

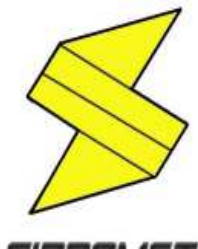
Universidad Nacional  
de Córdoba



Facultad de Ciencias Exactas,  
Físicas y Naturales

Escuela de Ingeniería Industrial

Diseño de un sujetador rápido para  
mecanizado de pistones



Realizado en Sipromet SRL  
Av. Dr. Arturo Capdevila 7900

Autor:

DI GIUSTO, Marco Agustín

DNI:

18883724

Tutores:

Ing. ANTON, Fernando

Ing. PAIARO, Mauro

CORDOBA, SEPTIEMBRE 2013



---

# Agradecimientos

---

Se merece un especial agradecimiento a Philippe Pailer por la oportunidad que me brindó en llevar a cabo este Proyecto Integrador, por la flexibilidad, la confianza y el apoyo al momento del desarrollo. Gracias también al equipo de Sipromet y de Pistones Persan.

A André, compañero de intercambio y de este trabajo, con el cual nos fuimos apoyando mutuamente durante muy intensos meses de escritura para darle forma a este PI.

Y por último, a mis padres, familia, amigos y a mi novia, que supieron entender estos meses de tan poca presencia de mi parte.

No está de más aclarar que sin todos ellos, no hubiera llegado a concluir todos estos años de estudio.



---

# Resumen

---

Este proyecto integrador (PI) presenta el estudio de una solución de automatización de una célula de fabricación, con el objetivo de aumentar la productividad y la competitividad de Pistones Persan, fabricante de partes de motor ubicado en Córdoba. El estudio se lleva a cabo en el ámbito profesional de Sipromet, una micro-empresa especializada en estudios y proyecciones de métodos de fabricación automatizada para industrias, también ubicada en Córdoba. La solución definida, de remplazar la mano de obra en el traslado de los productos entre las máquinas-herramienta por brazos robotizados, requiere que toda la célula de mecanizado sea revisada para asegurar la compatibilidad con los robots. Aquello implica la generación de dispositivos originales o la adaptación de los existentes para ser efectiva. El enfoque de este PI se sitúa en el diseño de un sujetador para el torneado de pistones, en remplazo del existente que sólo puede ser manipulado manualmente. Constituye una etapa de pre-automatización que puede considerarse independiente del resto del proyecto, y permite a Pistones Persan mejorar las prestaciones de tiempo de colocación aún cuando se está operando manualmente. Además, se utilizan métodos de formulación y de análisis funcional que facilitan la innovación, resultando en un desarrollo a modo de reingeniería que logra mejorar la calidad optimizando las funciones de localización y de ajuste de los productos. Por último, este desarrollo en esencia mecánico tiene como producto el dibujo de los planos de fabricación del dispositivo, pero carece de los resultados de un ensayo por prototipo. Algunos otros aspectos del proyecto de automatización son estudiados en el PI *Estudio de la Robotización de una Isla de Mecanizado Flexible* (2013) por André REY.

---

# Abstract

---

The herein project presents a study for a automatic productive cell solution that aims productivity and competitiveness for the company Pistones Persan, a engine-part manufacturer located in Córdoba. The study is carried out in the professional field of Sipromet, a small organization specialized in automating developments and projections for manufacture industries, also located in Córdoba. The selected solution includes replacing the human workers with robotic arms in the tasks of transferring products from one machine to another, and requires the hole process to be reviewed in order to achieve robot manipulation compatibility. That implies the generation of original devices or the adaptation of the existing ones to be effective. This project focuses on the design of a fastener for pistons turning, replacing the existing one that can only be manipulated manually. It is a pre-automation stage which can be considered to be independent from the rest of the project, and allows time improvement in the transfer and positioning task even when it is operating manually. In addition, the use of formulation methods and functional analysis facilitates innovation, and results in a reengineering development that manages to improve quality by optimizing the functions of localization and adjustment of the products. Finally, this mechanical development in essence ends up with the drawings of the device, but lacks the results of a trial by prototype. Some other aspects of the automation project are studied in the project study *Estudio de la Robotización de una Isla de Mecanizado Flexible* (2013) by André REY.



# Índice

<b>1</b>	<b>Introducción: El Proyecto Entorno al P.I.....</b>	<b>1</b>
1.1	Presentaciones.....	1
1.1.1	Orígenes del proyecto en Pistones Persan.....	1
1.1.2	La respuesta de Sipromet.....	2
1.1.3	Un problema de ingeniería .....	3
1.2	Constantes del proyecto.....	3
1.2.1	Los pistones del estudio.....	3
1.2.2	Flujo del proceso .....	5
1.2.3	Mecanizado.....	6
1.2.4	Control adherencia APA.....	10
1.2.5	Finalización.....	10
1.2.6	Desarrollo del modelo de pistón 567.....	10
<b>2</b>	<b>Situación actual y situación propuesta.....</b>	<b>11</b>
2.1	Situación actual: Isla de mecanizado y operadores .....	11
2.1.1	Disposición de máquinas.....	11
2.1.2	Dispositivo manual de sujeción para tornos.....	12
2.1.3	Alimentación .....	13
2.1.4	Control.....	14
2.1.5	Rendimiento.....	14
2.2	Situación propuesta: Celda robotizada .....	16
2.2.1	Dos brazos robotizados.....	17
2.2.2	Gripper .....	17
2.2.3	Alimentación de la celda.....	18
2.2.4	Control de geometría.....	19
2.2.5	Coordinación .....	19
2.2.6	Sujetador rápido para mecanizado .....	19
2.3	Rendimiento .....	20
2.4	Consideraciones y alternativas a la robotización .....	23
<b>3</b>	<b>Estudio funcional.....</b>	<b>25</b>
3.1	Diagrama de funciones e interacciones APTE .....	25
3.2	Diagrama FAST.....	26
3.2.1	Función Principal 1 .....	27
3.2.2	Función Principal 2 .....	27
3.2.3	Función Principal 3 .....	28



3.2.4	Función Restrictiva 1 .....	28
3.2.5	Función Restrictiva 2 .....	28
3.2.6	Función Restrictiva 3 .....	29
3.2.7	Función Restrictiva 4 .....	29
<b>4</b>	<b>Análisis de la cinemática del mecanismo .....</b>	<b>30</b>
4.1	Estudio de la función técnica de posicionamiento del pistón .....	30
4.2	Módulo de garras .....	34
4.2.1	Posición de las garras pistón captivo .....	34
4.2.2	Posición de las garras pistón liberado .....	35
4.2.3	Posición de las garras pistón apretado .....	35
4.3	Alternativa mecanismo de levas .....	37
4.3.1	Posición de las garras pistón captivo .....	37
4.3.2	Posición de las garras pistón liberado .....	37
4.3.3	Posición de las garras pistón apretado .....	38
4.3.4	Estudio estático geométrico .....	38
4.4	Alternativa mecanismo de bielas .....	38
4.4.1	Posición de las garras pistón captivo .....	39
4.4.2	Posición de las garras pistón liberado .....	39
4.4.3	Posición de las garras pistón ajustado .....	40
4.4.4	Estudio estático geométrico .....	40
4.5	Conclusiones sobre las alternativas .....	42
<b>5</b>	<b>Diseño y dimensionamiento .....</b>	<b>44</b>
5.1	Diseño primer etapa .....	44
5.1.1	Selección de materiales y resistencia mecánica .....	46
5.1.2	Validación cliente .....	48
5.2	Diseño segunda etapa .....	48
5.2.1	Geometría y funcionamiento .....	48
5.2.2	Ensamblado .....	51
<b>6</b>	<b>Conclusión .....</b>	<b>53</b>
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>54</b>
	<b>Anexos .....</b>	<b>55</b>
Anexos A	.....	56
Anexo A-1:	Descripción de un pistón .....	56
Anexo A-2:	Tabla de características de aluminios .....	59
Anexo A-3:	Planillas de mecanizado de pistón 567 .....	60
Anexo A-4:	Movilidad e hiperestatismo .....	67



---

Anexos B .....	69
Anexo B-1: Estudio de fuerzas de corte.....	69
Estudio de la fuerza de apriete necesaria.....	70
Acople sobre el manchón en situación de mecanizado .....	72
Anexo B-2 : Planos de dispositivo primera entrega.....	74
Anexo B-3 : Planos de dispositivo segunda entrega.....	79

# Glosario

**Cabezal :** también se le llama husillo, es la pieza que recibe la potencia del motor por un lado, y sobre la cual está conectado el dispositivo de fijación de la pieza por otro lado, generalmente un plato de tres mordazas.



**Poka-yoke:** “Dispositivos de control, que, siendo situados en los utensilios e instrumentos, impiden el trabajo defectuoso y permiten subsanar o prevenir los posibles fallos de control humano” (Machuca, aspectos tácticos, p.242). En el caso de los pistones, se trata generalmente de un lóbulo en la matriz de colada o cualquier otro detalle, asimétrico que permite orientar angularmente el pistón de una sola forma sobre los dispositivos.

**Manchón :** Pieza de forma cilíndrica alargada, también llamado acople, a veces junta, que es destinada a transmitir un movimiento de rotación sobre su eje, a otra pieza. En este trabajo denomina el cuerpo del dispositivo. El término es empleado por Pistones Persan para nombrar el elemento mecánico que realiza el cuerpo del dispositivo de acople entre la pieza a mecanizar y la nariz de la brocha o cabezal.

**Justo a tiempo:** Es un método japonés de organización de la producción, también conocido como JIT o método Toyota, para aumentar la productividad y mejorar el rendimiento de la inversión. “Pretende que los clientes sean servidos justo en el momento preciso, exactamente en la cantidad requerida, con productos de la máxima calidad, y mediante un proceso de producción que utilice el mínimo inventario posible y que se encuentre libre de cualquier tipo de despilfarro o coste innecesario.” (Machuca, 1995b p.199 y ss)

**Leva:** Elemento mecánico, compuesto por una pieza de radio de curvatura no constante, cuya forma obliga a un seguidor en contacto puntual con ella a reproducir una trayectoria definida. Las levas pueden ser de rotación (árbol de levas para apertura de válvulas de un motor) o de translación.



## Lista de figuras

Figura 1-1 : Pistón 254.....	4
Figura 1-2: Pistón 280.....	4
Figura 1-3: Pistón 547.....	4
Figura 1-4: Pistón 567.....	5
Figura 1-5: Pistón 586.....	5
Figura 1-6: Pistón sin desbarbar.....	6
Figura 1-7: Bruto desbarbado.....	6
Figura 1-8: Desbaste de diámetro y frentado de cabeza.....	7
Figura 1-9: Perforación de arrastre.....	8
Figura 1-10: Diámetro de boca y ranuras.....	8
Figura 1-11: Cámara de combustión.....	8
Figura 1-12: Alesado de perno.....	9
Figura 1-13: Fresado de válvulas.....	9
Figura 1-14: Terminado de diámetro exterior.....	9
Figura 1-15: Lapidado de agujero de perno.....	10
Figura 2-1: Disposición actual de la isla de fabricación.....	11
Figura 2-2: Dispositivo manual explotado.....	12
Figura 2-3: Dispositivo manual armado.....	12
Figura 2-4: Posición inadecuada del perno de apriete.....	13
Figura 2-5: Cesto de transferencia.....	13
Figura 2-6: Dispositivo de control geométrico.....	14
Figura 2-7: Cronograma de operaciones (pistón 567).....	15
Figura 2-8: Modelización 3D de la celda robotizada.....	17
Figura 2-9: Modulo de prensión “gripper” del robot.....	18
Figura 2-10: Modulo de alimentación de la celda robotizada.....	18
Figura 2-11: Vista en corte del bruto de pistón 567.....	19
Figura 2-12: Deslice radial en operación de desbaste.....	20
Figura 2-13: Deslice axial en operación de desbaste.....	20
Figura 2-14: Cronograma de celda 2 robots.....	21
Figura 2-15: Cronograma de celda 1 robot.....	22
Figura 3-1: Diagrama APTE de interacciones.....	25
Figura 4-1: Superficies de apoyos actuales.....	30
Figura 4-2: Manchón de acople.....	31
Figura 4-3: Noyo de la matriz de colado.....	31
Figura 4-4: Superficies de apoyo propuestas.....	32
Figura 4-5: Vista 3D de las superficies de apoyo propuestas.....	32
Figura 4-6: Vista 3D de las superficies de apoyo propuestas.....	32
Figura 4-7: Vista 3D del buje.....	33
Figura 4-8: Apoyos de localización isoestática propuestos.....	33
Figura 4-9: Cinemática de garras pistón captivo.....	34
Figura 4-10: Cinemática de garras pistón liberado.....	35
Figura 4-11: Cinemática de garras pistón apretado.....	35
Figura 4-12: Cinemática de garras de apoyo isoestético.....	36
Figura 4-13: Cinemática de levas pistón captivo.....	37
Figura 4-14: Cinemática de levas pistón liberado.....	37
Figura 4-15: Cinemática de levas pistón apretado.....	38





Figura 4-16: Cinemática de bielas pistón captivo .....	39
Figura 4-17: Cinemática de bielas pistón liberado .....	39
Figura 4-18: Cinemática de bielas pistón apretado.....	40
Figura 4-19: Estudio de fuerzas estáticas de sólidos en garra .....	41
Figura 4-20: Estudio de fuerzas corregido .....	42
Figura 5-1: Dispositivo 1 con pistón .....	45
Figura 5-2: Dispositivo en posición liberado .....	45
Figura 5-3: Mecanismo interno .....	46
Figura 5-4: Simulación de tensiones de la garra .....	47
Figura 5-5: Cinemática del segundo diseño .....	48
Figura 5-6: Vista global del diseño de segunda etapa.....	49
Figura 5-7: Acercamiento del pistón .....	49
Figura 5-8: Simulación de tensiones en la garra, diseño 2.....	50
Figura 5-9 : Compensación de la diferencia de altura en las garras .....	50
Figura 5-10: Biela y pernos ajustados con apriete .....	51
Figura 5-11: Ensamblado del dispositivo.....	51
Figura 5-12: Detalle del montaje.....	52



# 1 Introducción: El Proyecto Entorno al P.I.

El tema principal de este PI trata sobre el desarrollo de un dispositivo de sujeción de pieza para torno de control numérico. La necesidad de este dispositivo se encuentra en el marco de un proyecto de automatización de un grupo de máquinas avocadas a las distintas etapas de mecanizado de una pieza. Este proyecto marco se lleva a cabo en la empresa Sipromet que permitió al autor, recientemente nombrado ingeniero de diseño, plasmar su proceso en la forma académico del PI. El propósito del proyecto marco es el de aportar una solución de robotización a su cliente Pistones Persan, el cual busca de esta forma aumentar su productividad y competitividad con el objetivo de reforzar su presencia en el mercado internacional.

Además de seleccionar, implementar y programar los robots, la misión de Sipromet también incluye la creación o la adaptación de todos los elementos y dispositivos que permiten la manipulación del material sin la presencia de la mano humana. El dispositivo presentado en este PI es uno de aquellos que necesitaron ser adaptados para prescindir del hombre y conseguir su adecuación con los robots. En el proyecto marco se encuentran diez variantes del dispositivo, necesarias a causa de los diversos productos y condiciones que opera la fábrica, pero se limitó aquí el estudio a ciertas condiciones para permitir exponer la metodología desarrollada en detalle y dejar de lado las ampliaciones sin interés académico.

Sin otro preliminar, se presentan los principales actores del proyecto marco, así como aquellas condiciones que fueron elegidas para restringir el estudio, seguido por un capítulo de comparación entre la situación actual y la propuesta dónde se explican y justifican las incumbencias del dispositivo. Luego, se procede a analizar y formalizar estas incumbencias gracias a métodos gráficos (APTE y FAST), antes de concluir con el diseño final.

## 1.1 Presentaciones

### 1.1.1 Orígenes del proyecto en Pistones Persan.

El proyecto se origina en la empresa PISTONES PERSAN, fabricante de pistones para la industria automotriz, radicada en Córdoba. Se puede encontrar una presentación autobiográfica en su propia página de internet:

*Nuestra empresa es fundada por el Sr. Eduardo H. Pérez en el año 1956. Se inicia con la fabricación de pistones para motocicletas y poco a poco va ampliando la gama de sus modelos para los segmentos de automóviles, camiones, tractores y especiales. En la actualidad, además producimos pistones para motores náuticos y de aviación. Somos proveedores de la industria terminal de Argentina (O.E.M.) y atendemos con una gran variedad de modelos el mercado de reposición nacional e internacional.*

*Con un crecimiento sostenido y respondiendo a los nuevos y modernos procesos productivos, en 1987 inauguramos nuestra nueva planta industrial, ubicada en*



*el sector de asentamiento de las principales industrias automotrices de nuestro país. En los últimos años, hemos efectuado importantes inversiones en tecnología, aumentando la capacidad industrial y logrando un producto de alta calidad y performance que nos ha posicionado en un lugar de privilegio.*

*En 1987 inauguramos nuestra nueva y moderna planta industrial, en un predio de 15.000 m<sup>2</sup> y ubicado en la Avenida de Circunvalación sur de la Ciudad de Córdoba, área de asentamiento de las principales automotrices de nuestro país. Cuenta con una superficie total de 4.500 m<sup>2</sup>, donde se distribuyen los siguientes sectores: Fundición - Tratamiento Térmico - Mecanizado - Tratamientos Superficiales - Inspección - Laboratorio - I + D - Administración - Depósito y Logística. Nuestra tecnología es el soporte de nuestra calidad y hoy nuestras máquinas son de última generación. Contamos con centros de mecanizado y tornos a CNC de origen japonés.*

Extractos de la página web [www.pistonespersan.com.ar](http://www.pistonespersan.com.ar)

La empresa mantiene una perspectiva de crecimiento hacia el mercado de las automotrices y por lo tanto necesita renovar sus métodos de producción para lograr mayor capacidad y sobre todo competitividad. Hasta ahora el mercado local de repuestos tolera un costo relativamente elevado, pero el objetivo al cual se apunta es mucho más exigente y Pistones Persan deberá adaptarse al nivel de competencia internacional. Este tiene asumido ya las producciones automatizadas, y los métodos Justo-A-Tiempo<sup>1</sup>, de los cuales Pistones Persan sigue alejado con un proceso por lotes, ampliamente manual, resultando en costos elevados y a veces demoras imprevistas. La constatación no deja lugar a dudas que se deben que mejorar la productividad y la eficacia.

Robotizar la producción es la alternativa más drástica, la que obtiene mejores resultados, pero la más arriesgada también por el nivel de inversión. La clave está en la calidad del diseño y de los estudios de la solución. Pistones Persan no tiene experiencia alguna en este rubro siendo que es una empresa familiar y tradicional, pero la visión de devolver a su empresa una posición privilegiada, perdida a fines de la década pasada, impulsa al equipo directivo a tomar los riesgos de nuevas inversiones.

### 1.1.2 La respuesta de Sipromet

Sipromet S.A., nombre contraído de Sistema, Proyecto y Métodos, es un micro-emprendimiento de 5 años de trayectoria, fundado en Córdoba por un hombre de origen francés llamado Phillippe Pailler. Él aporta su experticia en robótica industrial adquirida durante 25 años en las mundialmente reconocidas ABB y Renault Automation. Su equipo reducido de jóvenes ingenieros brinda un dinamismo original y complementario, poco común en el sector industrial. Las actividades de Sipromet son muy variadas y abarcan el estudio y el desarrollo de dispositivos, la prestación de servicios ingenieriles para industrias, la simulación y programación de robots.

A pesar de su juventud, Sipromet supo ganar la confianza de grandes fábricas para la implementación de robots en Argentina. Algunos de los proyectos más relevantes fueron:

- Implementación de 16 robots de soldadura en la línea de montaje de Fiat para los modelos Sienna-Palio en 2008.
- Robotización de las soldaduras de cosechadoras Vassali en 2009.

---

<sup>1</sup> Ver glosario



- Implementación de los robots para el pegamento de los parabrisas de Peugeot 408 en 2009.
- Implementación de robots en la línea de soldadura de piso del vehículo Duster de Renault en Brasil 2010.
- Un proyecto similar para el Ford Ranger en 2011 y para el ensamblaje de carrocería del nuevo Focus en 2012.

Sipromet tiene el viento a favor con la expansión del mercado mundial de la robótica industrial. Si bien, en Argentina se destinan todavía para la industria automotriz en forma casi total, es notable que en el resto del mundo los robots se están integrando en rubros más variados como la electrónica, química, y alimenticia, con un crecimiento impactante de +100% en los últimos 3 años (fuente: International Federation of Robotics). Los pronósticos para el futuro son muy alentadores también, ya que se hacen cada vez más económicos, portados por la onda expansiva de ventas.

### 1.1.3 Un problema de ingeniería

Los contactos y la cercanía de estas empresas hizo fácil el comienzo de este proyecto bajo la modalidad de ingeniería colaborativa. Sipromet asesora a Pistones Persan sobre las diferentes alternativas que se presentan y originan en ambas partes. Al principio, Pistones Persan, como todo cliente averso al riesgo, pretende conseguir un máximo beneficio de este proyecto con la menor inversión posible, haciendo énfasis sobre la segunda parte. Poco a poco se van definiendo soluciones frutos de una verdadera negociación entre lo que Sipromet propone y lo que Pistones Persan accede mediante estudios preliminares.

La decisión tomada es la de implementar una nueva *célula de fabricación*<sup>2</sup> automatizada en la cual los brutos son ingresados en entrada y salen completamente mecanizados en salida sin intervención humana. La integración de equipos automatizados, de máquinas herramientas de control numérico y de brazos robotizados permite reducir costos mejorando la variabilidad de la célula en comparación con aquella operada manualmente. Esta célula automática se sumará a las cuatro manuales existentes con la esperanza de propagar el método.

