpm)	Offset (mm)	Prof. de Corte (mm)	Pasada (mm)	Instrumento de control
1	007 Contorno			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø12.7 R6.35	DIN69871 40 EM12X 45	5756	24000	0	2	-	
2	008 Pre-acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø3.2 R1.6	BT30 EM 6X 50	5756	24000	0	1	-	

Nota 1: Las referencias de los diferentes componentes se puede obtener en el informe del trabajo en el Documento I: Memoria.

Nota 2: El Sistema de Coordenadas Máquina (SMC) queda especificado en el plano de la pieza a mecanizar.

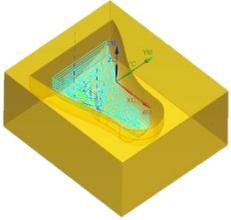
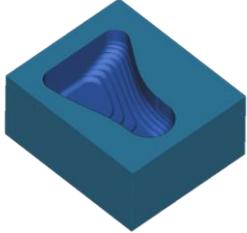
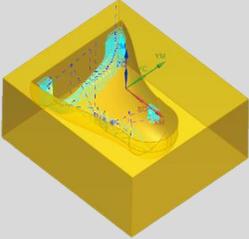
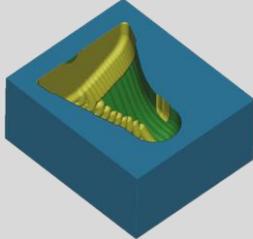
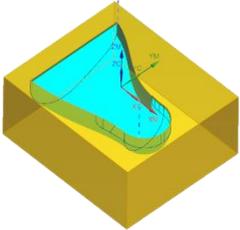
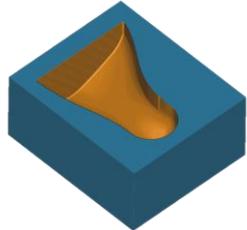
Nota 3: Los costes no quedan reflejados en la Hoja de Ruta, éstos se pueden ver en el informe del trabajo Documento III: Presupuesto.

Nota 4: Los mecanizados con la función espejo no quedan reflejados en las hojas de ruta para evitar un volumen excesivo en la memoria pero sí están realizados en el CAM y se han post-procesado.

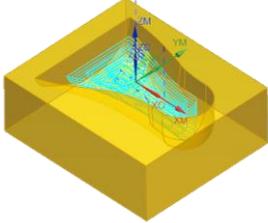
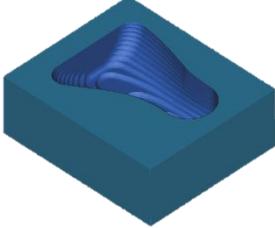
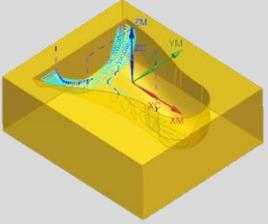
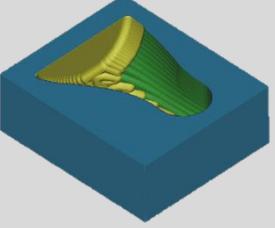
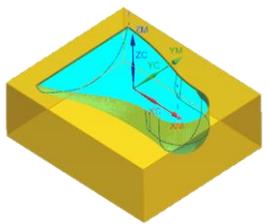
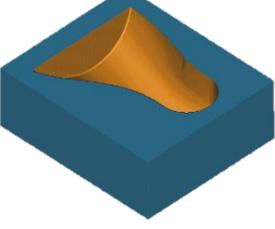
Nota 5: Si se desea realizar el mecanizado de la pieza opuesta del molde, se puede realizar el mecanizado incorporando en el código G la función espejo.

Tiempos:	
OP.1	0:49
OP.2	1:14
OP.3	

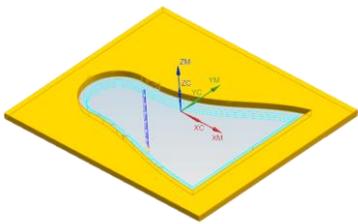
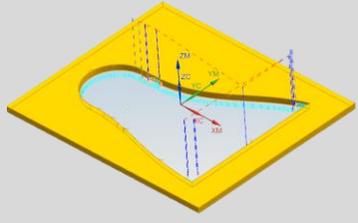
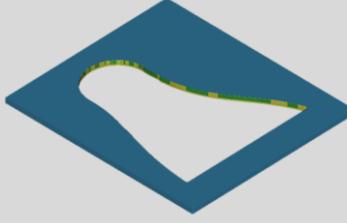
Fabricación: Mecanizado y Control