## 1.2 Constantes del proyecto

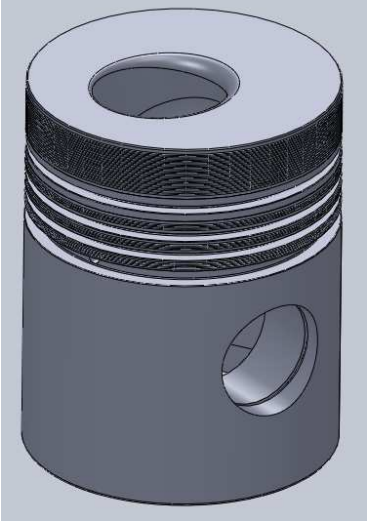
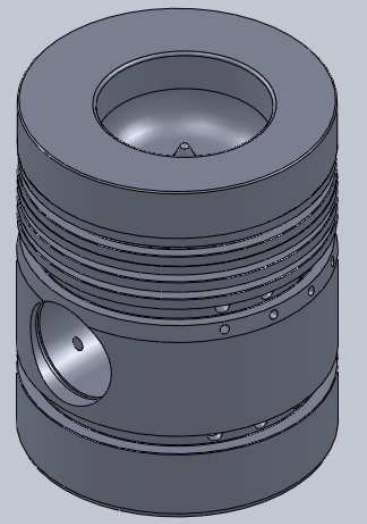
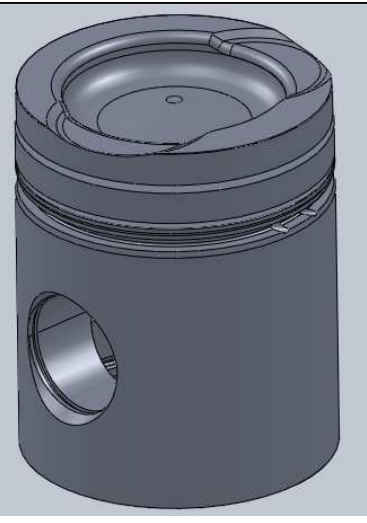
### 1.2.1 Los pistones del estudio

El proyecto acordado entre Sipromet y Pistones Persan contempla el desarrollo de la automatización de una celda o célula de mecanizado capaz de producir cinco modelos de pistones seleccionados por Pistones Persan. La empresa tiene un amplio catálogo de setecientos cuarenta referencias pero se decidió simplificar el alcance del proyecto con la selección de pistones que se presentan a continuación y que constituyen los modelos de mayor volumen. En caso de que el proyecto presente una conclusión exitosa se prevé la extensión de la capacidad del automatismo a una lista más amplia.

---

<sup>2</sup> Término empleado en J.A. Dominguez Machuca, Dirección de operaciones: Aspectos estratégicos en la producción y los servicios, p298, Ed. McGraw-Hill, 1995.

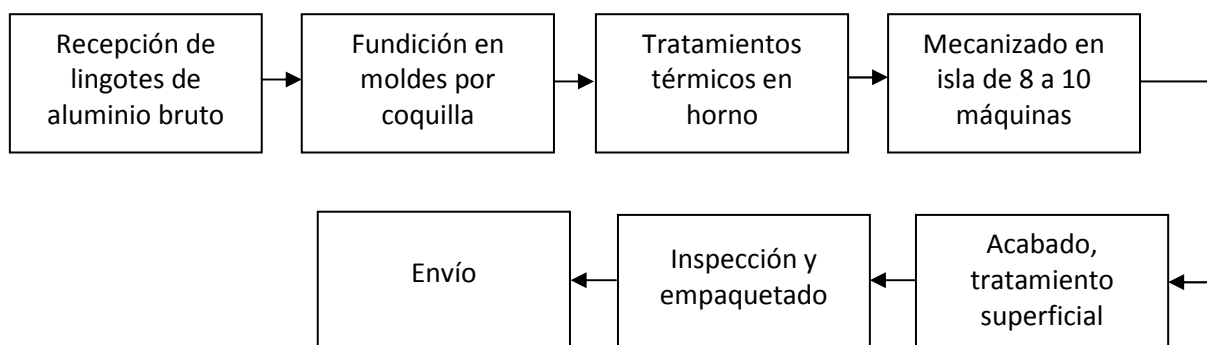
A continuación se presenta la lista de los cinco pistones seleccionados con sus características principales.

	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Código del producto 254</li><li>○ Motores Deutz FL 2114 con APA</li><li>○ Diámetro 120,00mm</li><li>○ Altura total 150,30mm</li><li>○ Peso terminado 2353g</li><li>○ Material P11</li></ul> <p><b>Figura 1-1 : Pistón 254</b></p>
	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Código del producto 280</li><li>○ Motores Perkins 6-354</li><li>○ Diámetro 98,42mm</li><li>○ Altura total 121,22mm</li><li>○ Peso terminado 1230g</li><li>○ Material P11</li></ul> <p><b>Figura 1-2: Pistón 280</b></p>
	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Código del producto 547</li><li>○ Motores Scania VABIS DSC-11 T-Diesel</li><li>○ Diámetro 127mm</li><li>○ Altura total 156,26mm</li><li>○ Peso terminado 2800g</li><li>○ Material P11</li></ul> <p><b>Figura 1-3: Pistón 547</b></p>

	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Código del producto 567</li><li>○ Motores Renault F9Qt Turbo diesel</li><li>○ Diámetro 80mm</li><li>○ Altura total 77,00mm</li><li>○ Peso terminado 530g</li><li>○ Material P11</li></ul> <p>Figura 1-4: Pistón 567</p>
	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Código del producto 586</li><li>○ Motores Cummins Serie BT-Turbo</li><li>○ Diámetro 102,00mm</li><li>○ Altura total 105,35mm</li><li>○ Peso terminado 1130g</li><li>○ Material P11</li></ul> <p>Figura 1-5: Pistón 586</p>

## 1.2.2 Flujo del proceso

El proceso de fabricación se conforma por el siguiente diagrama de flujo, detallado en los próximos apartados:



### 1.2.2.a Fundición

El proceso de fabricación de los pistones comienza con la fundición por colada en coquilla (o moldes permanentes) unitarios de la aleación de aluminio especial para pistones. Luego se extrae el material del molde, se deja enfriar unos minutos y se realiza el desbarbado para obtener el bruto de pistón. En la figura 6 se puede apreciar el modelo tridimensional del bruto cuando sale del molde antes del desbarbado.

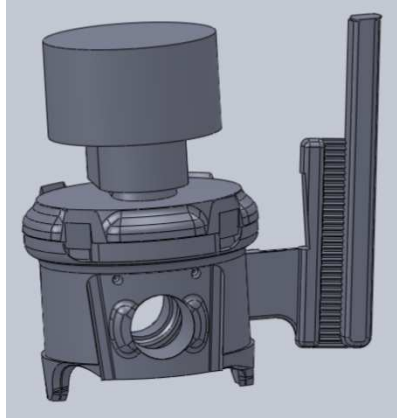


Figura 1-6: Pistón sin desbarbar

### 1.2.2.b Tratamiento térmico

El siguiente paso está conformado por un tratamiento térmico llamado precipitado. Consiste en un calentamiento de solubilizado de 6 a 8h a 510 grados según el material, siguiendo con un temple al agua, y un envejecimiento artificial de 4 a 8 horas a entre 170 y 280 grados. Los datos precisos se pueden encontrar en la tabla del proveedor de material *Metalveneta* en anexo A-2.

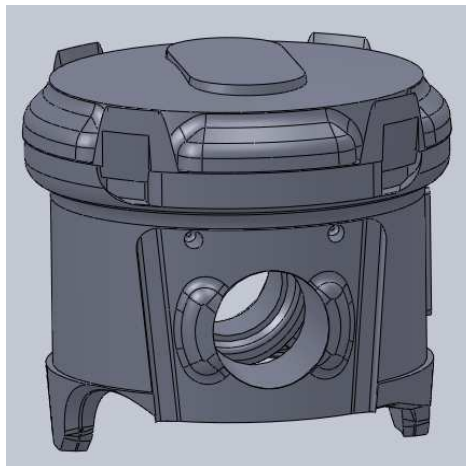


Figura 1-7: Bruto desbarbado

### 1.2.3 Mecanizado

Se presentan a continuación la cadena de operaciones de mecanizado organizadas por puestos de trabajo, agrupadas en un área del taller. Los diferentes equipamientos se encuentran dispuestos en forma de isla de producción, es decir, a modo de círculo y haciendo frente al espacio central, de tal modo que el flujo de materiales va pasando de puesto en puesto y recorre este círculo sin cruces. La disposición actual se puede apreciar el apartado 2.1.1.

<b>Operaciones de mecanizado</b>	
<b>Torno 1</b>	Desbaste de diámetro Frentado de cabeza
<b>Perforadora</b>	Agujero de arrastre
<b>Torno 2</b>	Terminado de diámetro de boca Terminado de ranuras
<b>Torno 3</b>	Terminado de cámara de combustión
<b>Centro de mecanizado</b>	Alesado de agujero de perno de pistón Fresado de válvulas
<b>Diamantador</b>	Terminado de diámetro exterior
<b>Lapidadora</b>	Lapidado del alesado de perno de pistón

Las planillas descriptivas de cada operación tal como las provee Pistones Persan se encuentran en Anexo A-3: Planillas de mecanizado de pistón 567. Cada operación se realiza por completo en forma automática una vez la pieza en posición y lanzado el programa de fabricación. Tres operarios están a cargo de la manipulación de los productos entre puestos. Realizan la descarga de la operación que se acaba de completar y la carga con el terminado anterior.

### 1.2.3.a Desbaste de diámetro y frentado de cabeza

En el torno 1 se realizan las primeras operaciones de desbaste de los diámetros externos del pistón y el frentado de la cabeza. Estas operaciones se subdividen en un pre-desbaste, luego el desbaste y un pre-acabado, con profundidades y avances decrecientes. La pieza se sujeta sobre un dispositivo anclado a la nariz del cabezal.

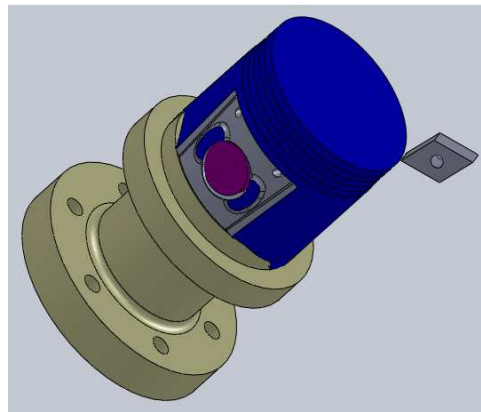


Figura 1-8: Desbaste de diámetro y frentado de cabeza

### 1.2.3.b Perforación del agujero de arrastre

Esta operación tiene por objetivo crear un agujero excéntrico, una superficie de tracción que permita transmitir el torque del mecanizado en la operación siguiente.



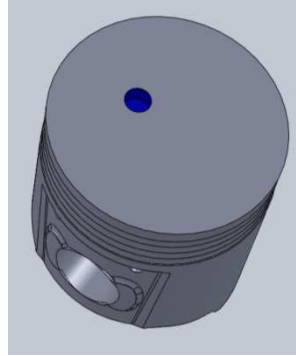


Figura 1-9: Perforación de arrastre

### 1.2.3.c Terminado de diámetro de boca y terminado de ranuras de aros.

En el torno 2, la sujeción se hace del otro lado del pistón, apoyando sobre la cara de la cabeza recién mecanizada, centrando sobre el diámetro desbastado, y ajustando con una contrapunta sobre la superficie bruta del fondo de la boca del pistón. El torneado del diámetro de la boca de pistón permite crear dos superficies de referencia (una azul cilíndrica, y una plana delimitándola) para las próximas operaciones.

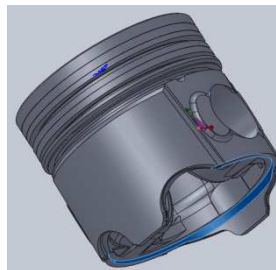


Figura 1-10: Diámetro de boca y ranuras

### 1.2.3.d Terminado de cámara de combustión

Para realizar el desbaste y terminado de la cámara de combustión se monta el pistón sobre el torno 3 con un dispositivo similar al de la primera operación, con perno y tirador. Toma como referencia de apoyo las superficies recién mecanizadas de la boca. Además, conforma por su construcción una excentricidad que coloca al eje del pistón sobre una paralela del eje de rotación del torno.

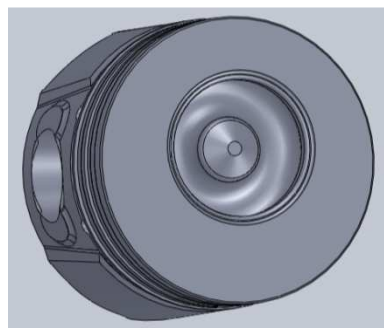


Figura 1-11: Cámara de combustión

### 1.2.3.e Alesado de agujero de perno de pistón

Se realiza sobre un centro de mecanizado, colocando el pistón boca arriba tomando el plano de la cabeza como referencia principal, centrado sobre el diámetro exterior y ajustado a la vez orientado sobre las bancadas de alesado de perno.

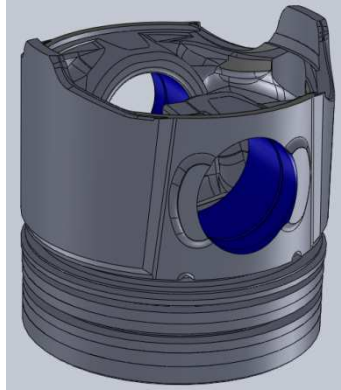


Figura 1-12: Alesado de perno

### 1.2.3.f Fresado de válvulas

En el mismo centro de mecanizado se posiciona el pistón boca abajo para mecanizar los planos de válvulas. Se posiciona y centra sobre el plano y el diámetro de la boca del pistón.

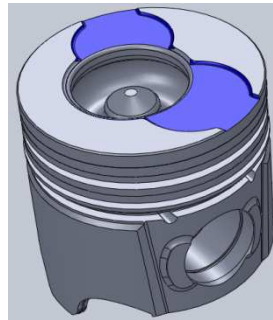


Figura 1-13: Fresado de válvulas

### 1.2.3.g Terminado de diámetro exterior

El torno diamantador realiza el terminado del diámetro exterior del pistón por copiado de una forma de referencia permitiendo generar las características particulares del pistón: la forma elíptica y los múltiples diámetros. Se posiciona sobre las referencias de la boca y se ajusta por una contra-punta blanda sobre la cabeza.

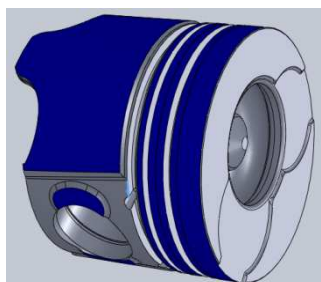


Figura 1-14: Terminado de diámetro exterior

### 1.2.3.h Lapidado del alesado de perno de pistón

El lapidado es la rectificación del alesado de perno de pistón realizado en una máquina específica.

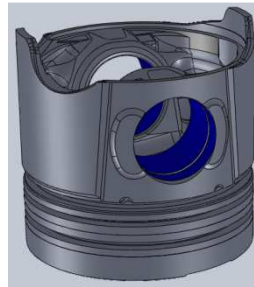


Figura 1-15: Lapidado de agujero de perno

### 1.2.4 Control adherencia APA

El aro porta aro (APA) del pistón debe tener una excelente adherencia al aluminio del pistón a pesar de ser de un material distinto. Previamente a la colada, el anillo de acero al níquel debe remojar unos minutos en un baño de aluminio fundido, de una aleación particular que permite una difusión de las moléculas. Luego el aro debe ser colocado en la matriz y la colada realizada inmediatamente para no comprometer la adherencia por su enfriamiento. Este material permite que la interface entre el aluminio P11 constitutivo del cuerpo del pistón y el acero del APA sea continua y difusa, permitiendo la adherencia entre los materiales. Sin embargo, a menudo esa adherencia no es completa y se debe controlar en forma sistemática todos los pistones para verificarla. Este control se realiza por ultrasonidos apenas terminada la operación de ranuras. Una transmisión de las vibraciones insuficiente sobre una sección superior al 10% del perímetro obliga a rechazar la pieza. Pistones Persan asegura que el porcentaje de rechazos por este defecto no supera el 2,5% de su producción.

### 1.2.5 Finalización

Al completar esta serie se disponen los productos ya casi terminados en un contenedor que se despacha a otra área donde se llevan a cabo los tratamientos superficiales, el marcado y el empaquetado que conforman las últimas etapas de fabricación.

### 1.2.6 Desarrollo del modelo de pistón 567

El diseño del dispositivo de sujeción, objeto del presente Proyecto Integrador, se realiza inicialmente con el modelo 567 en cuanto al desarrollo y la metodología aplicada en una primera y segunda etapa. Luego de validar estas etapas se podrá emprender la tercera para extender el diseño a los modelos restantes, aplicando la misma metodología ya comprobada.

## 2 Situación actual y situación propuesta

### 2.1 Situación actual: Isla de mecanizado y operadores

Si bien el proyecto de automatización prevé la creación de una celda con máquinas nuevas, su estudio se limita a mejorar una isla<sup>3</sup> de fabricación existente, copiando los mismos procesos que los que estaban en uso en la celda actual para reducir riesgos de implementación y puesta a punto. Por tal motivo se presenta la situación actual de la isla.

#### 2.1.1 Disposición de máquinas

La disposición de las máquinas en la celda permite un flujo de materiales continuo para que las operaciones se sucedan progresivamente de una máquina a su adyacente. El manejo de las máquinas y de los productos es realizado por tres operadores simultáneamente, cada uno tiene a cargo una fracción del proceso completo.

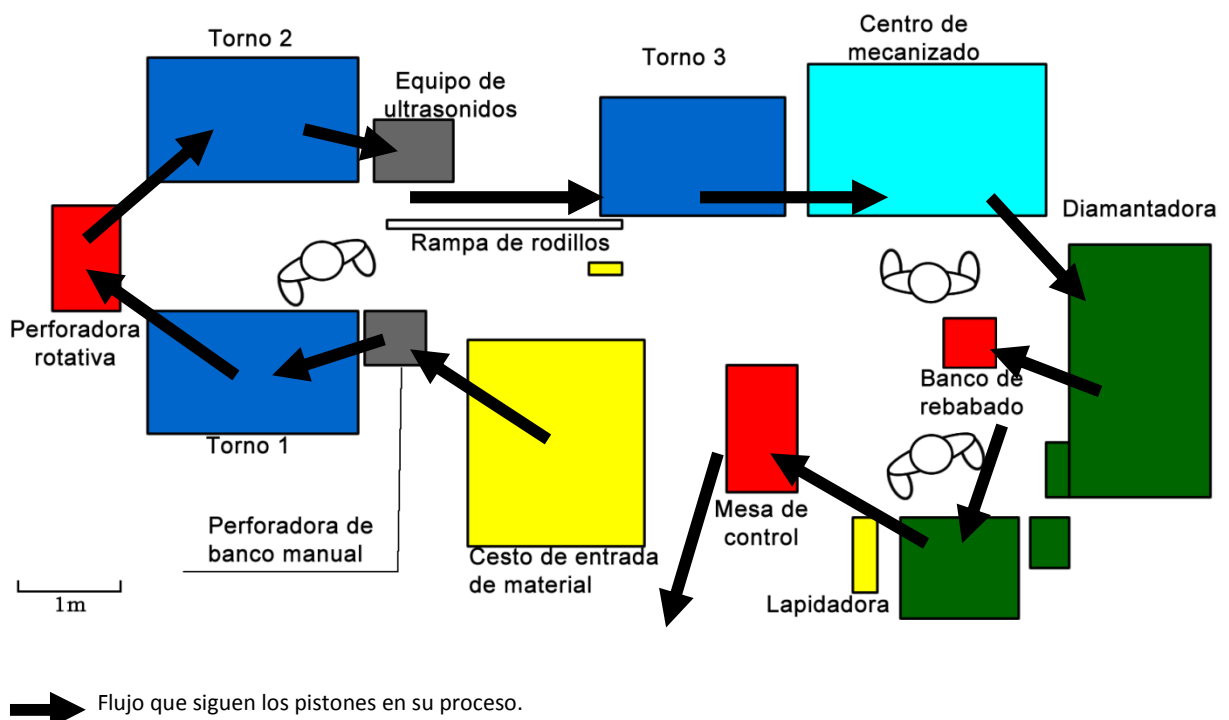


Figura 2-1: Disposición actual de la isla de fabricación

<sup>3</sup>El término de isla de producción es empleado por Pistones Persan y es similar al de celda y de célula de fabricación definido anteriormente. En el marco de este proyecto se preferirá hablar de isla cuando tratamos de una agrupación de máquinas operadas manualmente, y de celda cuando es operada en forma automatizada.

Esta configuración del sistema productivo permite combinar las ventajas de las producciones en líneas y por lotes:

- Por un lado el flujo de material es constante, los materiales se transfieren de una máquina a la otra sin demora como en una línea, reduciendo al mínimo la cantidad de en-cursos
- Por otro lado, las máquinas y los operarios están preparados para recibir y procesar distintos productos de una misma familia. Los operarios son calificados y entrenados en el manejo de todas las máquinas. La versatilidad de los equipos su número reducido hacen rápida la puesta a punto para un cambio de serie

## 2.1.2 Dispositivo manual de sujeción para tornos

Se presenta el dispositivo mediante el cual se logra la sujeción del pistón sobre el torno de la primera operación de desbaste (C25 ver anexo A-3).

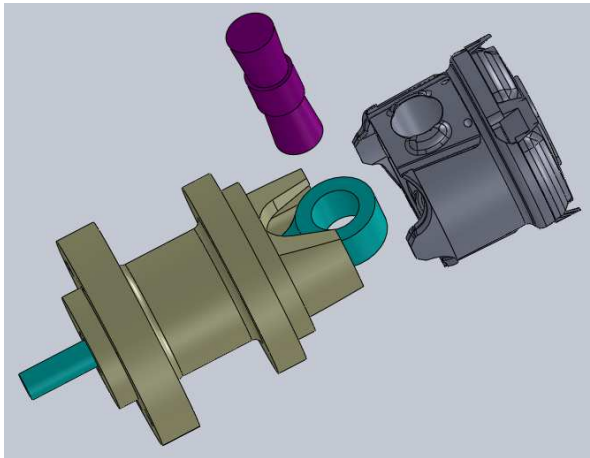


Figura 2-2: Dispositivo manual explotado

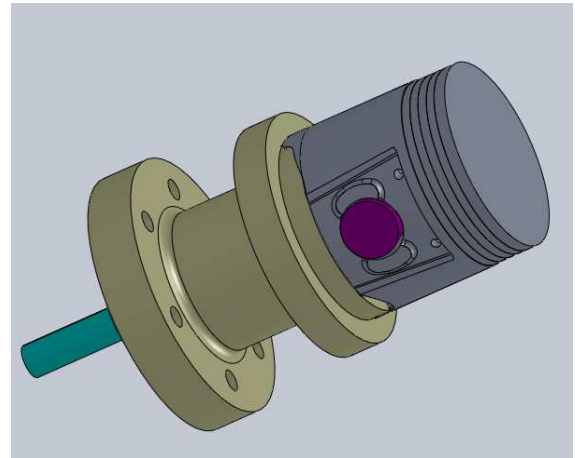


Figura 2-3: Dispositivo manual armado

Posicionamiento del pistón antes de mecanizar

Montaje de mecanizado luego de realizar el **desbaste de diámetro y frentado de cabeza.**

El pistón es apoyado y centrado sobre un manchón<sup>4</sup> de acero, acoplado a la nariz del cabezal. El operario debe entonces apoyar el pistón sobre el dispositivo, cuidando la orientación en función de un poka-yoke<sup>5</sup>. Luego pasar un perno (violeta) con la otra mano a través del agujero del pistón y del tirador (celeste). Al fin mediante un pedal accionar el cilindro hidráulico que ejerce una fuerza de apriete sobre el tirador y el perno para sujetar el pistón. Las superficies de apoyo están detalladas en el anexo A-3.