Pieza: Brazo Parte Inferior		Nº pieza: Molde 1	Plano: BRAZO PARTE INFERIOR: MOLDE 1	Operario:									Hoja: 3/14
Operación	Nº Programa + Definición	Trayectorias	Resultado	Amarre	Hta. / Plaquita	Porta-Hta	V _a (mmpm)	N (rpm)	Offset (mm)	Prof. de Corte (mm)	Pasada (mm)	Instrumento de control	
1	100 Desbaste			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	TORICA Ø31.7 R6.4	DIN69871 40 EM12X 45	4800	20000	2	4	50% Plano Hta.		
2	101 Pre-acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø12.7 R6.35	DIN69871 40 EM12X 45	5756	24000	0.3	2	50% Plano Hta.		
3	102 Acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø3.2 R1.6	BT30 EM 6X 50	5753	24000	0	-	0.3		
<p>Nota 1: Las referencias de los diferentes componentes se puede obtener en el informe del trabajo en el Documento I: Memoria.</p> <p>Nota 2: El Sistema de Coordenadas Máquina (SMC) queda especificado en el plano de la pieza a mecanizar.</p> <p>Nota 3: Los costes no quedan reflejados en la Hoja de Ruta, éstos se pueden ver en el informe del trabajo Documento III: Presupuesto.</p> <p>Nota 4: Los mecanizados con la función espejo no quedan reflejados en las hojas de ruta para evitar un volumen excesivo en la memoria pero sí están realizados en el CAM y se han post-procesado.</p> <p>Nota 5: Si se desea realizar el mecanizado de la pieza opuesta del molde, se puede realizar el mecanizado incorporando en el código G la función espejo.</p>							Tiempos:						
							OP.1	2:41					
							OP.2	3:18					
							OP.3	12:32					

Fabricación: Mecanizado y Control

Pieza: Brazo Parte Inferior		Nº pieza: Molde 2	Plano: BRAZO PARTE INFERIOR: MOLDE 2	Operario:									Hoja: 4/14
Operación	Nº Programa + Definición	Trayectorias	Resultado	Amarre	Hta. / Plaquita	Porta-Hta	V _a (mmpm)	N (rpm)	Offset (mm)	Prof. de Corte (mm)	Pasada (mm)	Instrumento de control	
1	103 Desbaste			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	TORICA Ø31.7 R6.4	DIN69871 40 EM12X 45	4800	20000	2	4	50% Plano Hta.		
2	104 Pre-acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø12.7 R6.35	DIN69871 40 EM12X 45	5756	24000	0.3	2	50% Plano Hta.		
3	105 Acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø3.2 R1.6	BT30 EM 6X 50	5753	24000	0	-	0.3		
<p>Nota 1: Las referencias de los diferentes componentes se puede obtener en el informe del trabajo en el Documento I: Memoria.</p> <p>Nota 2: El Sistema de Coordenadas Máquina (SMC) queda especificado en el plano de la pieza a mecanizar.</p> <p>Nota 3: Los costes no quedan reflejados en la Hoja de Ruta, éstos se pueden ver en el informe del trabajo Documento III: Presupuesto.</p> <p>Nota 4: Los mecanizados con la función espejo no quedan reflejados en las hojas de ruta para evitar un volumen excesivo en la memoria pero sí están realizados en el CAM y se han post-procesado.</p> <p>Nota 5: Si se desea realizar el mecanizado de la pieza opuesta del molde, se puede realizar el mecanizado incorporando en el código G la función espejo.</p>							Tiempos:						
							OP.1	2:30					
							OP.2	2:07					
							OP.3	12:45					

Fabricación: Mecanizado y Control

Pieza: Brazo Parte Inferior		Nº pieza: Separador	Plano: SEPARADOR BRAZO PARTE INFERIOR	Operario:									Hoja: 5/14
Operación	Nº Programa + Definición	Trayectorias	Resultado	Amarre	Hta. / Plaquita	Porta-Hta	V _a (mmpm)	N (rpm)	Offset (mm)	Prof. de Corte (mm)	Pasada (mm)	Instrumento de control	
1	107 Contorno			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø12.7 R6.35	DIN69871 40 EM12X 45	5756	24000	0	2	-		
2	108 Pre-acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø3.2 R1.6	BT30 EM 6X 50	5756	24000	0	1	-		

Nota 1: Las referencias de los diferentes componentes se puede obtener en el informe del trabajo en el Documento I: Memoria.