Este método de sujeción (o toma de pieza) fue desarrollado por la propia ingeniería de Pistones Persan y tiene una fuerte dependencia al trabajo del operario por las numerosas manipulaciones que debe realizar coordinando ambas manos a la vez de la acción de un pedal.

Este dispositivo puede ocasionar defectos de calidad de producto cuando no se realiza en forma correcta debido a que el centrado del perno es aproximativo, sujeto a la destreza y al tacto. En caso de que el perno no se encuentre suficientemente centrado, la fuerza de apriete no es

<sup>4</sup> Manchón: Termino empleado por Pistones Persan para nombrar el elemento mecánico que realiza el acople entre la nariz de la brocha o cabezal y la pieza a mecanizar.

<sup>5</sup>Ver glosario.

pareja y se maximiza sobre una de las bancadas pudiendo resultar en grietas en el material (ver figura 19).

Este defecto no puede ser detectado por los métodos de controles actuales de la empresa y en caso de que ocurra, solo se revelaría en el funcionamiento del motor, con consecuencias de alto costo para la empresa automotriz por el efecto de la garantía o incluso para el usuario del vehículo.

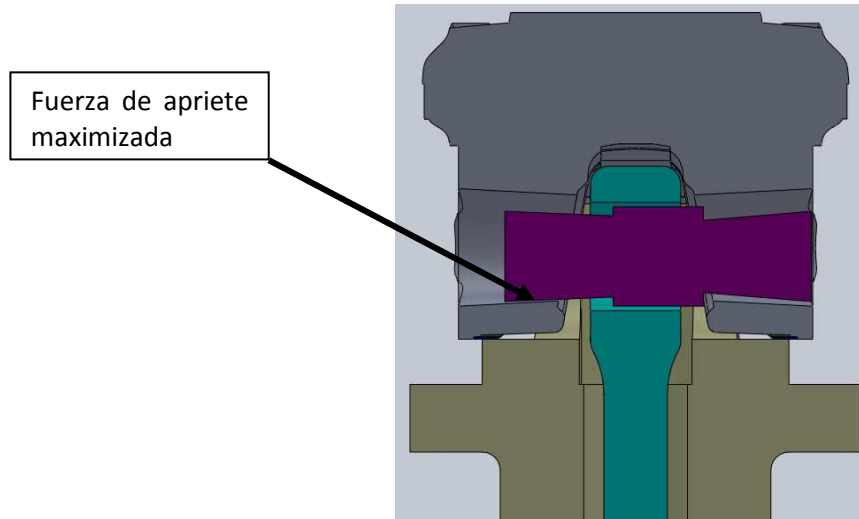


Figura 2-4: Posición inadecuada del perno de apriete

### 2.1.3 Alimentación

La alimentación de la celda se realiza mediante cestos en los cuales los pistones son dispuestos a granel. Estos cestos manipulados por auto-elevadores en proveniencia del área de tratamientos térmicos son dispuestos a proximidad de la celda. Los operarios toman estos brutos de a varios para iniciar los procesos de mecanizado.



Figura 2-5: Cesto de transferencia

## 2.1.4 Control

En la propia celda existe un puesto de control dimensional que permite controlar las medidas de un pistón por comparación con un patrón. El dispositivo consta de una serie de comparadores micrométricos dispuestos en escalera y haciendo frente a respectivas teclas.

El objetivo de este puesto es de tomar la medida de diámetros elípticos de los pistones que se están fabricando y a través de esta información ir corrigiendo muy rápidamente la desviación generada por la puesta a punto en inicio de serie, por el desgaste de las herramientas de acabado, por la variación de temperatura, o cualquier otro motivo. También disponen de calibres para las medidas de los alesados de perno.

Este control se realiza con una frecuencia periódica y no tiene por finalidad principal el rechazo de productos defectuosos. Sin embargo si se detecta una muestra fuera de tolerancia, toda la serie desde la última muestra conforme será apartada.

Un control dimensional mucho más minucioso es realizado en condiciones de laboratorio fuera de la celda, pero carece de la reactividad del puesto dentro de la celda.

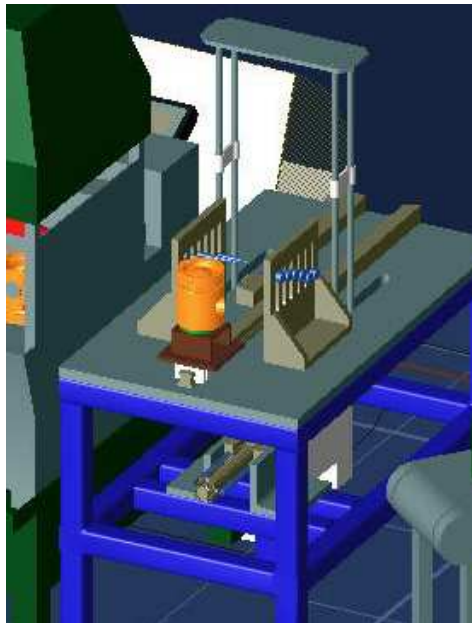


Figura 2-6: Dispositivo de control geométrico

## 2.1.5 Rendimiento

La capacidad de la isla depende del modelo de pistón. Para aquel de código 567, es de aproximadamente 29 pistones por hora y presenta un tiempo de ciclo estándar de 2,07 minutos. Se puede apreciar en el cronograma (Figura 2-7) que las operaciones se descomponen en tiempos manuales seguidos de tiempos automatizados. Los tiempos manuales corresponden a la tarea de descarga de la pieza terminada y recarga del puesto con la pieza en bruto, y se expresan en tiempo estándar. El tiempo automático es la duración del programa de mecanizado del centro de trabajo a partir del momento en que se lanza hasta que vuelve a estar disponible para recargo; en este caso la duración estándar y real son confundidas pues las máquinas no tienen variabilidad en su ciclo normal. El detalle de los valores de tiempos se encuentra en el anexo A-3.

Todas las operaciones que conforman la celda están en serie. Se puede aplicar la teoría de sistemas en serie en la cual se describe que la cadencia máxima del sistema está limitada por el

componente el más lento o de mayor tiempo de ciclo (Machuca et. al. 1995, p.267 y ss). Esta operación se denomina cuello de botella por similitud con el vaciado de líquidos de un envase. Las otras operaciones deben trabajar al ritmo que impone el cuello de botella y tienen tiempos de espera. Cuando es posible, el equilibrado de los tiempos de ciclo de cada operación permite limitar la desocupación improductiva de las operaciones que no son cuello de botella. En el caso de esta celda los tiempos de máquina (automático) son incompresibles porque son resultados de la programación del mecanizado, al contrario de las operaciones exclusivamente manuales.

Las operaciones C26, A05 y D01 son las tres de duración estándar igual a la del ciclo de la isla por lo que no se puede diferenciar en primer lugar cuál es el cuello de botella. La operación C26 tiene el mayor tiempo automático por lo que se supone que será incompresible y puede conformar un posible cuello de botella. En oposición la operación D01 tiene el mayor tiempo de manipulación, por lo que se puede suponer que ese tiempo es el más variable. Definido como tiempo estándar, el tiempo manual real puede acortarse o alargarse según factores muy variados relacionados con el estado de ánimo del operario. Sin embargo, luego de consultar con Pistones Persan se pudo despejar esta ambigüedad: el tiempo manual asociado a la operación D01 es inflado a fines contables en las fichas de proceso, y no refleja la realidad de la célula, a contrario del resto de las operaciones y especialmente la A05, por lo que esta última es la de mayor duración, el cuello de botella.

Las operaciones manuales tienen una interdependencia de correlación de una con la siguiente, pues son conformadas por los mismos operarios. Por lo contrario, varias operaciones automáticas se pueden estar realizando en forma simultánea. Las operaciones manuales sólo se pueden solapar entre operaciones no seguidas si son realizadas por operarios diferentes.

Obtenemos del cronograma que las operaciones C25 a A05 pueden ser realizadas por un mismo operario debido a que no se solapan entre ellas. Las operaciones D01 y L01 serían realizadas por otro. Dos operarios alcanzan entonces para la manipulación de toda la isla. Incluso se puede mejorar el equilibrio de carga entre ellos si el segundo toma A05.

La razón por la cual Pistones Persan incluye a tres operarios en esta isla se debe a que el sindicato impone un orden legal limitando a tres, la cantidad de máquinas que puede atender cada operario. Al ser superado ese límite, el operario deberá ser cambiado de categoría e imputa mayores gastos.

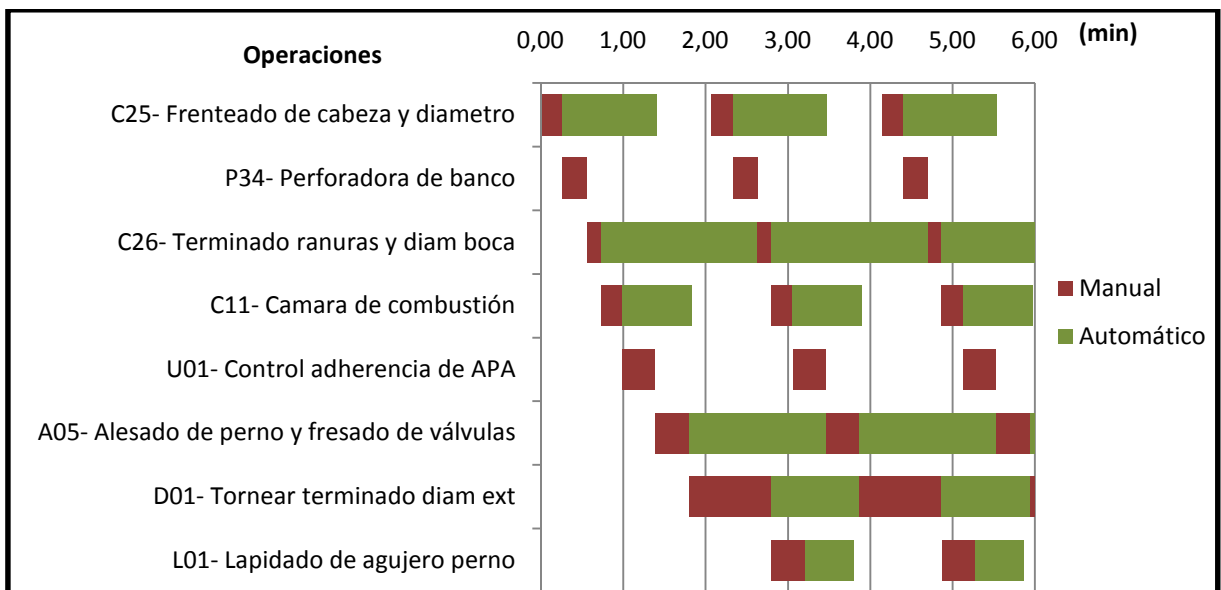


Figura 2-7: Cronograma de operaciones (pistón 567)





La isla trabaja en doble turno, es decir diez y seis horas por día, pero su producción debe ser ponderada de dos factores:

- Factor utilización : *“Las horas disponibles durante una jornada de trabajo no se dedican todas a producir (necesidad de mantenimiento, paradas por desayunos o aseos, ausentismo, rotura de máquinas, etc.)”* al cual el autor agrega las reuniones de equipo y sindicales, la puesta a punto de las máquinas por cambios de serie o por desviación de tolerancia. *“Se define el factor de utilización (U) como el cociente entre el número de horas productivas desarrolladas (NHP) y el de horas reales (NHR) de jornada por período”* (Machuca, Dirección de operaciones: Aspectos tácticos y operativos, p37).
  - U=70% es el factor de utilización de la isla.
- Factor eficiencia : *“Otro importante hecho a considerar es que, indudablemente, los distintos conocimientos, habilidad y rapidez de movimientos de la mano de obra, pueden hacer que distintas personas desarrollen una misma labor empleando diferentes tiempos productivos, es decir, con distinta eficiencia.”* Se define entonces *“el factor de eficiencia (E), que sería igual al cociente entre el número de horas estándar (NHE) y el de horas productivas (NHP) desarrolladas en el mismo período.”* (Machuca, Dirección de operaciones: Aspectos tácticos y operativos, p38).
  - E=85% es el factor de eficiencia de la isla. (dato de Pistones Persan)

Por lo tanto:

$$NHE = NHR * E * U$$

Y la producción diaria:

$$P = Capacidad * NHE$$
$$P = 260 \text{ unidades/día} \quad (\text{dato de Pistones Persan})$$

## 2.2 Situación propuesta: Celda robotizada

Las solicitud de Pistones Persan fue la de un asesoramiento para resolver la problemática de reducir costos para mejorar la competitividad, y a la vez la productividad, la calidad y la fiabilidad del sistema productivo. Al momento de buscar soluciones la empresa tenía ciertas dudas en cuanto a la opción de robotizar. Sipromet supo inspirar confianza entre los dirigentes de Pistones Persan y el proyecto se planteó bajo la modalidad de ingeniería participativa, es decir que se discuten conjuntamente las propuestas por Sipromet a medida que son avanzadas.

Los robots no son más veloces que el hombre para la mayoría de las tareas y sólo consiguen serlo cuándo se trata de manipular objetos muy voluminosos o pesados, o cuando los movimientos a realizar son muy amplios con respecto al tamaño de un hombre (robots de soldadura o de pintura de carrocería por ejemplo). La principal ventaja de una celda robotizada se encuentra en este caso en un tiempo de fabricación sin interrupciones. Por su autonomía de funcionamiento, no sufren de la misma forma los contratiempos relativos a la mano de obra como ser las pausas por desayuno o cambio de turno, el ausentismo, etc.

Se presentan a continuación las soluciones técnicas ya acordadas y validadas del proyecto. El objetivo de este PI no es de discutir estas soluciones pero el autor estima necesario su presentación para un mejor entendimiento del problema de diseño del dispositivo de sujeción.

## 2.2.1 Dos brazos robotizados

La propuesta que se retiene es la de incorporar dos brazos robotizados a cargo de llevar los productos en cursos de fabricación de puesto a puesto. Sipromet tiene una larga experiencia en la programación y simulación de las trayectorias de robots y como tal realizará esta tarea.

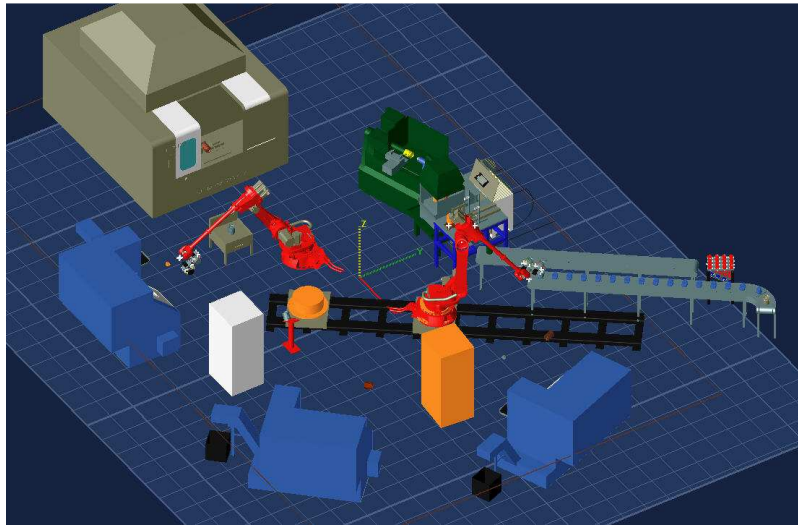


Figura 2-8: Modelización 3D de la celda robotizada

## 2.2.2 Gripper

Los robots deben contar en su extremidad con un “gripper” (es el término ampliamente usado para nombrar el módulo de sujeción) diseñado específicamente y capaz de realizar la prensión de los pistones en cualquier etapa de su mecanizado. Además, éste debe tener la capacidad de cargar dos pistones simultáneamente, pues permite al brazo robotizado realizar en un mismo movimiento la descarga del puesto que acaba de completar su operación, y la carga del mismo puesto con una pieza nueva.

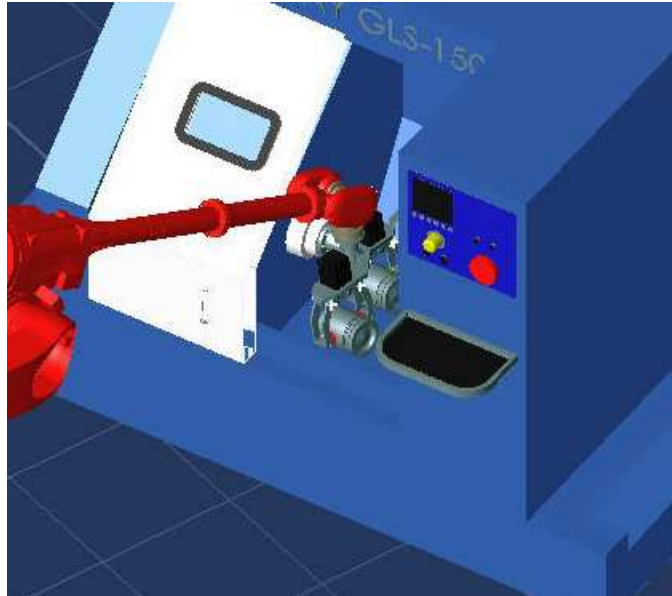


Figura 2-9: Modulo de presión "gripper" del robot

### 2.2.3 Alimentación de la celda

Se debe desarrollar también la alimentación de la celda con pistones en bruto por una cinta mecánica o algo similar, que cumpla con los objetivos de mantener una alimentación homogénea y autónoma de la carga de la celda durante una hora y presentar los pistones brutos con la justa orientación para ser tomados por el brazo robotizado. La dificultad de esta etapa consiste en lograr un sistema que maneje los brutos de distintos pistones a pesar de sus formas complejas y diferentes, e incluso sea robusto frente a las rebabas de moldeado. La evacuación también es realizada por cinta hacia la siguiente etapa.

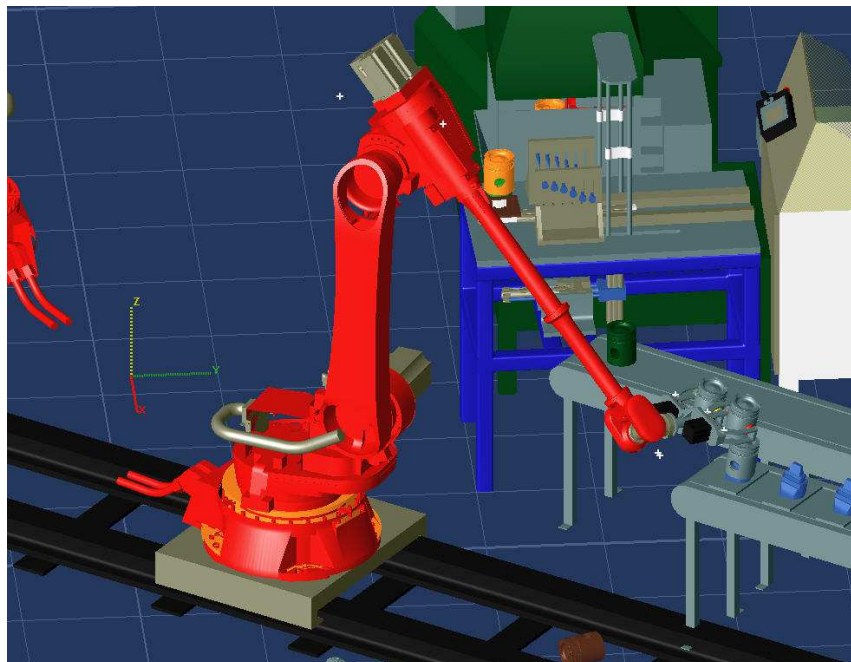


Figura 2-10: Modulo de alimentación de la celda robotizada

## 2.2.4 Control de geometría

En cuanto al desarrollo del puesto de control automatizado, debe cumplir con los mismos requisitos de funcionamiento que el puesto manual estipulados en el anexo A.2, además de respetar la autonomía y los tiempos de ciclo acelerados. El mayor desafío consiste en lograr un sistema que logre una medición micrométrica a pesar de trabajar en un ambiente contaminado por aceites de corte, polvillo, virutas, y con fuertes variaciones térmicas, algo muy alejado de las condiciones normales de un laboratorio de medición.

## 2.2.5 Coordinación

La celda debe contar con un controlador lógico programable (PLC) de coordinación de todas las etapas para lograr un funcionamiento correcto, sin interferencias entre las tareas de cada elemento, que comunique con cada máquina ya sea las que se han agregado a la celda o las pre-existentes.

Además de garantizar la coordinación, sirve de interface humana para arrancar o detener la celda, transmite informaciones estadísticas o de interés inmediata como la localización de un error a causa de una parada. Incluso puede contar con opciones avanzadas como la gestión de los cambios de productos, el vaciado y llenado de los en-cursos en principio y final de serie, la gestión de los pulmones en ciclo normal y en caso de producción defectuosa, y hasta la corrección automática de los programas de mecanizado para cumplir con las cotas críticas por retro-alimentación del puesto de control de geometría.

## 2.2.6 Sujetador rápido para mecanizado

Los dispositivos manuales de sujeción de piezas que describimos anteriormente, presentes en los tornos 1 y 3 deberán ser remplazados por dispositivos automáticos. Esto es debido a la imposibilidad de realizar el posicionamiento del pistón y del perno simultáneamente. Son acciones de una complejidad demasiado elevada para un solo robot, y además de necesitar un brazo suplementario, existe un conflicto con la zona de presión del gripper que obstaculiza los orificios del bulón del pistón, impidiendo el paso de un perno.

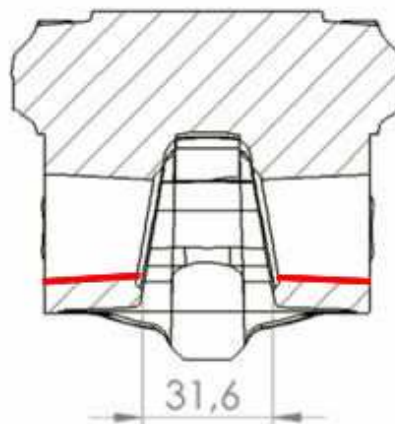


Figura 2-11: Vista en corte del bruto de pistón 567

Concretamente, el dispositivo automático conserva la estrategia de localización de la pieza mediante un apoyo plano sobre la base de la falda del pistón y un centrado corto sobre la

superficie interna de la boca (ver anexo A-3). Lo que debe cambiar es la parte que realiza el apriete sobre los agujeros del perno de pistón (en rojo sobre la Figura 2-11), que para liberarse del obstáculo del gripper se tiene que expandir desde el interior de la boca del pistón por un sistema de garras que se desplieguen una vez la pieza en posición y se puedan retractar hasta dejar libre el paso a la extracción, con una distancia que debe ser menor a 31,6mm como lo muestra la Figura 2-11.

Estas exigencias no deben aminorar la calidad de apriete de ningún modo, es decir, la fuerza de apriete debe mantenerse suficiente para inmovilizar la pieza, especialmente durante los desbastes más profundos. Se prohíbe el deslice radial sobre el plano de apoyo debido al esfuerzo de corte excéntrico, que genera problemas de circularidad, y también el deslice axial o rotación de la pieza sobre su soporte por efecto del torque entregado.

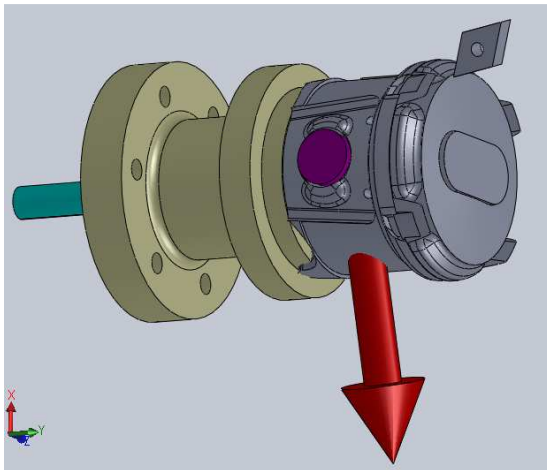


Figura 2-12: Deslice radial en operación de desbaste

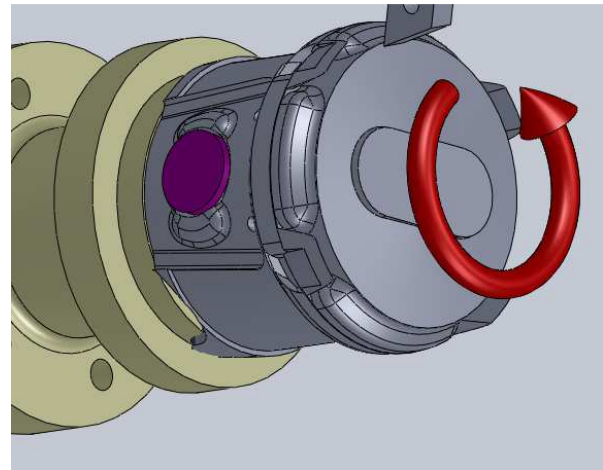


Figura 2-13: Deslice axial en operación de desbaste

Por otro lado debe presentar una superficie suficientemente amplia para no dañar el material por aplastamiento en la zona de contacto. Esto depende del material, el estado de su superficie y su forma, que en este caso es un cono.

## 2.2.7 Rendimiento

La celda robotizada está diseñada para funcionar en forma autónoma durante aproximadamente una hora. Necesita solo un conductor de celda en forma semi-permanente para realizar la carga en entrada, la evacuación de los pallets completos en salida, y monitorear el correcto funcionamiento. Es el encargado de realizar ajustes y correcciones de desgaste de herramientas periódicamente en función del resultado de las mediciones.

La comparación de la producción de una celda robotizada supone la estimación de tiempos de manipulación por el robot tabulados por Sipromet:

- Los movimientos puros de traslado entre puestos se estiman en 3 segundos
- Las tareas de intercambio de piezas en un puesto duran razonablemente 9 segundos salvo caso particular (centro de mecanizado cuenta doble).
- Las entradas de materiales son 3 segundos.
- Las salidas con disposición automática en pallets duran 7 segundos.

- Se advierte en la Figura 2-14 que el tiempo de ciclo se mantiene en 2,10 minutos, un leve aumento debido a una estimación del tiempo de manipulación del robot en el cuello de botella.
- Se observa que los robots cumplen su ciclo en tiempos reducidos, y quedan desocupados durante una porción importante del ciclo.

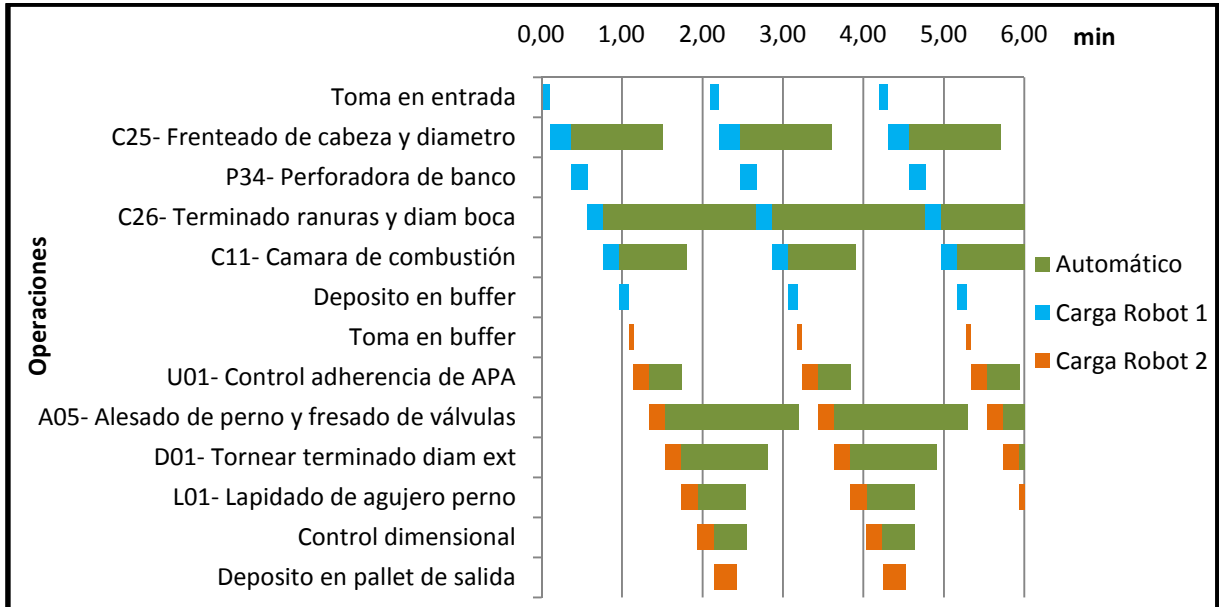


Figura 2-14: Cronograma de celda 2 robots

La gran ventaja de la celda robotizada está en los factores de eficiencia y de utilización. El funcionamiento totalmente automático implica una variabilidad nula una vez en marcha, debido a que los robots no tienen períodos de aprendizaje, la habilidad y velocidad de trabajo es constante, por lo que el coeficiente de eficiencia (E) no tiene el mismo significado y es una variable que permite controlar la velocidad de las máquinas (generalmente entre 25 y 120% de dicha velocidad). Para mantener un margen de seguridad en las estimaciones y definir una capacidad nominal se toma:

- E=90%

El coeficiente de utilización se ve aliviado en forma parcial de los factores relativos a la mano de obra: ausentismo, paradas por desayunos o aseos, reuniones de equipos y sindicales. Se conservan las puesta a punto de las máquinas por cambios de serie o por desviación de tolerancia, rechazos de producción, fallas en la programación resultando en paradas. A modo de estimación se formulan las siguientes hipótesis, basadas en el comportamiento actual de la isla:

- El cambio de serie dura aproximadamente 25 min y los cambios de serie son cada 3000 pistones por lo general.
- Las herramientas de corte son numerosas en toda la celda pero se sabe que en promedio hay que cambiar una cada 80 pistones y se tarda 8 minutos para realizar cada cambio
- Se preven paradas de 45 minutos por día para limpieza y mantenimiento liviano (lubricación).
- Se mantiene un 2% de la producción defectuosa por falta de adherencia APA, (consecuencia del proceso de fundición)
- Se considera que unos 8 pistones resultan fuera de tolerancia por día de trabajo incluyendo los que sirvieron a calibrar la isla, debido a las variaciones térmicas diaria incidentes.

- Las tareas de mantenimiento predictivo o correctivo son realizadas durante los horarios no productivos de la celda.

➤ U=94%

La producción nominal diaria se eleva entonces a pesar del aumento de tiempo de ciclo en un:

$$P = 386 \text{ unidades/día}$$

### 2.2.7.a Rentabilidad con un solo robot:

Un estudio de celda con un solo robot fue conducido para evaluar esa opción; en la simulación, el robot está ocupado un 100% del tiempo, convirtiéndose en el cuello de botella del sistema. El tiempo de ciclo se incrementa hasta 2,25 minutos.

Persan descartó esta opción tras un análisis económico interno debido al costo poco elevado de un robot suplementario en comparación a la diferencia de productividad, apoyado por el objetivo de un futuro incremento de capacidad. Además los tiempos de robots en la carga y descarga de operaciones fueron estimados en forma genérica, y aquellos que originalmente tomaban mucho tiempo (en celda manual A05 y L01) pueden estar sub-estimados lo que impactaría mucho en el caso de una celda de un solo robot, pero que no tendría ninguna consecuencia en una celda de dos robots.

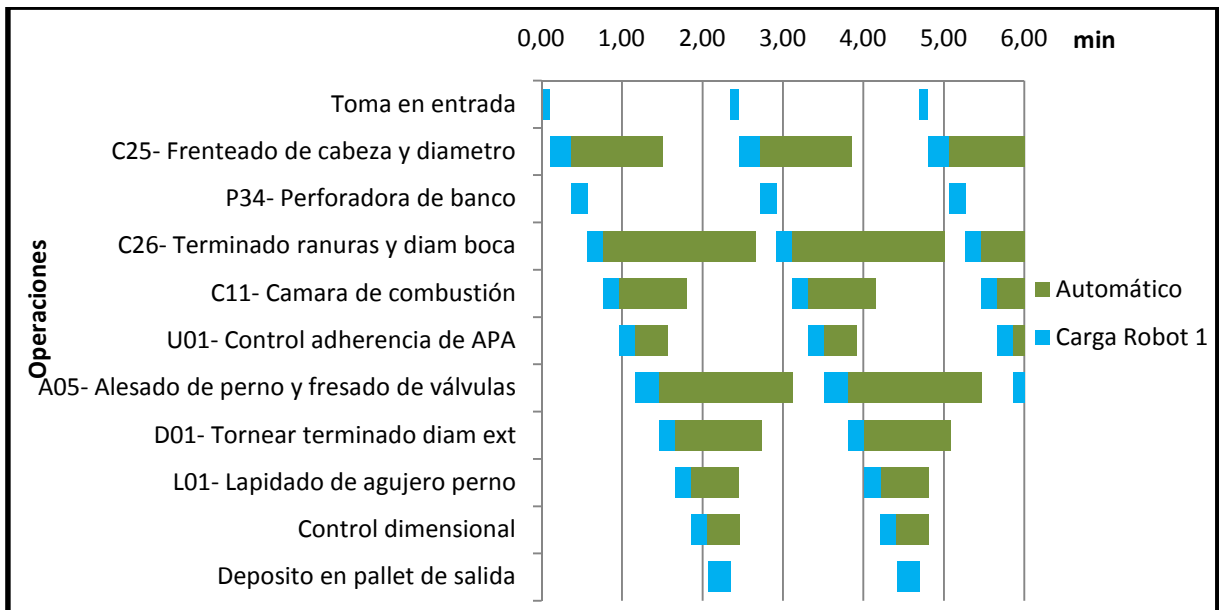


Figura 2-15: Cronograma de celda 1 robot

## 2.3 Consideraciones y alternativas a la robotización

La ventaja de la producción robotizada radica entonces en la continuidad de la producción. Esta continuidad sólo puede lograrse teniendo especial cuidado en el diseño de todos los elementos para que su funcionamiento sea lo más confiable posible. De no ser así, la celda sufriría



numerosos paros. Cada vez que algún dispositivo falle, sufra un desperfecto no necesariamente por alguna rotura, toda la celda quedará a la espera de una solución. No puede contarse con la capacidad de un operario de encontrar soluciones instantáneamente a problemas mínimos como una simple viruta que traba un mecanismo. Incluso la propia manipulación por los robots debe ser cuidada minuciosamente para que sea robusta e insensible a las perturbaciones del ambiente de la celda (virutas, aceite de corte, variaciones de temperatura y de humedad, desgaste de las herramientas induciendo juegos).

A pesar de un diseño confiable, el conductor de celda también deberá ser necesario para resolver rápidamente estos desperfectos que aparecen en forma aleatoria, lo que llamamos monitoreo del correcto funcionamiento dentro de las tareas mencionadas anteriormente (carga de entrada y descarga de salida).

Aún que el objetivo de este proyecto no sea de evaluar la rentabilidad económica de este proyecto se pasa a mencionar algunas cotizaciones realizadas por Sipromet. El resto de la evaluación es de la responsabilidad de Pistones Persan por lo que el autor no dispuso de la información que maneja el control de gestión en la preparación del proyecto de Robotizar. Además Pistones Persan pretende armar una célula completa, constituida sólo por equipamientos nuevos. Supone una inversión importante, fundamentada con una serie de hipótesis a futuro y una planificación estratégica de una complejidad tal que justificaría dedicarle un estudio propio.

La inversión total es de unos 4 032 500\$AR y se compone de:

- 2 robots de un precio unitario de 50 000€ (incluye los impuestos a la importación a 66%);
- 3 tornos Goodway GLS 150 de un precio unitario de 70 000€;
- 1 centro de mecanizado de un valor de 150 000€;
- Las modificaciones en la Lapidadora, Perforadora, Diamantadora, Equipo de ultrasonidos así también como la confección de un nuevo juego de herramientas para todas las máquinas tiene un costo de 50 000\$AR;
- La fabricación del puesto de alimentación y de la mesa de control tiene un costo de 170 000\$AR;
- Los *grippers* de los robot, las pinzas para la toma de las piezas en el torno, el buffer tienen un costo de fabricación de 130 000\$AR;
- El material de mecánica general (PLC, cables, neumática) vale 262 500\$AR;
- La facturación de Sipromet SRL y CO.TE.AR es de 200 000\$AR.

### Uso del sujetador rápido en una célula manual

El desarrollo de un dispositivo sujetador es especialmente necesario en la conversión de una isla manual, hacia la robotización por los argumentos mencionados más atrás. Sin embargo este dispositivo permite de ser manipulado manualmente en la isla en caso de sufrir una avería de los sistemas automático en lo que se denomina comúnmente un *modo degradado* en el vocabulario de fábrica. De hecho, hasta puede implementarse en otras islas no robotizadas para mejorar los tiempos manuales de preparación en las operaciones de desbaste de diámetro y frentado de cabeza así como la de mecanizado de cámara de combustión. Los tiempos de ciclo de cada pistón no son todos idénticos según los programas de fabricación que requieren y, aun que el modelo 567 estudiado en este PI no esté concernido, aquellos que presenten un cuello de botella localizado en alguna de estas operaciones beneficiadas de un dispositivo de sujeción rápido pueden verse mejorados de preciosos segundos, incrementando el interés que presenta este dispositivo.





---

## Alternativas

Sin entrar demasiado en detalles y en estudios que no pertenecen al alcance de este PI, se mencionan algunas propuestas alternativas a la robotización de la celda, que suelen mejorar la productividad y los costos, y que probablemente ya hayan sido analizados por Pistones Persan:

- Aplicación de métodos de programación más eficaces para mejorar el coeficiente de utilización, limitar gastos debidos a la variabilidad de la producción
- Mejoras en la variabilidad de la mano de obra, estudio del trabajo
- Resolución de la cuestión sindical para funcionar con dos operarios por isla
- Aplicación de métodos de la teoría de restricciones para aumentar la productividad
- Aplicación del método participativo *Monozukuri*<sup>6</sup> para reducir los costos en otros sectores que el de mecanizado (fundición, control, logística, administración)
- Inversiones y mejoras que permitan acelerar los tiempos automáticos de mecanizado
- Utilización del excedente de cuota de exportación para diversificar el negocio hacia la importación.

---

<sup>6</sup> Ver: M. DI GIUSTO, Informe de práctica supervisada: Implementación de un plan de optimización de costos dentro de una fábrica automotriz, Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Escuela de Ingeniería Industrial, 2013.

## 3 Estudio funcional

El propósito del estudio funcional es el de plasmar de manera formal y organizada el problema que se propone resolver, los objetivos que deben alcanzarse y las restricciones que se imponen.

### 3.1 Diagrama de funciones e interacciones APTE

Desarrollado desde los años 1960 en Francia, el diagrama APTE, gráfico de interacciones o comúnmente llamada “diagrama pulpo” es la representación gráfica de un método de innovación basado en el análisis del valor/análisis funcional. Se trata de una herramienta empleada en la etapa preliminar del diseño de un nuevo producto, que permite generar un “cuaderno de especificaciones técnicas” claro y optimizado, y por ende un producto competitivo, de calidad, completamente adaptado a sus necesidades y sin superfluos.

El nuevo producto debe posicionarse en el centro del diagrama. Se identifican todos los elementos que interactúan con él representados por burbujas. Las curvas simbolizan las funciones que debe cumplir el producto para interactuar de forma controlada con esos elementos externos. Existen funciones principales “FP”, representativas de la necesidad o del objetivo para el cual se desarrolla el producto, conectan los elementos externos entre ellos a través del producto; las funciones restrictivas “FR”, que también deben ser cumplidas pero que son consecuencia del entorno y se imponen al diseñador.

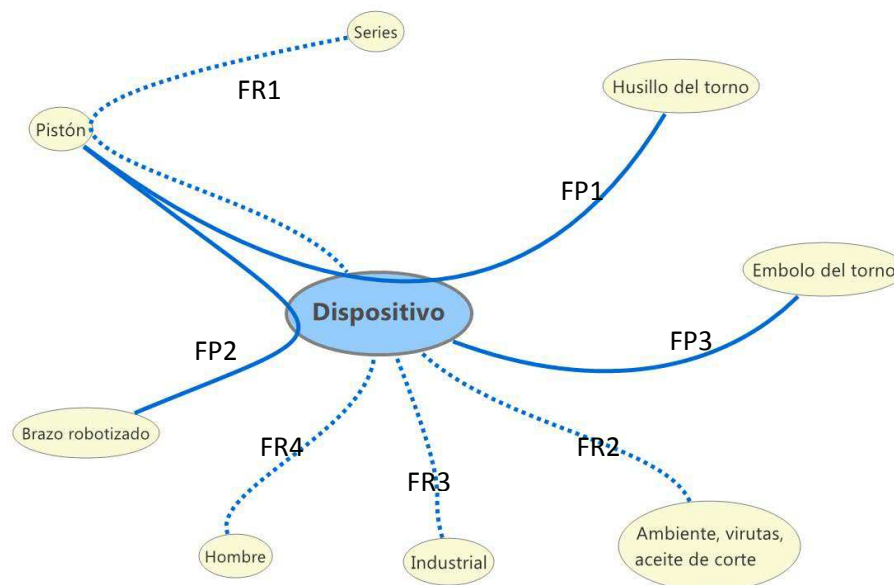


Figura 3-1: Diagrama APTE de interacciones

- FP1: Servir de intermedio entre el cabezal del torno y el pistón para su mecanizado
- FP2: Permitir la ubicación y manipulación del pistón por el brazo robotizado
- FP3: Recibir el movimiento del vástago del torno como único actuador

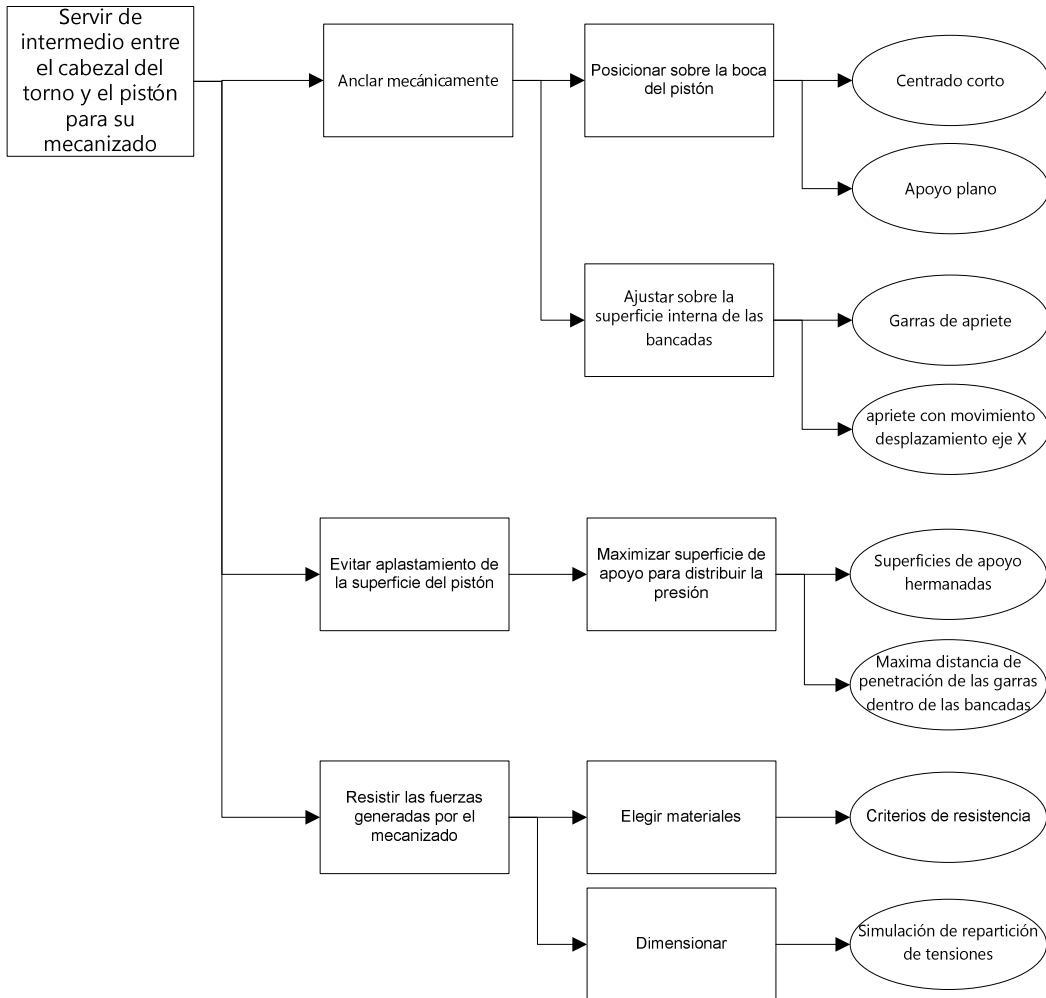


- FR1: Adaptarse al cambio de serie de pistón rápidamente
- FR2: Resistir a las condiciones del ambiente de mecanizado.
- FR3: Ser de construcción robusta y duradera para una larga vida útil y poco mantenimiento.
- FR4: Permitir la manipulación por el hombre en lugar del robot en caso de avería de éste.