Nota 2: El Sistema de Coordenadas Máquina (SMC) queda especificado en el plano de la pieza a mecanizar.

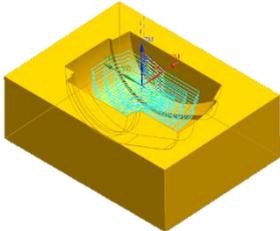
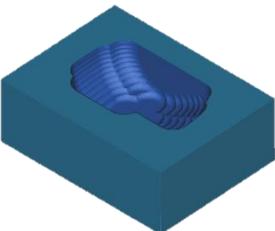
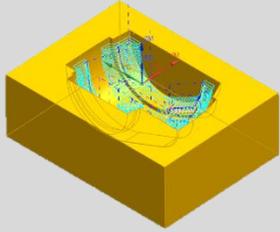
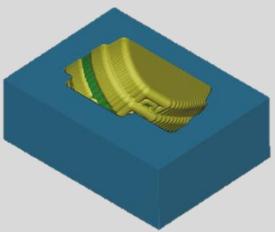
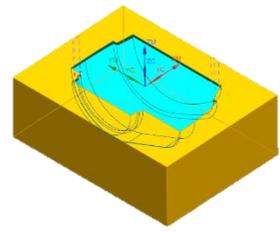
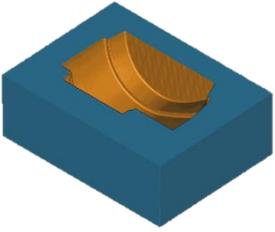
Nota 3: Los costes no quedan reflejados en la Hoja de Ruta, éstos se pueden ver en el informe del trabajo Documento III: Presupuesto.

Nota 4: Los mecanizados con la función espejo no quedan reflejados en las hojas de ruta para evitar un volumen excesivo en la memoria pero sí están realizados en el CAM y se han post-procesado.

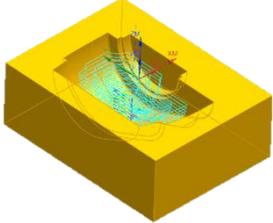
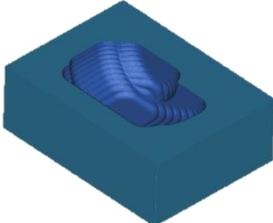
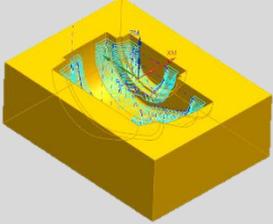
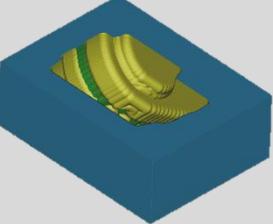
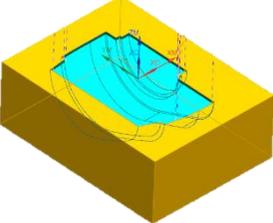
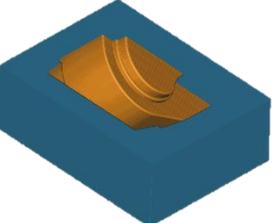
Nota 5: Si se desea realizar el mecanizado de la pieza opuesta del molde, se puede realizar el mecanizado incorporando en el código G la función espejo.

Tiempos:	
OP.1	0:42
OP.2	1:13
OP.3	

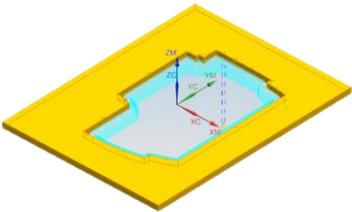
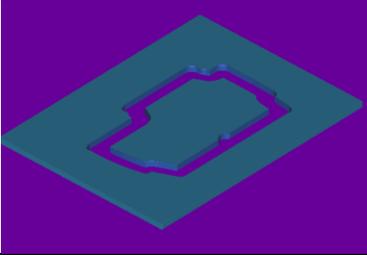
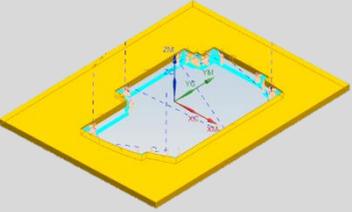
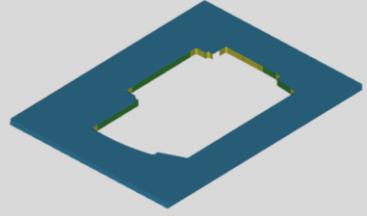
Fabricación: Mecanizado y Control

Pieza: Brazo Parte Intermedia		Nº pieza: Molde 1	Plano: BRAZO PARTE INTERMEDIA: MOLDE 1	Operario:								Hoja: 6/14
Operación	Nº Programa + Definición	Trayectorias	Resultado	Amarre	Hta. / Plaquita	Porta-Hta	V _a (mmpm)	N (rpm)	Offset (mm)	Prof. de Corte (mm)	Pasada (mm)	Instrumento de control
1	200 Desbaste			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	TORICA Ø31.7 R6.4	DIN69871 40 EM12X 45	4800	20000	2	4	50% Plano Hta.	
2	201 Pre-acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø12.7 R6.35	DIN69871 40 EM12X 45	5756	24000	0.3	2	50% Plano Hta.	
3	202 Acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø3.2 R1.6	BT30 EM 6X 50	5753	24000	0	-	0.3	
Nota 1: Las referencias de los diferentes componentes se puede obtener en el informe del trabajo en el Documento I: Memoria. Nota 2: El Sistema de Coordenadas Máquina (SMC) queda especificado en el plano de la pieza a mecanizar. Nota 3: Los costes no quedan reflejados en la Hoja de Ruta, éstos se pueden ver en el informe del trabajo Documento III: Presupuesto. Nota 4: Los mecanizados con la función espejo no quedan reflejados en las hojas de ruta para evitar un volumen excesivo en la memoria pero sí están realizados en el CAM y se han post-procesado. Nota 5: Si se desea realizar el mecanizado de la pieza opuesta del molde, se puede realizar el mecanizado incorporando en el código G la función espejo.							Tiempos:					
							OP.1	2:15				
							OP.2	4:16				
							OP.3	12:05				

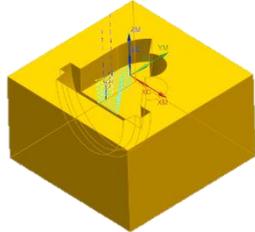
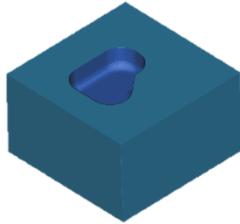
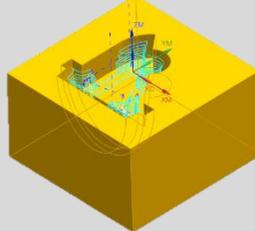
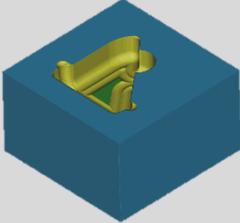
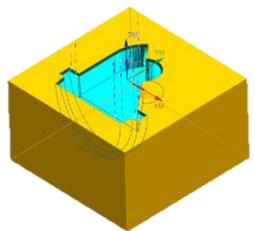
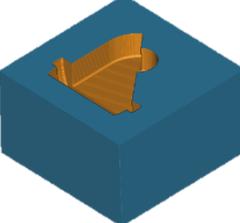
Fabricación: Mecanizado y Control

Pieza: Brazo Parte Intermedia		Nº pieza: Molde 2	Plano: BRAZO PARTE INTERMEDIA: MOLDE 2	Operario:								Hoja: 7/14
Operación	Nº Programa + Definición	Trayectorias	Resultado	Amarre	Hta. / Plaquita	Porta-Hta	V _a (mmpm)	N (rpm)	Offset (mm)	Prof. de Corte (mm)	Pasada (mm)	Instrumento de control
1	203 Desbaste			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	TORICA Ø31.7 R6.4	DIN69871 40 EM12X 45	4800	20000	2	4	50% Plano Hta.	
2	204 Pre-acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø12.7 R6.35	DIN69871 40 EM12X 45	5756	24000	0.3	2	50% Plano Hta.	
3	205 Acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø3.2 R1.6	BT30 EM 6X 50	5753	24000	0	-	0.3	
<p>Nota 1: Las referencias de los diferentes componentes se puede obtener en el informe del trabajo en el Documento I: Memoria.</p> <p>Nota 2: El Sistema de Coordenadas Máquina (SMC) queda especificado en el plano de la pieza a mecanizar.</p> <p>Nota 3: Los costes no quedan reflejados en la Hoja de Ruta, éstos se pueden ver en el informe del trabajo Documento III: Presupuesto.</p> <p>Nota 4: Los mecanizados con la función espejo no quedan reflejados en las hojas de ruta para evitar un volumen excesivo en la memoria pero sí están realizados en el CAM y se han post-procesado.</p> <p>Nota 5: Si se desea realizar el mecanizado de la pieza opuesta del molde, se puede realizar el mecanizado incorporando en el código G la función espejo.</p>							Tiempos:					
							OP.1	2:12				
							OP.2	4:02				
							OP.3	12:03				