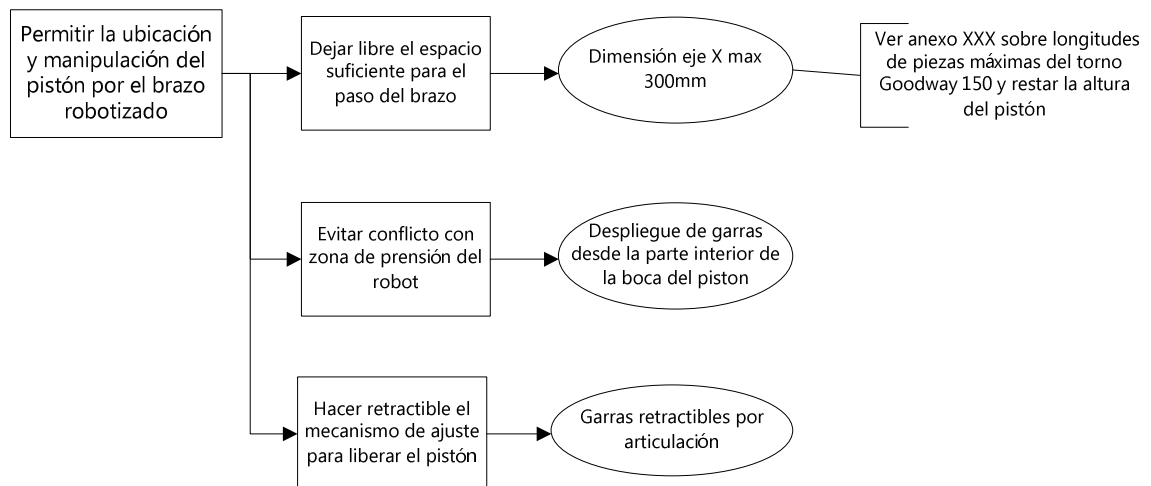
## 3.2 Diagrama FAST

Un diagrama FAST, Acrónimo de - *Functional Analysis System Technique* – presenta una traducción rigurosa de cada función de servicio presentadas anteriormente, en funciones técnicas para luego materializarlas en soluciones constructivas. Cada elemento mencionado se escribe dentro de una casilla, la o las casillas justo a la derecha responden a la pregunta ¿cómo? Aquella a la izquierda da la respuesta al ¿para qué? El ingeniero usa su cultura técnica y científica para elegir las soluciones y así construir el árbol hacia la derecha. El diagrama FAST incluye entonces un conjunto de datos que permiten transmitir el completo conocimiento de un producto complejo e incluso mejorarlo.

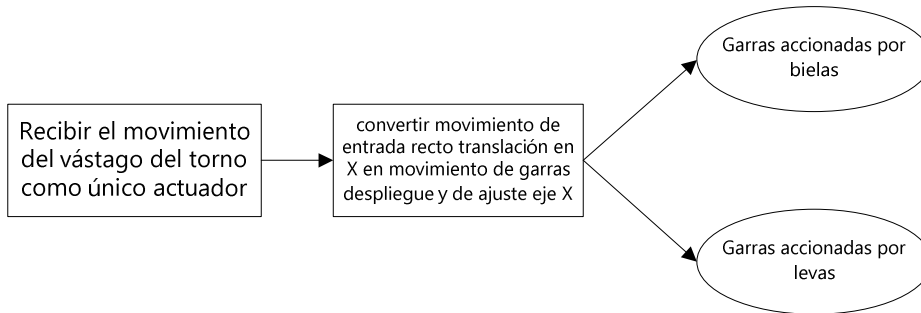
### 3.2.1 Función Principal 1



### 3.2.2 Función Principal 2

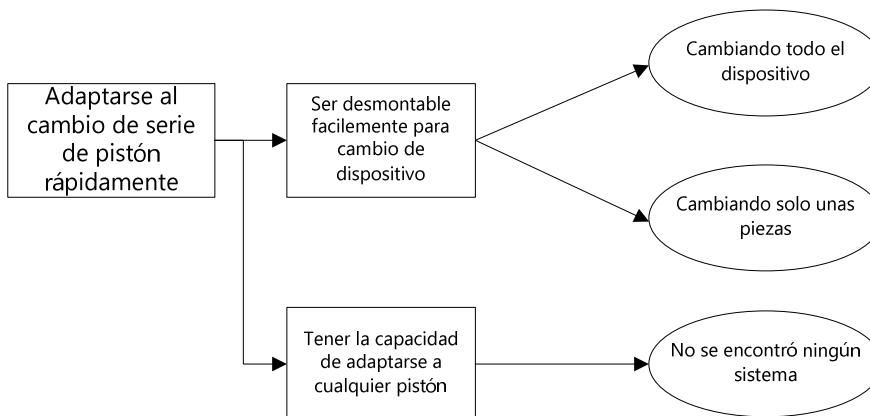


### 3.2.3 Función Principal 3

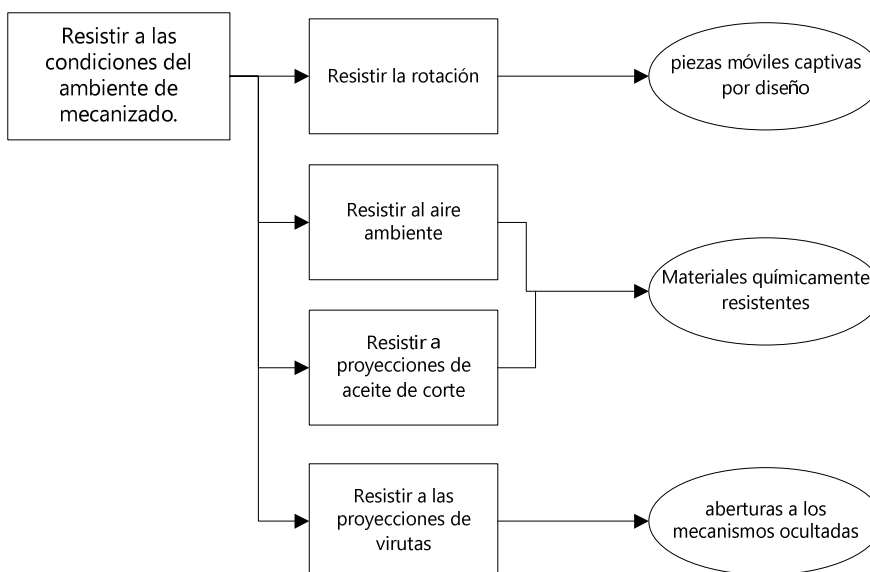


Dos alternativas se presentan aquí para el accionamiento de las garras, su evaluación será definida más adelante.

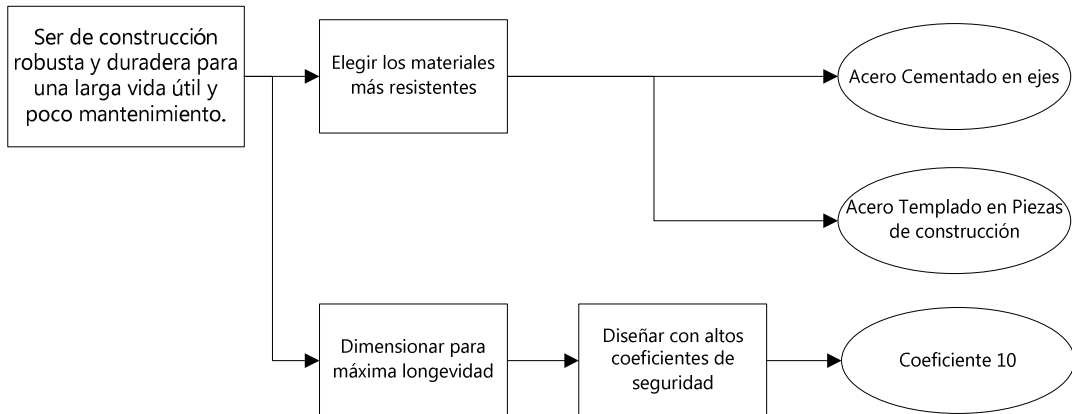
### 3.2.4 Función Restrictiva 1



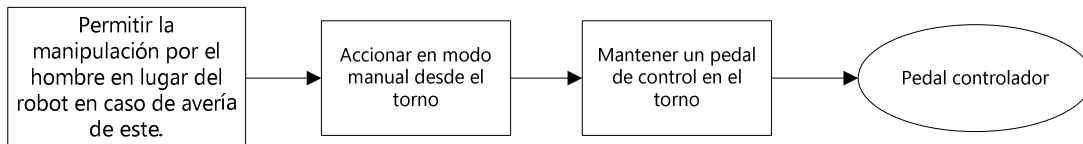
### 3.2.5 Función Restrictiva 2



### 3.2.6 Función Restrictiva 3



### 3.2.7 Función Restrictiva 4



## 4 Análisis de la cinemática del mecanismo

Se entiende por cinemática una representación esquemática de los conjuntos móviles y fijos que conforman un sistema mecánico. Se representan los componentes en un esquema de trazo simple y funcional, con enlaces de vértices entre las uniones (articulaciones) que tienen entre ellos para conformar el mecanismo. Esta representación puede servir para validar una primera etapa de diseño haciendo cálculos gráficos de fuerzas sobre las uniones y de velocidades en cualquier punto cuando es realizada a escala.

Los siguientes estudios están destinados a buscar un mecanismo que presente la mejor respuesta a las funciones desarrolladas en la primera parte.

### 4.1 Estudio de la función técnica de posicionamiento del pistón

El posicionamiento o localización es una de las componentes de la función **anclaje del pistón**. La otra función técnica es el **apriete del pistón**, y se estudia en el siguiente apartado. Esta función concierne al vínculo que existe entre la pieza para mecanizar y el dispositivo porta-pieza.

El posicionamiento es una función técnica normalizada que debe ser descrita por las fichas de operaciones del producto. El vínculo pieza/porta-pieza debe ser diseñado como **isostático** para que el posicionamiento sea repetible en forma idéntica de una pieza a la otra, una condición de primer orden en la consagración de la calidad cuando se trabaja por series. Concretamente se trata de suprimir los seis grados de libertad de la pieza en el espacio de forma óptima, es decir, sin sobreabundancia.

En la situación actual del pistón 567 se definieron las superficies de apoyo y los grados de libertad que deben ser suprimidos para localizar la pieza sobre el porta-pieza.

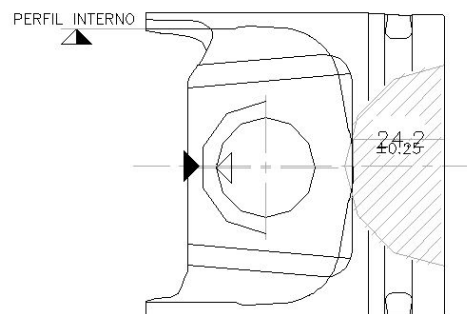


Figura 4-1: Superficies de apoyos actuales

El manchón<sup>7</sup> cumple con la eliminación de cinco grados de libertad: cuatro grados por un centrado largo sobre la cara interna de la boca del pistón, representado por las superficies amarillas, y un grado por apoyo simple sobre una de las bancadas de perno de pistón en verde. La orientación angular según el eje de rotación del torno se realiza a través del propio sistema de apriete de la pieza.

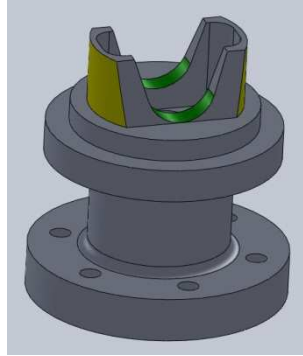


Figura 4-2: Manchón de acople

Esta disposición es criticable, las superficies de centrado de la pieza son superficies complejas, no cilíndricas, generadas por el núcleo del molde compuesto por 5 piezas. Estas 5 piezas se ensamblan para cerrar el molde y se desarman para poder liberar la pieza terminada. Los mecanismos de cierre de molde son de baja tolerancia, con juegos de funcionamiento importantes para poder resistir las altas variaciones de temperaturas y toda variación geométrica en el molde se copia inmediatamente en el bruto.

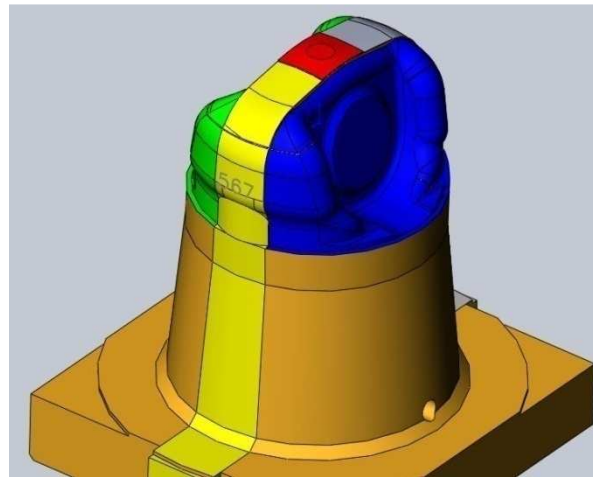


Figura 4-3: Noyo de la matriz de colado

Al final, la superficie cilíndrica de centrado del manchón, en amarillo sobre la Figura 4-3, tuvo que ser retocada reiteradamente para aumentar el juego libre y absorber la falta de precisión del bruto de pistón. Sin eso, muchas veces se dificultaba el insertar y retirar la pieza a mano porque no entraba o se clavaba, ocasionando paradas de línea.

Con el aumento de juego libre, la función de centrado largo se encuentra comprometida, así como la calidad. Se tuvo que compensar la falta de posicionamiento por un apriete mucho más exigido para que no se mueva la pieza. Algunos pistones se encuentran fuera de tolerancia por la falta de centrado.

---

<sup>7</sup> Manchón: Termino empleado por Pistones Persan para nombrar el elemento mecánico que realiza el acople entre la nariz de la brocha o cabezal y la pieza a mecanizar.



Se podría pensar en volver a trabajar el núcleo para mejorar la tolerancia de cierre y así mejorar la calidad geométrica de los brutos.

Otra posibilidad es la de reemplazar el centrado largo que quita cuatro grados de libertad, por un centrado corto que quita solamente dos y que necesita menos precisión por parte de la pieza. En ese caso se reemplaza también el apoyo simple -que quita un solo grado de libertad- por un apoyo plano que quita tres.

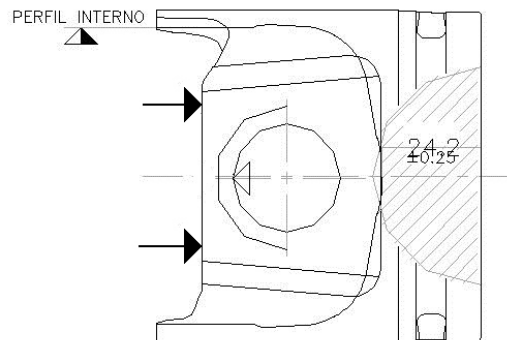


Figura 4-4: Superficies de apoyo propuestas

Las vistas del modelo tridimensional permiten una mejor interpretación de la modificación:

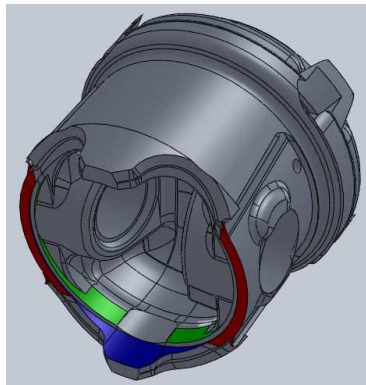


Figura 4-5: Vista 3D de las superficies de apoyo propuestas

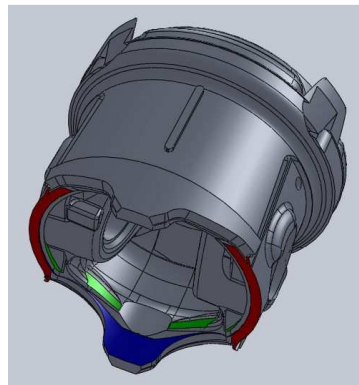


Figura 4-6: Vista 3D de las superficies de apoyo propuestas

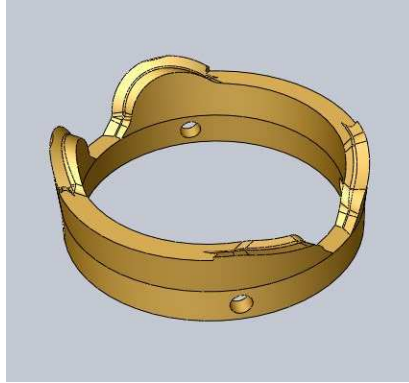


Figura 4-7: Vista 3D del buje

El apoyo plano se realiza sobre las caras pintadas de rojo, estas son generadas por una única pieza de molde, llamado comúnmente buje, por ende la geometría es de tolerancia superior. El centrado corto se puede realizar sobre las superficies verdes a pesar de presentar muy poca distancia angular. Las superficies azules presentan aún menos distancia angular de apoyo, y no se podrían considerar como centrado.

Estas propuestas fueron hechas al servicio de ingeniería de Pistones Persan en el marco de la ingeniería participativa acordada, y se tomó un acuerdo de principio sobre la modificación del posicionamiento de los pistones, con centrado corto sobre la superficie verde a condición de considerarlo como localizador simple de bloqueo de un solo grado de libertad, y agregar un centrado sobre la faz interna de las bancadas. Entonces obtenemos:

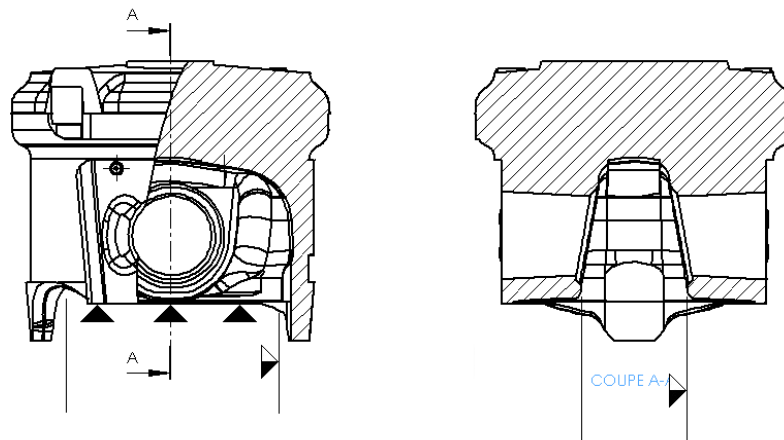


Figura 4-8: Apoyos de localización isostática propuestos

## 4.2 Módulo de garras

Se comienza proyectando un diseño genérico de garras internas que cumplen con las limitaciones del cuaderno de especificaciones :

- Apriete sobre superficies del agujero de perno de pistón
- Garras retráctiles articuladas en eje Y
- No invasión de la zona de presión del gripper
- Movimiento de apriete en eje X
- Maximizar distancia de apriete sobre pistón

Además, es importante tener en cuenta que la función de apriete no debe interferir con la de localización. Es decir que no debe cambiarse la posición del pistón por efecto del apriete, y en lo posible no debe deformarse la pieza tampoco. Esto se logra controlando que el apriete se haga exclusivamente en la dirección que otorga el posicionamiento pero de sentido contrario por un lado, y controlando la fuerza que se genera por otro lado. Para conseguir este control, es común utilizar un mecanismo isostática, cuyas características se describen en anexo A-4: Movilidad e hiperestatismo aplicado a los anclajes para mecanizado, que incluye una ecuación que permite calcular el grado de hiperestatismo de un mecanismo.

Se toma la sección de corte (X-Z) del pistón en bruto que es el único elemento totalmente definido. El plano (X-Z) es el plano donde se encuentran los agujeros de perno. En realidad el eje de estos agujeros se encuentra desplazado de 0,5mm sobre el eje (Y), paralelamente al eje (Z). El mecanismo se comienza a diseñar como un mecanismo plano, al cual se le dará volumen en la sección 4 de diseño tridimensional. En negro se representa el manchón [1] que se fija al cabezal del torno. El émbolo [2] de color azul está relacionado con el vástago del torno, las garras [3] y [4] van articuladas sobre el émbolo. Los orificios del agujero de perno no están obstruidos y permiten la manipulación por el robot.

### 4.2.1 Posición de las garras pistón captivo

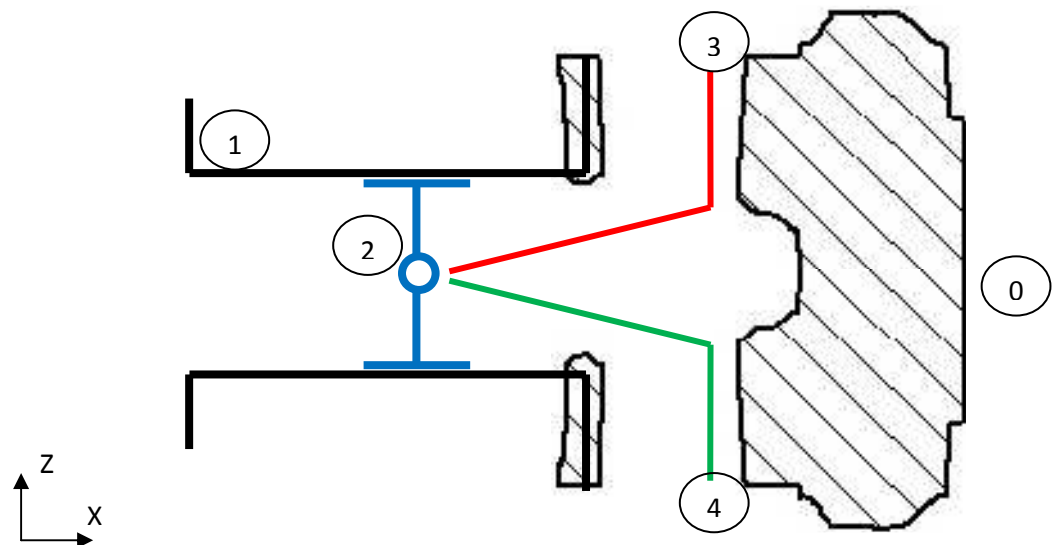


Figura 4-9: Cinemática de garras pistón captivo

Se presenta en primer instancia una posición intermedia del mecanismo en el cual el pistón es cautivo del sistema, pero sin estar ajustado contra el manchón pues las garras no están en contacto con la superficie de apoyo del pistón.