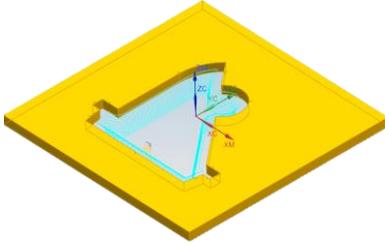
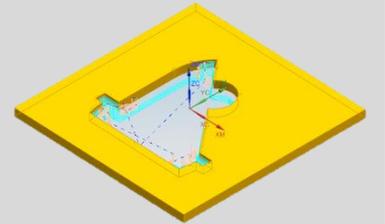
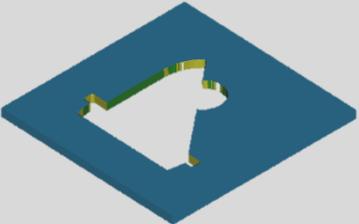
Fabricación: Mecanizado y Control

Pieza: Brazo Parte Intermedia		Nº pieza: Separador	Plano: SEPARADOR BRAZO PARTE INTERMEDIA	Operario:								Hoja: 8/14
Operación	Nº Programa + Definición	Trayectorias	Resultado	Amarre	Hta. / Plaquita	Porta-Hta	V _a (mmpm)	N (rpm)	Offset (mm)	Prof. de Corte (mm)	Pasada (mm)	Instrumento de control
1	205 Contorno			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø12.7 R6.35	DIN69871 40 EM12X 45	5756	24000	0	2	-	
2	207 Pre-acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø3.2 R1.6	BT30 EM 6X 50	5756	24000	0	1	-	
<p>Nota 1: Las referencias de los diferentes componentes se puede obtener en el informe del trabajo en el Documento I: Memoria.</p> <p>Nota 2: El Sistema de Coordenadas Máquina (SMC) queda especificado en el plano de la pieza a mecanizar.</p> <p>Nota 3: Los costes no quedan reflejados en la Hoja de Ruta, éstos se pueden ver en el informe del trabajo Documento III: Presupuesto.</p> <p>Nota 4: Los mecanizados con la función espejo no quedan reflejados en las hojas de ruta para evitar un volumen excesivo en la memoria pero sí están realizados en el CAM y se han post-procesado.</p> <p>Nota 5: Si se desea realizar el mecanizado de la pieza opuesta del molde, se puede realizar el mecanizado incorporando en el código G la función espejo.</p>									Tiempos:			
									OP.1	0:58		
									OP.2	2:06		
									OP.3			

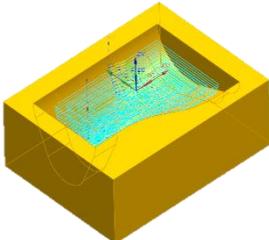
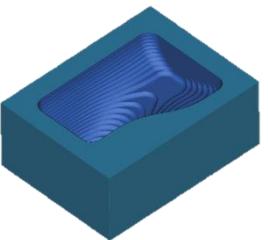
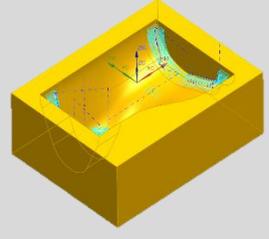
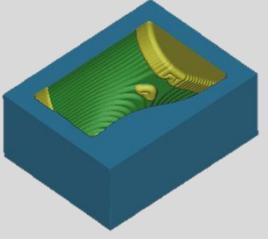
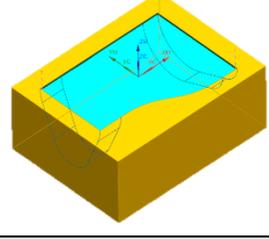
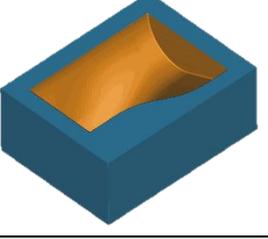
Fabricación: Mecanizado y Control

Pieza: Codo		Nº pieza: Molde 1	Plano: CODO: MOLDE 1	Operario:									Hoja: 9/14
Operación	Nº Programa + Definición	Trayectorias	Resultado	Amarre	Hta. / Plaquita	Porta-Hta	V _a (mmpm)	N (rpm)	Offset (mm)	Prof. de Corte (mm)	Pasada (mm)	Instrumento de control	
1	300 Desbaste			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	TORICA Ø31.7 R6.4	DIN69871 40 EM12X 45	4800	20000	2	4	50% Plano Hta.		
2	301 Pre-acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø12.7 R6.35	DIN69871 40 EM12X 45	5756	24000	0.3	2	50% Plano Hta.		
3	302 Acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø3.2 R1.6	BT30 EM 6X 50	5753	24000	0	-	0.3		
<p>Nota 1: Las referencias de los diferentes componentes se puede obtener en el informe del trabajo en el Documento I: Memoria.</p> <p>Nota 2: El Sistema de Coordenadas Máquina (SMC) queda especificado en el plano de la pieza a mecanizar.</p> <p>Nota 3: Los costes no quedan reflejados en la Hoja de Ruta, éstos se pueden ver en el informe del trabajo Documento III: Presupuesto.</p> <p>Nota 4: Los mecanizados con la función espejo no quedan reflejados en las hojas de ruta para evitar un volumen excesivo en la memoria pero sí están realizados en el CAM y se han post-procesado.</p> <p>Nota 5: Si se desea realizar el mecanizado de la pieza opuesta del molde, se puede realizar el mecanizado incorporando en el código G la función espejo.</p>							Tiempos:						
							OP.1	0:34					
							OP.2	2:05					
							OP.3	5:18					

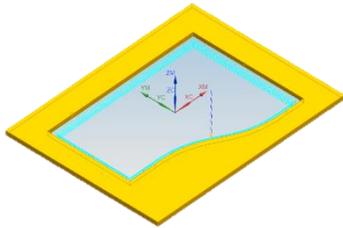
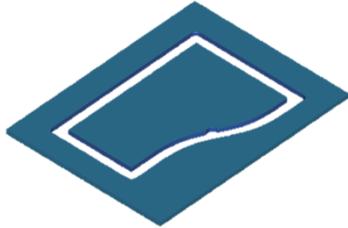
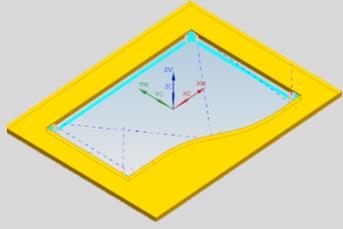
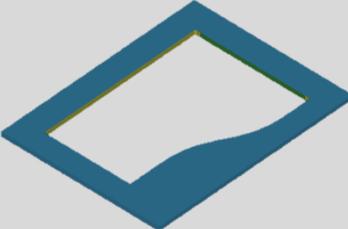
Fabricación: Mecanizado y Control

Pieza: Codo		Nº pieza: Separador	Plano: SEPARADOR CODO	Operario:									Hoja: 10/14
Operación	Nº Programa + Definición	Trayectorias	Resultado	Amarre	Hta. / Plaquita	Porta-Hta	V _a (mmpm)	N (rpm)	Offset (mm)	Prof. de Corte (mm)	Pasada (mm)	Instrumento de control	
1	306 Contorno			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø12.7 R6.35	DIN69871 40 EM12X 45	5756	24000	0	2	-		
2	307 Pre-acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø3.2 R1.6	BT30 EM 6X 50	5756	24000	0	1	-		
<p>Nota 1: Las referencias de los diferentes componentes se puede obtener en el informe del trabajo en el Documento I: Memoria.</p> <p>Nota 2: El Sistema de Coordenadas Máquina (SMC) queda especificado en el plano de la pieza a mecanizar.</p> <p>Nota 3: Los costes no quedan reflejados en la Hoja de Ruta, éstos se pueden ver en el informe del trabajo Documento III: Presupuesto.</p> <p>Nota 4: Los mecanizados con la función espejo no quedan reflejados en las hojas de ruta para evitar un volumen excesivo en la memoria pero sí están realizados en el CAM y se han post-procesado.</p> <p>Nota 5: Si se desea realizar el mecanizado de la pieza opuesta del molde, se puede realizar el mecanizado incorporando en el código G la función espejo.</p>									Tiempos:				
									OP.1	0:18			
									OP.2	0:59			
									OP.3				