#### 4.2.2 Posición de las garras pistón liberado.

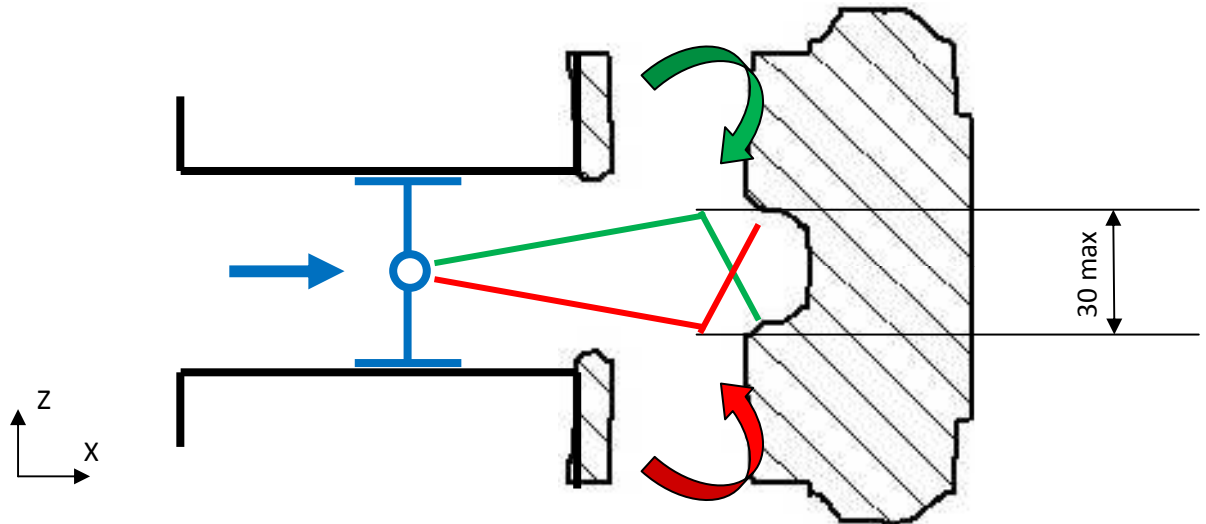


Figura 4-10: Cinemática de garras pistón liberado

Al desplazarse hacia la derecha, el vástago del torno (X+) las garras deben retractarse para liberar al pistón y permitir su extracción. Por la disposición del mecanismo, se prevé que las garras se crucen como tijeras.

#### 4.2.3 Posición de las garras pistón apretado

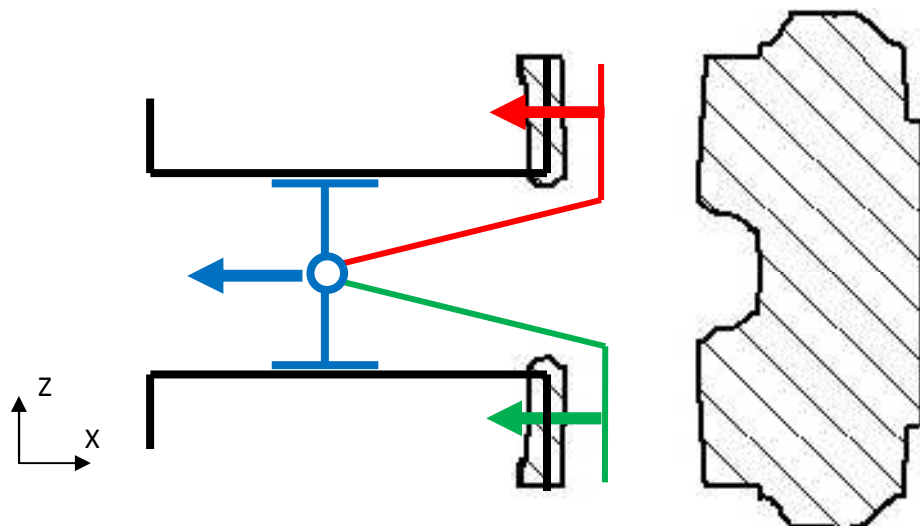


Figura 4-11: Cinemática de garras pistón apretado

Cuando se desplaza el vástago hacia la izquierda (x-) las garras entran en contacto con la superficie del pistón y se aplica la fuerza de apriete.

Este mecanismo tiene un grado de hiperestatismo, según la ecuación del Anexo A-4: Movilidad e hiperestatismo, de:

$$h = 0 + 13 - 3 * (5 - 1) = 1$$

Ecuación 1

Para volver a un mecanismo isostático se deben liberar dos incógnitas agregando grados de movilidad, lo que se puede resolver de esta forma:

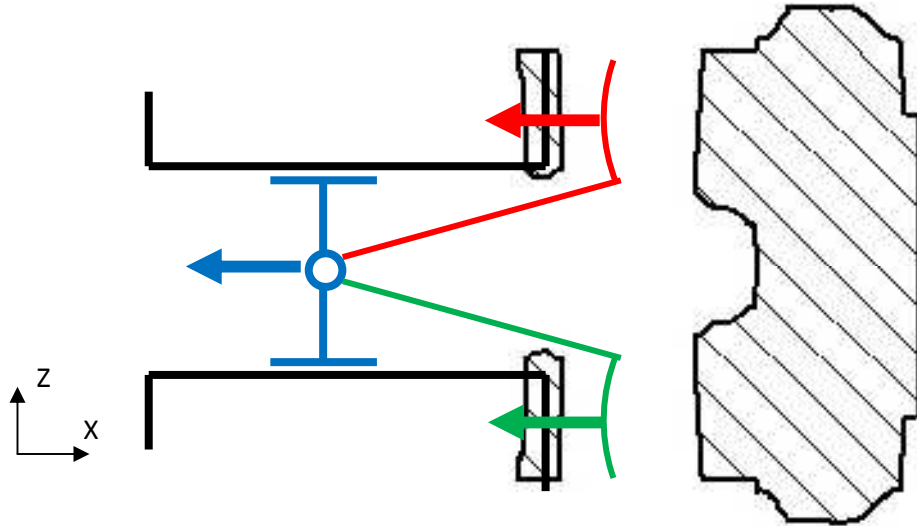


Figura 4-12: Cinemática de garras de apoyo isoestético

Entonces:

$$h = 0 \text{ y } m = 1$$

Ecuación 2

Se agrega una movilidad interna.

## 4.3 Alternativa mecanismo de levas

### 4.3.1 Posición de las garras pistón captivo

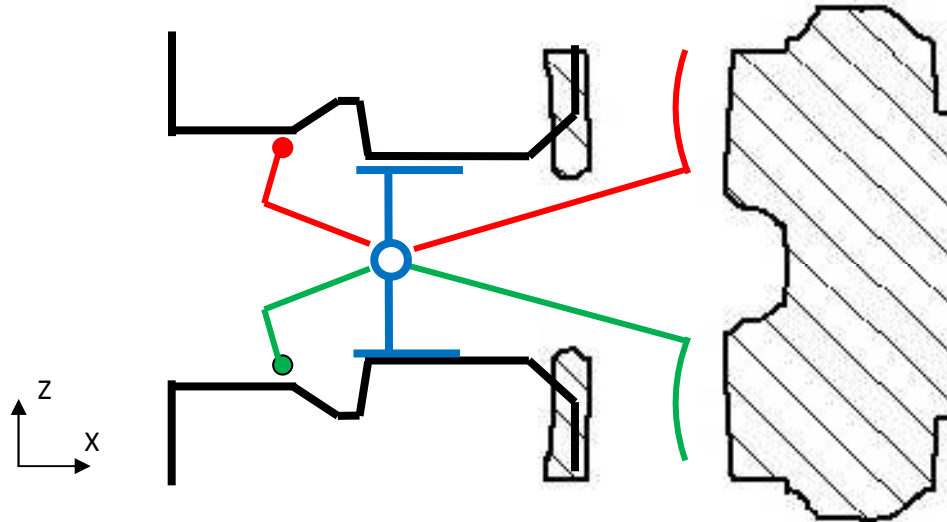


Figura 4-13: Cinemática de levas pistón captivo

Las levas son conformadas por la superficie interna del manchón, y los seguidores son parte del cuerpo de las garras. Se eligió de posicionar la unión de levas del lado opuesto a las garras con respecto a su articulación con el émbolo, pero se podría imaginar una configuración inversa.

### 4.3.2 Posición de las garras pistón liberado.

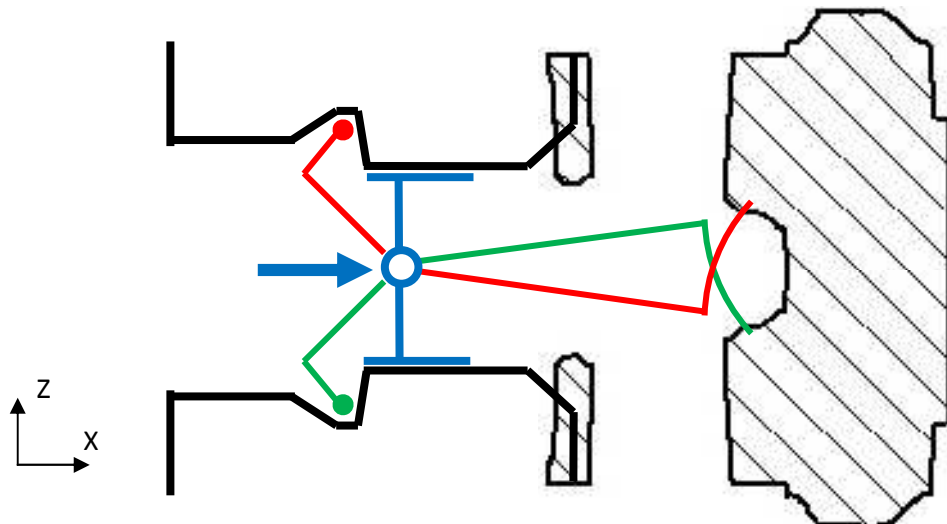


Figura 4-14: Cinemática de levas pistón liberado

Al desplazar el émbolo en  $x+$  los seguidores se distancian uno del otro por efecto de las levas, lo que produce el acercamiento y cruce de las garras para liberar al pistón.

### 4.3.3 Posición de las garras pistón apretado

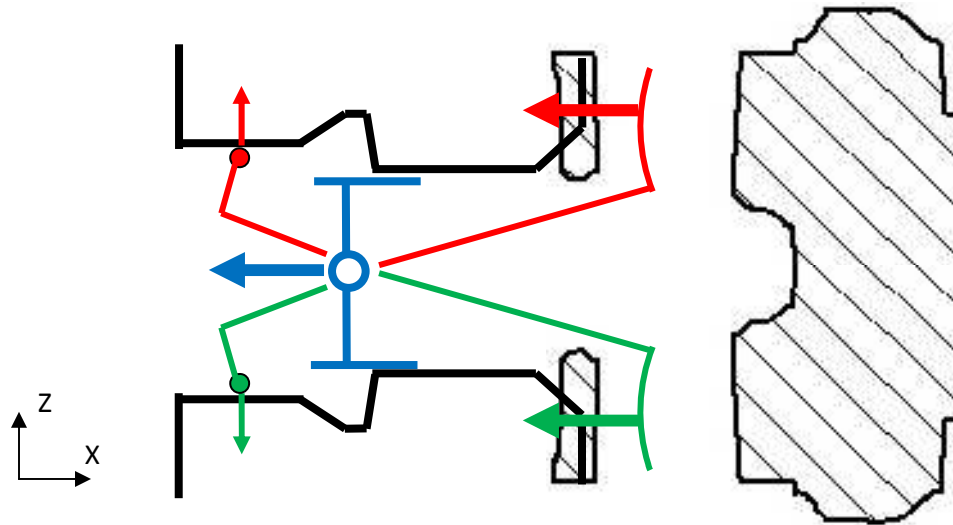


Figura 4-15: Cinemática de levas pistón apretado

Por lo contrario cuándo se desplaza el émbolo en x-, los seguidores mantienen la misma separación, así como las garras. El desplazamiento prosigue hasta la aparición del contacto con la superficie del pistón y la aplicación de la fuerza de apriete.

### 4.3.4 Estudio estático geométrico

Se consideran el sistema al equilibrio de fuerzas, los sólidos rígidos y las uniones cinemáticas como ideales, en consecuencia, se puede aplicar el principio fundamental de la estática. Además el estudio de la mitad del sistema es suficiente para conocer todas sus características porque el mecanismo es plano y simétrico.

**Grado de hiperestatismo del mecanismo:**

$$h = m + I_s - E_s = 0 + 13 - 3 * (5 - 1)$$
$$h = 1$$

Ecuación 3

## 4.4 Alternativa mecanismo de bielas

Con esta disposición, se agregan 3 piezas al mecanismo: una horquilla en marrón [5] que se fija sobre la punta del vástago del torno, y dónde se articulan dos bielas [6] y [7] que hacen el vínculo con las garras.

#### 4.4.1 Posición de las garras pistón captivo

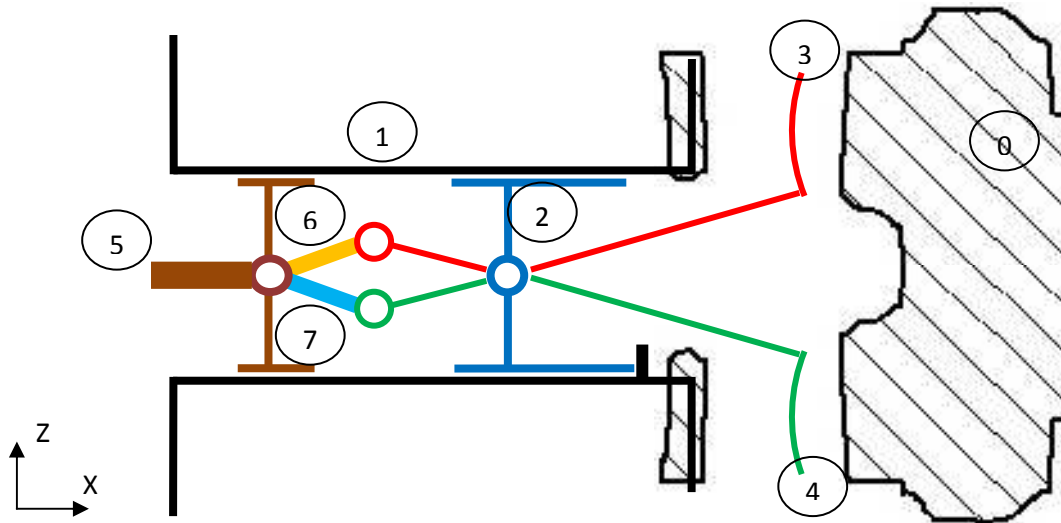


Figura 4-16: Cinemática de bielas pistón captivo

En esta posición, el mecanismo está en reposo libre de fuerzas. El manchón dispone de un tope que limita el movimiento del émbolo [2] en translación  $x+$ .

#### 4.4.2 Posición de las garras pistón liberado.

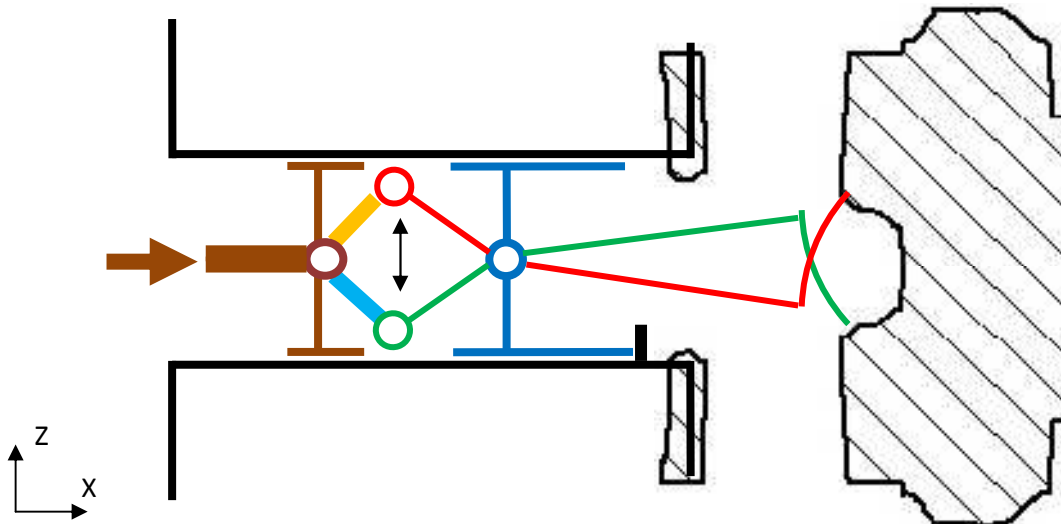


Figura 4-17: Cinemática de bielas pistón liberado

Para liberar el pistón, se sigue con un movimiento de entrada del vástago en  $x+$  pero el émbolo no puede desplazarse más, lo que causa la apertura del ángulo de las bielas y el cruce de las garras.



### 4.4.3 Posición de las garras pistón ajustado

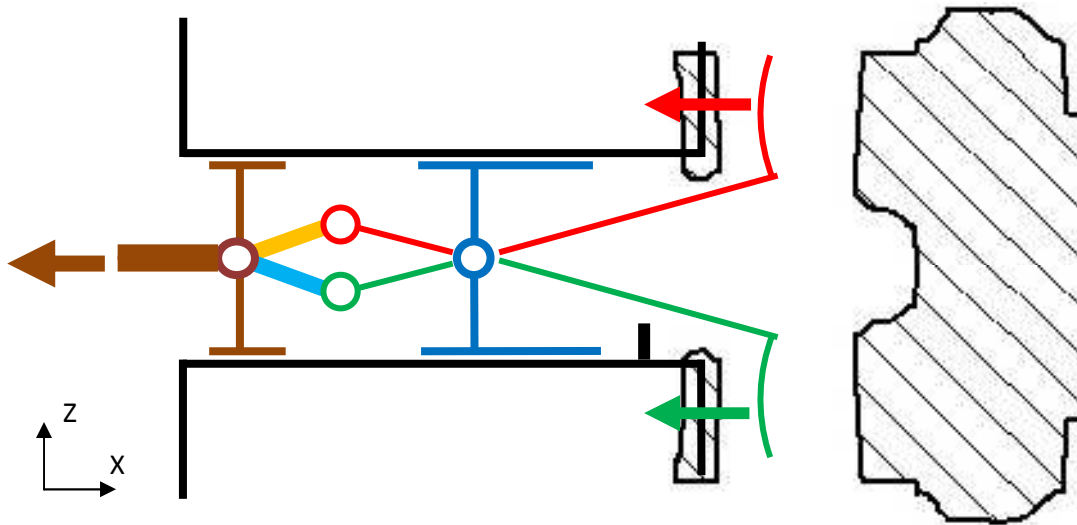


Figura 4-18: Cinemática de bielas pistón apretado

Partiendo de la primera posición, un desplazamiento en x- del vástago hace entrar en contacto las garras con el pistón y la fuerza de apriete es íntegramente transmitida. No hay variación en la apertura de las bielas.

El mecanismo por bielas presenta varias ventajas con respecto al de levas:

Por empezar, notamos que en la fase de liberación, el émbolo no tiene movilidad, lo que permite que las garras sólo tengan un movimiento de rotación alrededor del eje que las une, contrariamente al mecanismo de levas que las hace avanzar a la vez de rotar. Esto permite una retracción más confinada de las garras, liberando espacio que podrá ser ocupado por el espesor de material de las garras.

Por lo siguiente, la función de centrado prescinde de juego libre y se adapta automáticamente a la distancia de entre-caras del pistón.

### 4.4.4 Estudio estático geométrico

Se consideran el sistema al equilibrio de fuerzas, los sólidos rígidos y las uniones cinemáticas como ideales, en consecuencia, se puede aplicar el principio fundamental de la estática. Además el estudio de la mitad del sistema es suficiente para conocer todas sus características porque el mecanismo es simétrico.

**Grado de hiperestatismo:**

$$h = m + I_s - E_s = 0 + 21 - 3 * (8 - 1)$$

$$h = 0$$

Ecuación 4

Se considera:

- La biela como un sólido sometido a dos fuerza, por ende co-lineares, y de igual magnitud. La fuerza que se aplica sobre la garra en la unión (B) es entonces de dirección conocida por la recta (B;C).
- Ninguna fuerza exterior se aplica al pistón, éste ejerce sobre las garras una fuerza idéntica sobre ambas garras. El émbolo [2] guiado sobre el manchón no puede transmitir fuerzas en (X), y se encuentra sometido a dos fuerzas más: una por garra, que tienen misma dirección pero sentidos opuestos y de dirección Z.
- La garra como un sólido sometido a tres fuerzas y como tal sus direcciones se interceptan en un único punto (D). En consecuencia, las fuerzas de presión superficiales del pistón sobre la garra tienen por resultante una recta que pasa por (D).

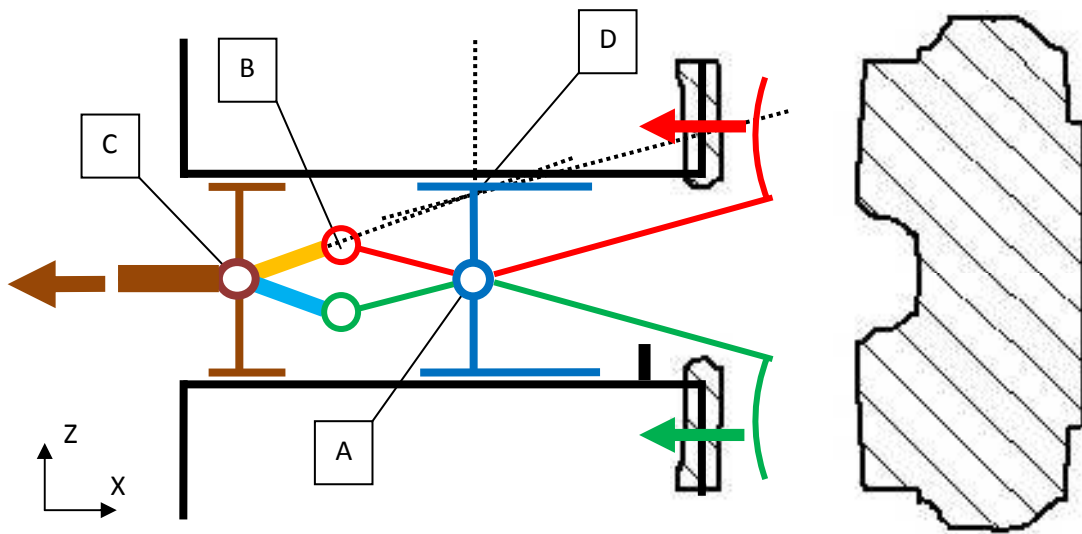


Figura 4-19: Estudio de fuerzas estáticas de sólidos en garra

Esto es una conclusión interesante ya que la disposición de la articulación (B) sobre la garra [2] y la longitud y ángulo de las bielas pueden modificar la posición del punto de intersección (D). En consecuencia podemos elegir como parámetro la dirección de aplicación de la resultante de fuerzas sobre el pistón y adaptarla para que sea de dirección (X) para garantizar que el sistema esté en equilibrio y no se cierren las garras cuando se aplica fuerza sobre el vástago. El sistema se mantiene en equilibrio siempre y cuando la resultante de fuerzas no haga deslizar la garra hacia adentro.

En el ejemplo anterior se puede observar que la resultante de fuerzas del pistón tienden a cerrar las garras, un comportamiento no deseado y que debe modificarse, como en el ejemplo siguiente. La resultante de fuerzas está dentro del cono de adherencia, incluso para mayor seguridad se diseña normal a la superficie de apoyo, por lo tanto el sistema se mantiene en equilibrio.

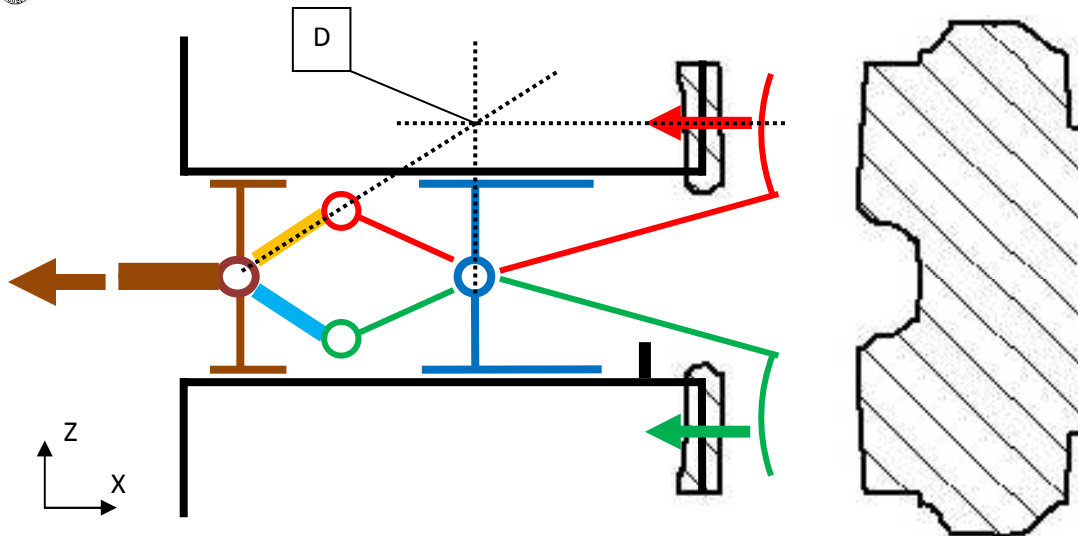


Figura 4-20: Estudio de fuerzas corregido

## 4.5 Conclusiones sobre las alternativas

Como resultado de los estudios de estática geométrica se advierte que la alternativa de mecanismo por levas presenta un grado de hiperestatismo no deseado que puede resolverse agregando un juego de funcionamiento. Por lo contrario el mecanismo por bielas es isostático sin necesidad de agregar un juego.

En este caso, el hecho que un mecanismo sea isostático permite garantizar que las uniones de contacto lineal sobre el pistón sean respetadas. Por lo contrario, un mecanismo hiperestático no otorga ninguna tolerancia sobre los apoyos y puede resultar en disparidades en las fuerzas de apriete de una garra con respecto a la otra, e incluso que los contactos lineales se transformen en puntuales provocando un punto de concentración de fuerzas.

Una repartición uniforme de la presión sobre la superficie de contacto del pistón permite evitar los puntos de concentración, donde la magnitud podría ser suficiente para aplastar el aluminio y dañar el material sobre un cierto espesor, pudiendo generar hasta micro-grietas que fragilizan el producto.

Es muy difícil evaluar el espesor de material alterado en estas condiciones, lo que necesitaría un estudio profundizado sobre las características de los materiales, de la zona de contacto, de la exacta repartición de presiones tridimensionales.

El dispositivo propuesto es necesario en la primera y tercera operación: de desbaste de diámetro y frente por un lado y de mecanizado de la cámara de combustión por el otro. En estas etapas, el apriete se realiza sobre una superficie en bruto, el sobre espesor absorbe esas alteraciones por el mecanizado del alesado del perno en cuarta operación.

Un tal estudio no viene entonces al caso por el momento, si bien sería interesante para garantizar la calidad de los productos, sabemos que hasta ahora no se detectaron problemas de calidad a pesar de que el dispositivo utilizado no permite un mayor control del apoyo que el que se propone con esta solución.



De todos modos, se podrán aplicar las conclusiones anteriores para proponer un dispositivo que responda lo mejor posible al segundo ítem de la función principal FP1: el apriete del pistón.



## 5 Diseño y dimensionamiento

La función de ajuste del pistón para inmovilizarlo sobre las superficies definidas anteriormente requiere la transmisión de la fuerza generada por el cilindro hidráulico hasta los agujeros de perno del pistón. Todas las piezas son solicitadas mecánicamente, sin embargo una vez apretado el pistón, no tienen movimiento alguno durante todo el proceso de mecanizado. Por lo tanto es poco el desgaste que sufren las piezas, y no es necesario preocuparse demasiado por fenómenos de fatiga por carga cíclica. La única pieza que recibe las variaciones de carga cíclica del mecanizado es el manchón, y por sus dimensiones, una simple comprobación de repartición de tensiones determinará que se encuentran por debajo del límite de fatiga del material.

La ejecución del diseño se realiza para cada una de las piezas siguiendo un método iterativo que aparece naturalmente y fue formalizado por el autor en estos pasos:

1. Iniciar integrando la forma numerizada del bruto del pistón en un programa de diseño asistido por computadora (CATIA)
2. Comenzar dando una primera forma a la garra siguiendo la posición del esquema cinemático
3. Controlar que el movimiento relativo de las piezas existentes sean compatibles y no resulten en interferencias
4. Agregar una pieza o un conjunto de piezas (segunda garra, bielas, articulaciones, émbolo, manchón)
5. Controlar que el mecanismo funcione dentro de los rangos especificados en el capítulo 3 y sin interferencias (colisiones entre piezas).
6. Modificar las formas para corregir la etapa 5
7. Controlar la resistencia mecánica por simulación de las tensiones en las piezas aplicando la fuerza de apriete
8. Modificar las formas para reducir las tensiones a niveles aceptables, actuar sobre los puntos de concentraciones de fuerzas
9. Repetir desde la etapa 4

### 5.1 Diseño primer etapa

Un primer diseño fue realizado retomando la cinemática desarrollada en el apartado 4.4.4 y presentado a la ingeniería de Pistones Persan.

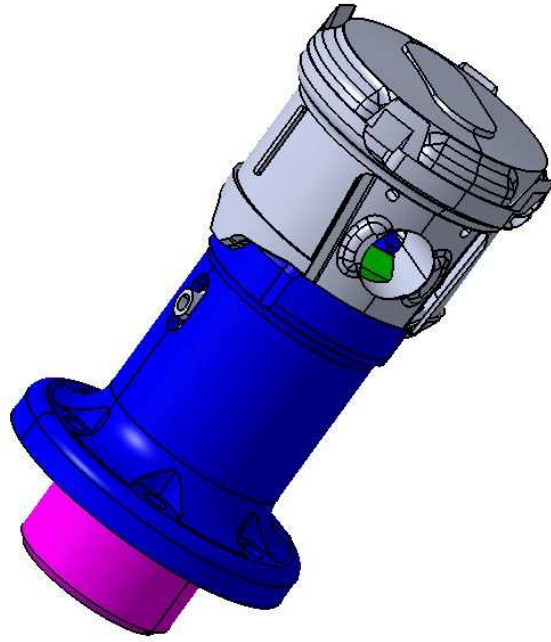


Figura 5-1: Dispositivo 1 con pistón



Figura 5-2: Dispositivo en posición liberado

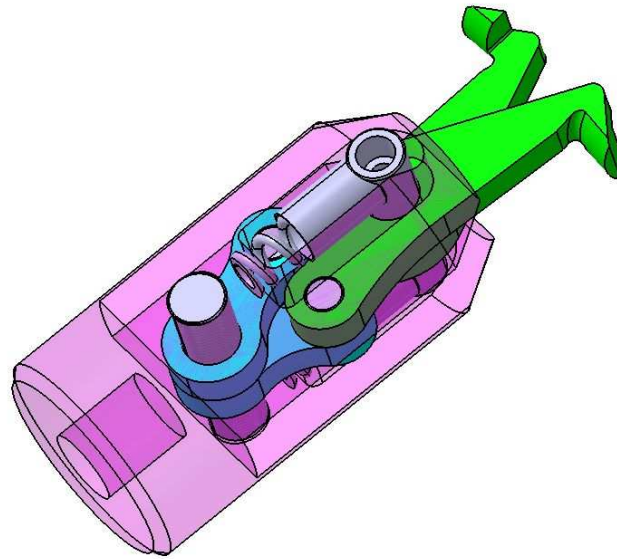


Figura 5-3: Mecanismo interno

Los planos de este dispositivo se encuentran en Anexo B-2 : Planos de dispositivo primera entrega.

El diseño incluye dos resortes que fuerzan las garras en abrirse en la fase de despliegue. De no ser colocados, el dispositivo podría conservar su configuración “pistón liberado” mientras se desplace hacia la nariz del cabezal sin que las garras entren en contacto en ningún momento sobre el pistón, y por lo tanto, sin cumplir su función. En la fase de liberación la presión del cilindro hidráulico lleva al eje de las garras contra el límite del oblongo del manchón, luego al seguir desplazando el émbolo, se comprimen los resortes y se retractan las garras.

### 5.1.1 Selección de materiales y resistencia mecánica.

Los criterios de resistencia y de durabilidad del dispositivo imponen la búsqueda de materiales aptos a esos criterios, sin compromisos de masa. El acero es ampliamente usado pero en distintos grados o matices.

La pieza la más exigida es la garra, porque las especificaciones de apertura y de retractación otorgan poco espacio para agregar material en forma abundante. Otras piezas no se ven tan limitadas en sección y por lo tanto permiten una mejor repartición de las tensiones. En el caso de las garras, la concentración de tensiones es muy importante en la zona del codo de la garra como se puede observar en la Figura 5-4. La tensión máxima resultante de la simulación es de 726 MPa (74Kg/mm<sup>2</sup>), por lo tanto esa pieza deberá ser construida en un acero de alto límite elástico, con una dureza suficiente para sufrir poco desgaste al uso, además de poseer buena resistencia a la corrosión y buena tenacidad (contrario de frágil) para soportar los golpes y las vibraciones que se repercuten del mecanizado. Siguiendo estas especificaciones un acero aleado al Molibdeno para piezas sometidas a grandes esfuerzos tipo AISI/SAE 4140 templado en aceite y revenido a 430°C de límite elástico 139Kg/mm<sup>2</sup> fue aconsejado por el ingeniero de Sipromet.

Características Principales:

*-Es un acero de buena penetración de temple y con buenas características de estabilidad en caliente hasta 400°C.*

-Sin fragilidad de revenido, muy versátil y apto para esfuerzos de fatiga y torsión.

-Piezas templadas a inducción pueden dar una dureza de 57-69 Rockwell C.

-Tiene amplia aplicación en construcción de vehículos por ejemplo para cigüeñales, brazos de ejes, bielas, pernos, ejes de contramarcha, ejes de bombas y engranajes.

-Muy utilizado en piezas forjadas como herramientas, llaves de mano, destornilladores, etc.

-Se usa también para espárragos y tornillos en la construcción de plantas que trabajen a temperatura entre 150°C y 300°C, como calderas, turbinas de vapor, plantas químicas, etc.

Extracto de [http://www.utp.edu.co/~publio17/ac\\_aleados.htm](http://www.utp.edu.co/~publio17/ac_aleados.htm)

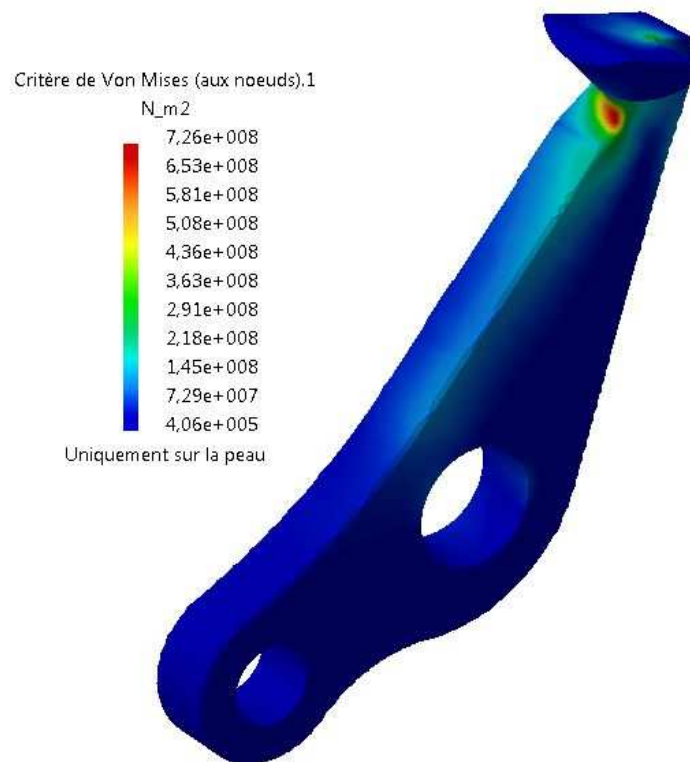


Figura 5-4: Simulación de tensiones de la garra

Las bielas, el émbolo y el manchón serán fabricados en un acero de menor calidad en cuanto a límite elástico, pero más económico, igualmente resistentes a la corrosión, un acero al molibdeno SAE 4130 con tratamiento térmico de temple al agua y revenido con límite de fluencia en 94Kg/mm<sup>2</sup>, de buena dureza para limitar el desgaste sobre los mecanismos.

-Es un acero con buena penetración de temple y con buenas características de estabilidad hasta temperaturas de más o menos 400°C.

-Tiene una elevada resistencia al deslizamiento en caliente y no presenta fragilidad de revenido.

-Para piezas que necesitan una dureza superior se debe usar 4140 o 4150.

Extracto de [http://www.utp.edu.co/~publio17/ac\\_aleados.htm](http://www.utp.edu.co/~publio17/ac_aleados.htm)

Los ejes son realizados en un acero de cementación SAE 8620, muy comúnmente empleado en estos casos.



## 5.1.2 Validación cliente

Este diseño se presenta en modelización tridimensional conjuntamente con los planos copiados en anexo B-2 a Pistones Persan. Las críticas formuladas son la muy fuerte concentración de tensión en las garras que expone las garras a una fragilidad poco apreciable y el hecho de que su apriete sobre el pistón sea totalmente paralelo y no deje suficiente lugar a compensación de diferencia de altura posible entre un agujero de perno y el otro sobre el bruto a pesar del isostatismo conseguido.

Un segundo diseño es entonces realizado para corregir estos aspectos modificando la cinemática:

## 5.2 Diseño segunda etapa

### 5.2.1 Geometría y funcionamiento

El segundo diseño comienza modificando la posición de la articulación entre las garras para otorgar más libertad en el balance de ajuste. La forma de las garras es modificada en consecuencia, asemejándose más a un gancho, lo que permite alcanzar una mayor distancia de apertura de las superficies de apriete dentro de los agujeros del pistón. En contrapartida, necesita mayor rotación para la liberación del pistón.

Para respetar la condición de punto de concurrencia de las fuerzas de las garras explicada en la sección 4.4.4, se deben cruzar las bielas y articularlas cada una por separado sobre una pieza suplementaria. Esta pieza cumple la función de balanceador de fuerzas y se articula sobre el émbolo.

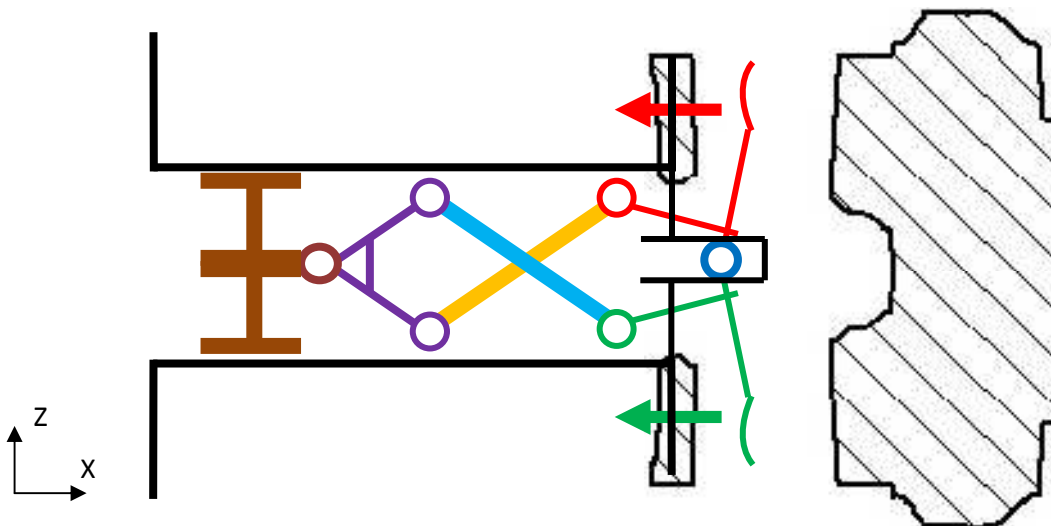


Figura 5-5: Cinemática del segundo diseño

Se revisa el diseño y modifica en consecuencia de las críticas mencionadas. Los planos de esta segunda revisión se encuentran en el anexo B-3.



Figura 5-6: Vista global del diseño de segunda etapa

El funcionamiento es levemente modificado en cuanto a que el pistón se debe acercar hacia su posición final pero sin poder alcanzarla por la presencia de los pies de garras y de las bielas.

Esta posición (Figura 5-7) se mantiene mientras se da la orden de accionar el actuador hidráulico del torno que abre las garras. El hecho de mantener una fuerza contra la cabeza del pistón ayuda a la apertura de las garras y asegura la entrada de las mismas en los agujeros.

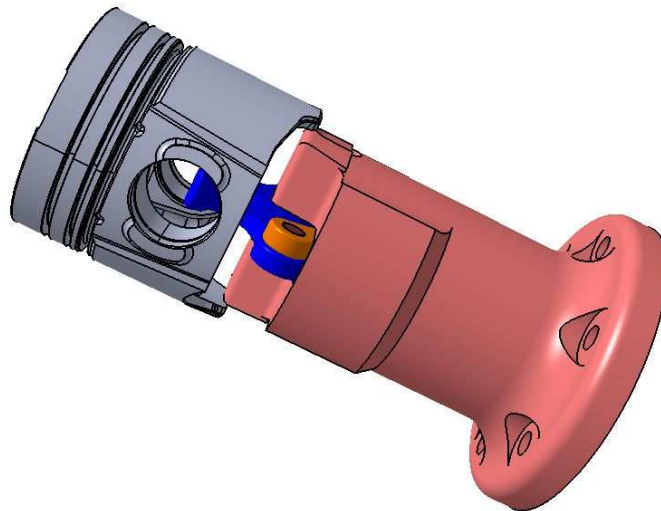


Figura 5-7: Acercamiento del pistón

Como resultado de la simulación de repartición de tensiones en la garra se obtiene un máximo de menor magnitud (545 MPa, Figura 5-8) para un mismo esfuerzo de apriete en comparación con el diseño anterior (726 MPa), lo que otorga más robustez y durabilidad al mecanismo.

La elección de materiales no será modificada siendo que los criterios que llevaron a su elección no cambiaron en gran medida.

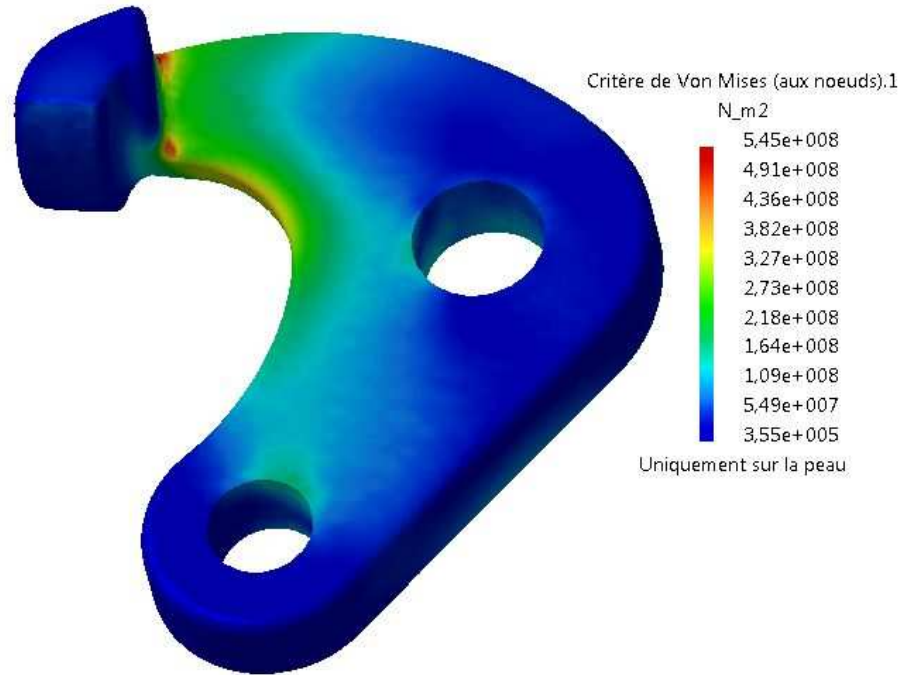


Figura 5-8: Simulación de tensiones en la garra, diseño 2

La función de equilibrado se encuentra plenamente activa gracias a la presencia del balanceador. Las garras toleran una desviación de la altura de los agujeros sin inconveniencia particular.

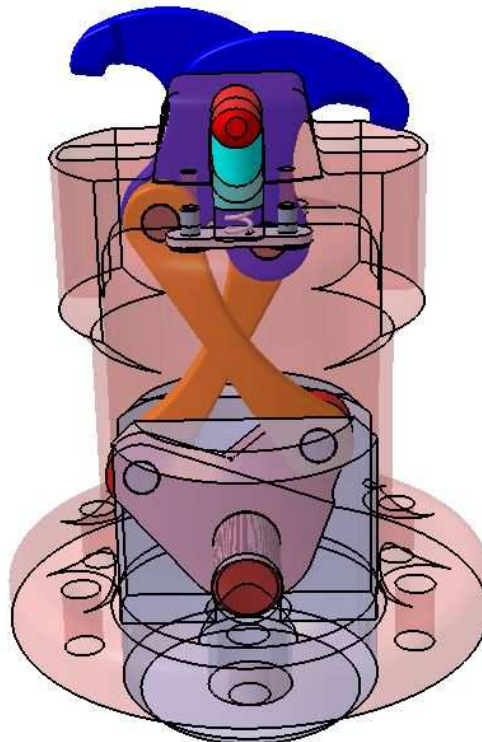


Figura 5-9 : Compensación de la diferencia de altura en las garras

## 5.2.2 Ensamblado

Los pernos de 8mm de diámetro van montados ajustados sobre las bielas por el par de tolerancia M7/h7 que se le confirió, para que quede adherido a la biela y no se desarme durante el funcionamiento. Para mayor seguridad se podrá realizar un punto de soldadura sobre la cara “exterior”, aquella donde coinciden los planos de ambas piezas.