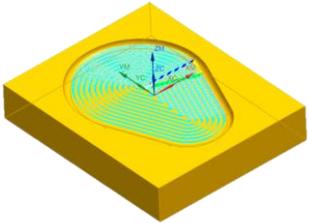
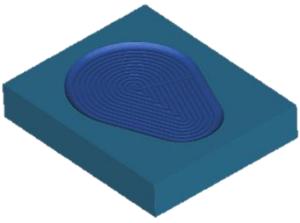
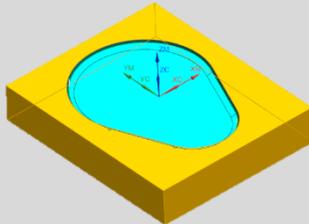
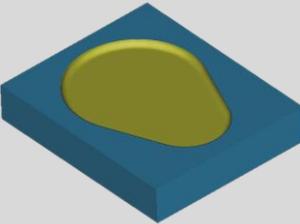
Fabricación: Mecanizado y Control

Pieza: Brazo Parte Superior		Nº pieza: Molde 1	Plano: BRAZO PARTE SUPERIOR: MOLDE 1	Operario:								Hoja: 11/14
Operación	Nº Programa + Definición	Trayectorias	Resultado	Amarre	Hta. / Plaquita	Porta-Hta	V _a (mmpm)	N (rpm)	Offset (mm)	Prof. de Corte (mm)	Pasada (mm)	Instrumento de control
1	400 Desbaste			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	TORICA Ø31.7 R6.4	DIN69871 40 EM12X 45	4800	20000	2	4	50% Plano Hta.	
2	401 Pre-acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø12.7 R6.35	DIN69871 40 EM12X 45	5756	24000	0.3	2	50% Plano Hta.	
3	402 Acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø3.2 R1.6	BT30 EM 6X 50	5753	24000	0	-	0.3	
<p>Nota 1: Las referencias de los diferentes componentes se puede obtener en el informe del trabajo en el Documento I: Memoria.</p> <p>Nota 2: El Sistema de Coordenadas Máquina (SMC) queda especificado en el plano de la pieza a mecanizar.</p> <p>Nota 3: Los costes no quedan reflejados en la Hoja de Ruta, éstos se pueden ver en el informe del trabajo Documento III: Presupuesto.</p> <p>Nota 4: Los mecanizados con la función espejo no quedan reflejados en las hojas de ruta para evitar un volumen excesivo en la memoria pero sí están realizados en el CAM y se han post-procesado.</p> <p>Nota 5: Si se desea realizar el mecanizado de la pieza opuesta del molde, se puede realizar el mecanizado incorporando en el código G la función espejo.</p>							Tiempos:					
							OP.1	5:49				
							OP.2	3:33				
							OP.3	24:42				

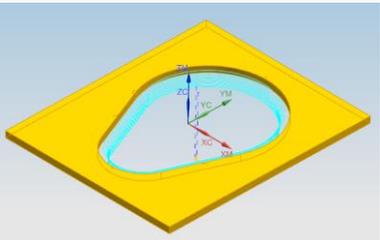
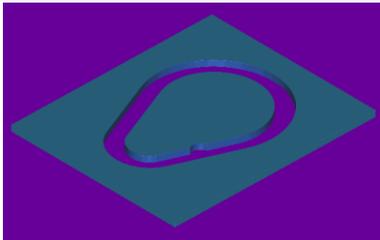
Fabricación: Mecanizado y Control

Pieza: Brazo Parte Superior		Nº pieza: Separador	Plano: SEPARADOR BRAZO PARTE SUPERIOR	Operario:								Hoja: 12/14
Operación	Nº Programa + Definición	Trayectorias	Resultado	Amarre	Hta. / Plaquita	Porta-Hta	V _a (mmpm)	N (rpm)	Offset (mm)	Prof. de Corte (mm)	Pasada (mm)	Instrumento de control
1	406 Contorno			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø12.7 R6.35	DIN69871 40 EM12X 45	5756	24000	0	2	-	
2	407 Pre-acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø3.2 R1.6	BT30 EM 6X 50	5756	24000	0	1	-	
<p>Nota 1: Las referencias de los diferentes componentes se puede obtener en el informe del trabajo en el Documento I: Memoria.</p> <p>Nota 2: El Sistema de Coordenadas Máquina (SMC) queda especificado en el plano de la pieza a mecanizar.</p> <p>Nota 3: Los costes no quedan reflejados en la Hoja de Ruta, éstos se pueden ver en el informe del trabajo Documento III: Presupuesto.</p> <p>Nota 4: Los mecanizados con la función espejo no quedan reflejados en las hojas de ruta para evitar un volumen excesivo en la memoria pero sí están realizados en el CAM y se han post-procesado.</p> <p>Nota 5: Si se desea realizar el mecanizado de la pieza opuesta del molde, se puede realizar el mecanizado incorporando en el código G la función espejo.</p>									Tiempos:			
									OP.1	0:54		
									OP.2	1:21		
									OP.3			

Fabricación: Mecanizado y Control

Pieza: Tapa Brazo Parte Superior		Nº pieza: Molde 1	Plano: TAPA BRAZO: MOLDE 1	Operario:								Hoja: 13/14
Operación	Nº Programa + Definición	Trayectorias	Resultado	Amarre	Hta. / Plaquita	Porta-Hta	V _a (mmpm)	N (rpm)	Offset (mm)	Prof. de Corte (mm)	Pasada (mm)	Instrumento de control
1	500 Pre-acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø12.7 R6.35	DIN69871 40 EM12X 45	5756	24000	0.3	2	50% Plano Hta.	
2	501 Acabado			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø3.2 R1.6	BT30 EM 6X 50	5753	24000	0	-	0.3	
<p>Nota 1: Las referencias de los diferentes componentes se puede obtener en el informe del trabajo en el Documento I: Memoria.</p> <p>Nota 2: El Sistema de Coordenadas Máquina (SMC) queda especificado en el plano de la pieza a mecanizar.</p> <p>Nota 3: Los costes no quedan reflejados en la Hoja de Ruta, éstos se pueden ver en el informe del trabajo Documento III: Presupuesto.</p> <p>Nota 4: Los mecanizados con la función espejo no quedan reflejados en las hojas de ruta para evitar un volumen excesivo en la memoria pero sí están realizados en el CAM y se han post-procesado.</p> <p>Nota 5: Si se desea realizar el mecanizado de la pieza opuesta del molde, se puede realizar el mecanizado incorporando en el código G la función espejo.</p>								Tiempos:				
								OP.1	3:25			
								OP.2	6:40			
								OP.3				

Fabricación: Mecanizado y Control

Pieza: Tapa Brazo		Nº pieza: Separador	Plano: SEPARADOR TAPA BRAZO	Operario:								Hoja: 14/14
Operación	Nº Programa + Definición	Trayectorias	Resultado	Amarre	Hta. / Plaquita	Porta-Hta	V _a (mmpm)	N (rpm)	Offset (mm)	Prof. de Corte (mm)	Pasada (mm)	Instrumento de control
1	506 Contorno			Mordaza mecánica rápida (TC/TC-XL)	REDONDA Ø12.7 R6.35	DIN69871 40 EM12X 45	5756	24000	0	2	-	
<p>Nota 1: Las referencias de los diferentes componentes se puede obtener en el informe del trabajo en el Documento I: Memoria.</p> <p>Nota 2: El Sistema de Coordenadas Máquina (SMC) queda especificado en el plano de la pieza a mecanizar.</p> <p>Nota 3: Los costes no quedan reflejados en la Hoja de Ruta, éstos se pueden ver en el informe del trabajo Documento III: Presupuesto.</p> <p>Nota 4: Los mecanizados con la función espejo no quedan reflejados en las hojas de ruta para evitar un volumen excesivo en la memoria pero sí están realizados en el CAM y se han post-procesado.</p> <p>Nota 5: Si se desea realizar el mecanizado de la pieza opuesta del molde, se puede realizar el mecanizado incorporando en el código G la función espejo.</p>								Tiempos:				
								OP.1	0:46			
								OP.2				
								OP.3				