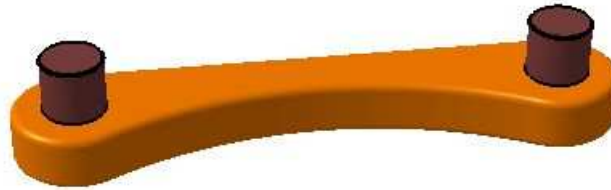


Figura 5-10: Biela y pernos ajustados con apriete

La presencia de los resortes de cada lado de las garras tienen el mismo propósito que en el diseño anterior, es decir, de mantener el perno rojo en su posición de tope superior durante el despliegue de las garras. A diferencia del diseño anterior, la fuerza que genera el resorte se apoya sobre una placa de chapa atornillada al manchón, por lo tanto no es comprimido por el mecanismo hasta que las garras comiencen su apriete sobre el pistón. Unas guías en forma de botadores protegen a los resortes del desgaste lateral y sirven de intermedio al apoyo sobre una cara plana en el perno.

Para el armado se debe comenzar por ensamblar los botadores, los resortes y las placas sobre el manchón. Por otro lado se ensambla el conjunto de bielas, balanceador y émbolo. Luego se introduce tal conjunto por la boca del manchón. Se añaden las garras sobre los pernos de biela desde la parte superior del manchón.

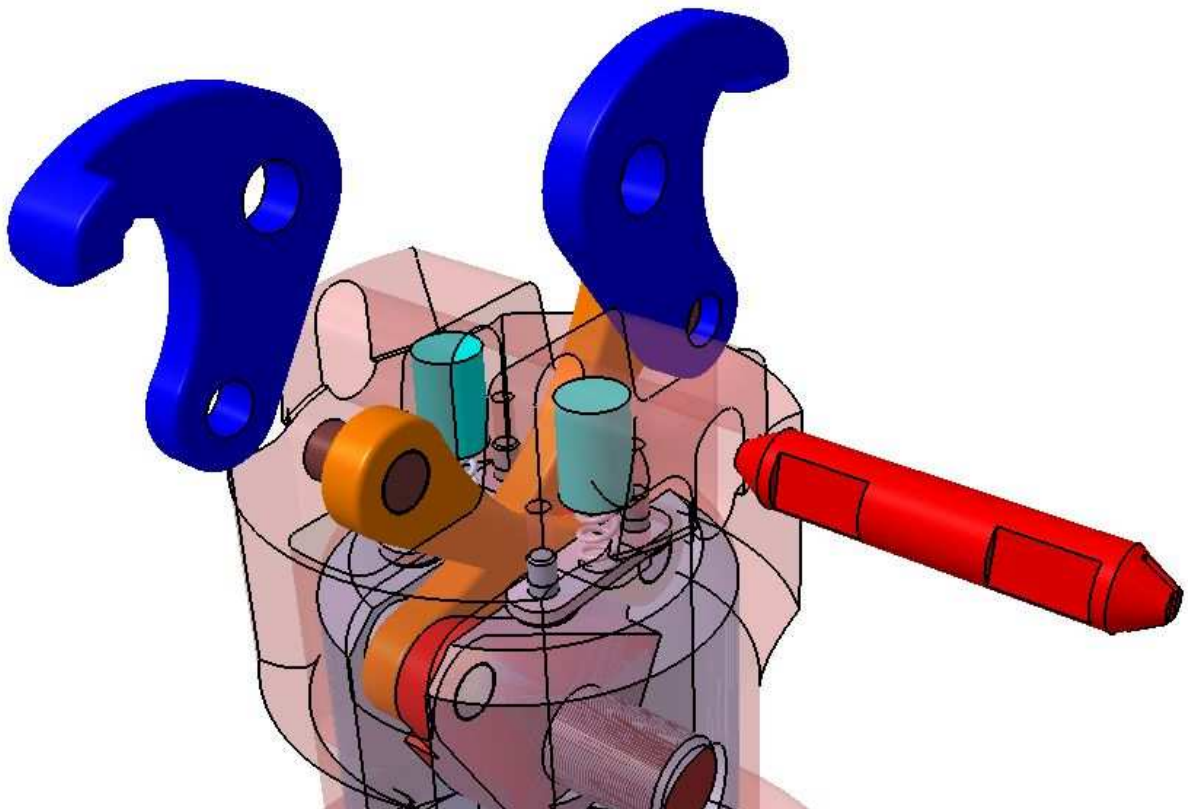


Figura 5-11: Ensamblado del dispositivo

Al último, se procede a montar el perno de 10mm gracias a sus extremidades cónicas que facilitan la compresión en precarga de los resortes y quizás con la ayuda de algún destornillador plano. El mismo será necesario para resguardarse de que las caras planas no sean dirigidas hacia los botadores durante el ingreso mediante la ranura en su extremidad, lo que lo bloquearía a mitad de camino. Luego una vez en posición, sí se orientan las caras para bloquearlo esta vez. El contacto de plano a plano con los botadores no se pierde en ninguna situación de funcionamiento, la fuerza resultante de las acciones contrapuestas de las garras sobre el perno es muy leve, por lo que se puede asegurar que el perno queda trabado eficazmente de este modo.

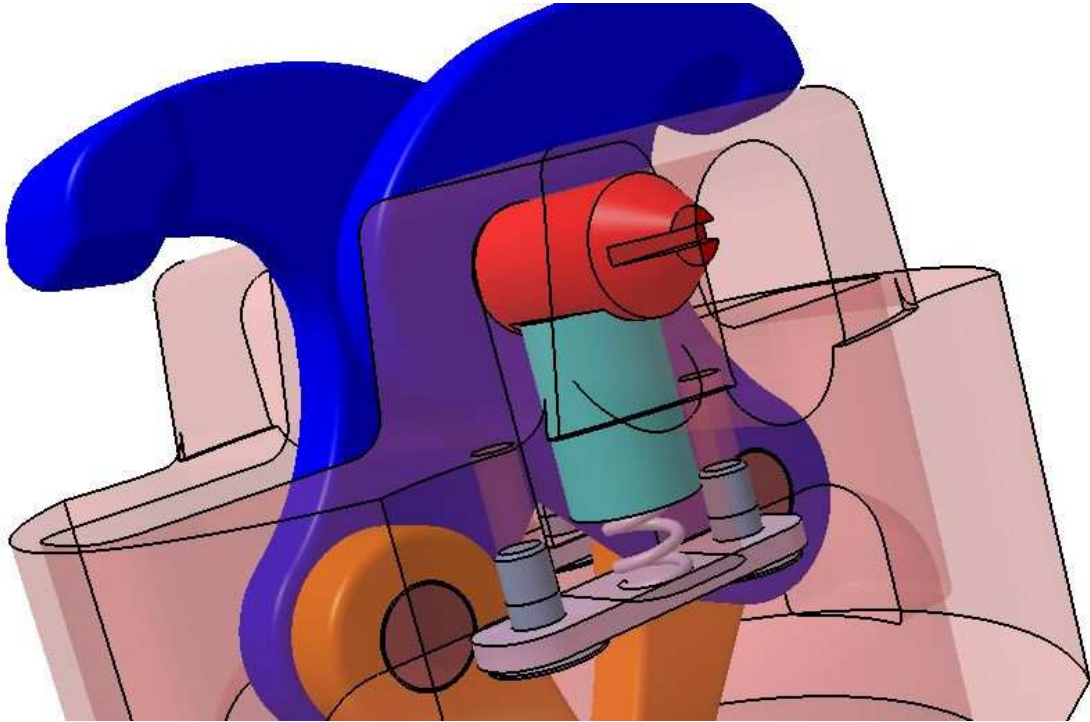


Figura 5-12: Detalle del montaje



## 6 Conclusión

En este trabajo se presentaron algunos estudios necesarios para llevar a cabo la robotización de una célula de mecanizado de pistones, un proyecto de alcance real y profesional. Los robots son una particular solución que permite mejorar el desempeño de un sistema productivo, desligando el factor humano que acarrea variabilidad y discontinuidad. Una de las condiciones necesarias para poner en funcionamiento una producción automatizada es de disponer componentes y dispositivos de alta confiabilidad entorno a los robots para no producir un efecto inverso al deseado por falencias y averías excesivas. El dispositivo de sujeción que permite el torneado de los pistones es el tema central de este trabajo y debe responder a esta necesidad entre otras.

Después de identificar la masa de trabajo de ingeniería que constituyen aquellos dispositivos críticos que se deben adaptar, se cuantifica el aumento de capacidad de la celda en un cuarenta y ocho por ciento, lo que permite a la empresa cliente justificar y validar el inicio del proyecto. En el proyecto integrador *Estudio de la Robotización de una Isla de Mecanizado Flexible*, André REY (2013), el autor examina especialmente los aspectos económicos y de programación del proyecto.

Esta puesta en situación, precede a la identificación de las necesidades del dispositivo de sujeción en términos funcionales, usando métodos de innovación con diagramas de interacción APTe y de análisis de funciones técnicas FAST para luego enfrentar el diseño con los criterios más acertados hacia el logro de los resultados. Sigue una etapa de optimización de la cinemática que evalúa las dos alternativas imaginadas, discriminando un mecanismo por levas a favor de otro por bielas usando el criterio de isostatismo. El dibujo de un modelo tridimensional de las piezas asistido por computadora es un punto clave que sigue un proceso iterativo de modificación de la geometría y de simulaciones para controlar que el movimiento se haga sin interferencias entre las piezas y que la tensión mecánica sea aceptable. Permite la generación de dibujos de definición estándares, siguiendo las normas del diseño mecánico. Así mismo, el primer diseño no consiguió buena aceptación por parte del cliente y se revisaron algunos aspectos dando lugar al segundo diseño.

El lanzamiento del proyecto está previsto para el receso de diciembre 2013, por lo que el avance hasta ahora conseguido incluye los diseños y simulaciones del puesto de alimentación, del gripper del robot, del dispositivo desarrollado en este PI, y de la disposición de las máquinas y de las trayectorias de los brazos robotizados. Hasta el momento, ningún diseño ha sido validado por prototipo, pero los planos del segundo dispositivo presentado en este PI fueron transmitidos a Pistones Persan para su realización y validación en condiciones reales.

A partir de los resultados de desempeño del prototipo se pasa a diseñar los dispositivos de sujeción para la operación de mecanizado de la cámara de combustión, y luego aquellos para cada uno de los cuatro modelos de pistones previstos en el proyecto. Estos podrán tomar las conclusiones del estudio que se han detallado a lo largo de los capítulos anteriores, e incluso se pueden ejecutar a partir del mismo modelo numérico modificando las dimensiones para ajustarse a cada uno.

Para finalizar el desarrollo del proyecto, es necesario definir el puesto de control automatizado (en proceso de desarrollo durante la escritura de este PI), y las estrategias de proceso, como ser: de inicio y vaciado de celda, de control de la cadencia, de apartado de rechazos y control de los colchones.



## Bibliografía

ALBAIZAR GONZALEZ, Roberto: «Estudio general de las herramientas de corte», Cap.5 p75, Madrid Ed Dossat S.A.

De la BRETESCHE, Bertrand. 2000. « La méthode APTE : Analyse de la valeur, analyse fonctionnelle ». Pétrelle, (ISBN 978-2-84440-019-2)

DOMINGUEZ, Machuca, et. al. 1995a: « Dirección de Operaciones: Aspectos Estratégicos en la Producción y los Servicios ». McGraw-Hill.

DOMINGUEZ Machuca, et. al. 1995b: « Dirección de Operaciones: Aspectos Tácticos y Operativos en la Producción y los Servicios ». McGraw-Hill.

LOUARN, B. y TEIXIDO, C., 2012. « Le point sur les pressions de contact entre les solides » Revista : Technologie 117, de la Universidad ENS-CACHAN. n. 52. Disponible en internet [http://www.cnr-cmao.ens-cachan.fr/autres\\_ressources/pdf/TECHNO/117-p52.pdf](http://www.cnr-cmao.ens-cachan.fr/autres_ressources/pdf/TECHNO/117-p52.pdf)

REY, André. 2013: « Estudio de la Robotización de una Isla de Mecanizado Flexible », Proyecto Integrador en la carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba.

ZEHTABAN L., y ROLLER, D. 2012. « Systematic Functional Analysis Methods for Design Retrieval and Documentation ». World Academy of Science, Engineering and Technology, n. 72. Disponible en internet <http://www.waset.org/journals/waset/v72/v72-200.pdf>

### Fuentes del internet:

APTE: <http://www.methode-apte.com/>, último acceso en julio 2013. (en francés)

Fuerzas de corte en el mecanizado: <http://robert.cireddu.free.fr/>, ultimo acceso en agosto 2013. (en francés)

Generalidades sobre los pistones: <http://www.comercialdelmotor.com/>, ultimo acceso en mayo 2013.

International Federation of Robotics: <http://www.ifr.org/>, ultimo acceso mayo 2013. (en inglés)

Clasificación de aceros: <http://www.utp.edu.co/> y <http://www.cenim.csic.es/>, ultimo acceso julio 2013.

Características mecánicas de los aceros: <http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi2000/santa-fe-sur/ensayodemateriales/tabla.htm>, ultimo acceso en agosto 2013.

Isostatismo en la sujeción de piezas: curso de técnicas de fabricación en liceo técnico por BERGER Philippe, <http://philippe.berger2.free.fr/productique/ressources/isostatisme/isostatisme.htm>, ultimo acceso, agosto 2013.



## Anexos



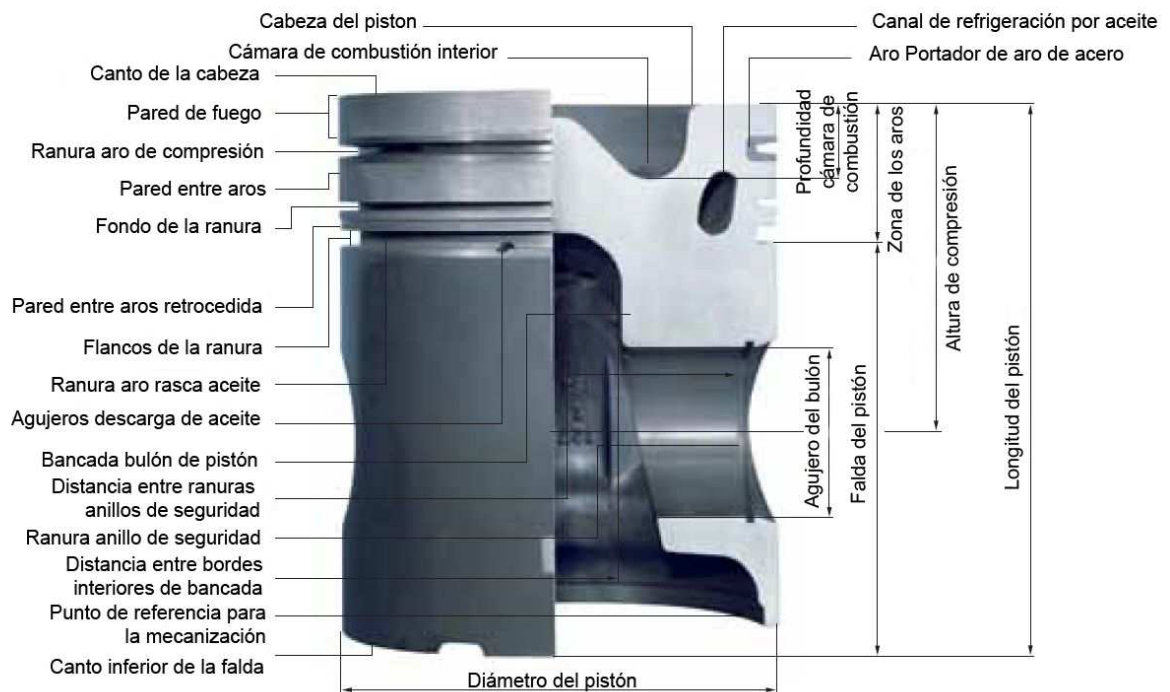
## Anexos A

### Anexo A-1: Descripción de un pistón

#### Definición

El pistón es un elemento del motor a combustión interna que equipa la gran mayoría de los vehículos. Su movimiento dentro del cilindro comprime y expande los gases de la cámara de combustión realizando un ciclo termodinámico y transmitiendo a la biela la fuerza motriz que genera el incremento de presión luego de la combustión.

#### Composición



Generalmente, el pistón está constituido por una sola pieza que puede considerarse dividida en dos partes fundamentales: la cabeza, que soporta directamente las presiones y temperaturas del gas, y la falda, que sirve de guía al pie de biela, soporta el empuje lateral y el rozamiento contra las paredes del cilindro. En la falda se encuentra un orificio que aloja a un eje llamado bulón, que realiza la unión del pistón a la biela. El alojamiento del eje del bulón se une a la cabeza del pistón por medio de nervaduras que dan consistencia al conjunto y favorecen la evacuación del calor.

#### Materiales

En los motores de automóviles, es de vital importancia la ligereza del pistón, con la que se disminuyen grandemente las fuerzas de inercia generadas en su movimiento; lo que permite aumentar la velocidad del pistón y alcanzar regímenes elevados de rotación de los motores.



Actualmente, los pistones se realizan en aleaciones de aluminio-silicio (Al-Si), normalmente AS-10 y AS-12. Los efectos del silicio son importantes, a medida que aumenta su proporción en la aleación (desde un 9% a un 20% de Si) disminuye la densidad, el coeficiente de dilatación, aumenta la conductividad térmica, la dureza y la resistencia a la fractura, pero a su vez aumentan las dificultades para mecanizado. Anteriormente los pistones se fabricaban de fundición, que les confería una buena resistencia; pero en contrapartida, resultaban excesivamente pesados. Los de aleación ligera tienen un coeficiente de dilatación más elevado, pero poseen mejor conductividad calorífica, con lo que evacuan más rápidamente el calor generado en la explosión, alcanzando temperaturas inferiores, con lo que pueden establecerse relaciones de compresión más altas de las que permiten los pistones de fundición.

### **Función de estanqueidad**

En la cabeza del pistón se practican unas gargantas, donde se alojan unos anillos circulares y elásticos llamados aros o segmentos, que ajustan perfectamente a las paredes del cilindro evitando las fugas del gas. Están compuestos de fundición de entre 3,6 y 3,7% de carbono aleada con silicio manganeso y fósforo, con una dureza rondando los 100 Hrb limita su desgaste y asegura una vida útil prolongada a pesar del gran desplazamiento que sufren. El primero se denomina aro de fuego, y es el que mayor temperatura debe resistir. El último es el rasca aceite que prohíbe el paso del exceso de lubricante hacia arriba. Entre medio está el o los aros de compresión, los cuales actúan para prevenir que los gases escapen a través de la holgura entre el pistón y las paredes del cilindro, conservando la estanqueidad de la cámara de combustión. En muchos pistones modernos, la garganta del primer aro de fuego tiene sus paredes compuestas de acero para reducir su desgaste. Es una pieza en forma de aro de dimensiones mayores a las del aro de fuego que se denomina comúnmente Aro Porta Aro (APA).

### **Particularidades**

Dado que el coeficiente de dilatación del aluminio es muy superior al correspondiente coeficiente del cilindro, se hace necesario adoptar un huelgo (espacio) notable entre la falda del pistón y el cilindro, con el propósito de que no se produzca el agarrotamiento entre ambos con la elevación de temperaturas propia del funcionamiento del motor. Con ello, se presenta el inconveniente de que en el funcionamiento en frío se produce un "campaneo" (movimiento similar a un balanceo) debido a la holgura de montaje, con la correspondiente rumorosidad de funcionamiento.

La solución a este problema se obtiene dando a la cabeza del pistón un diámetro inferior al de la falda, en cantidad suficiente para compensar la dilatación que sufrirá al calentarse, sin que se agarrote en el cilindro. En este caso, la cabeza está parcialmente separada de la falda por una ranura horizontal, que limita la transmisión del calor de una a otra.

Otro artificio para evitar el campaneo del pistón, consiste en fabricarlo con la falda ligeramente ovalada, con el diámetro mayor orientado en el sentido perpendicular al del eje de unión del pistón con la biela, es decir, donde se produce el campaneo. De esta manera, al calentarse el pistón se dilata en el sentido de su eje menor, ajustándose perfectamente al cilindro.

Para limitar la dilatación del pistón, en otras ocasiones se colocan en zonas apropiadas de la falda y la unión de ésta a la cabeza del pistón, unos trozos de acero al níquel (metal invar), cuyo coeficiente de dilatación es prácticamente nulo, con el cual se consigue limitar la dilatación del pistón.

La superficie de la cabeza del pistón suele ser plana o cóncava-convexa; aunque en algunas ocasiones presenta formas especiales para conducir el fluido en su entrada al cilindro,



dotándole de un movimiento de torbellino. La superficie de la falda es perfectamente lisa y pulida para disminuir el rozamiento contra la pared del cilindro.

### Ultimas tecnologías

La evolución en el diseño de pistones se ha dirigido principalmente en tres direcciones:

- Reducción del peso y facilitar la evacuación de calor.
  - o Inserciones de fundición en el pistón
  - o Pistones bimetal, materiales resistentes en la cabeza y ligeros en la falda
  - o Refuerzos locales mediante incrustaciones cerámicas o fibras especiales
- Reducción del rozamiento
  - o Optimizar y depurar la geometría
  - o Excentricidad del eje del bulón de pistón
  - o Tratamientos térmicos de endurecimiento superficial, tanto del cilindro como del pistón
  - o Recubrimiento superficial (grafitado o estañado)
- Optimización del rendimiento
  - o Cámara de combustión como parte del pistón en forma de bol o taza, estrategias swirl, squish, tumble.





## Anexo A-3: Planillas de mecanizado de pistón 567

<b>CICLOS DE FABRICACION</b>	<b>Producto: 567.00</b>
21/12/2012	<b>RENAULT F9QT TURBO DIESEL Ø80</b>

Ciclo: 567.4      Aleación: INPALP11      Matriz      Peso Bruto      P.B. +10%  
MZPCJ0567-11-PB      715      786

Chapas      0 Apas      1      Peso term.: 530

Trat. Superficial:      Grafitado en falda

Or.	Sec.	Op.	Ca.	Descripción de Operación	Descripción de Máquina	T.Std		Tpo. Tot.	Piezas x hora	(11)	T/Ce.		P. Pto
						A:automático	M:manual				A:automático	M:manual	
10	01	F01	1	COLAR	MAQUINA AUTOMATICA 5 MOVIMIENTOS PLC	A: 2,41	M: 1,44	12%	15,6				0,00
								3,85					0,00
20	01	F06	1	COLOCACION DE ARO APA	MAQUINA AUTOMATICA 5 MOVIMIENTOS PLC	A: 0,00	M: 0,65	12%	92,3				0,00
								0,65					0,00
30	03	B03	1	CORTAR MONTANTE	SIERRA SIN FIN			12%	60,0				0,00
								1,00					0,00
40	02	T02	1	PRECIPITAR	HORNO DE TRATAMIENTO TERMICO N 2			12%	240,0				0,00
								0,25					0,00
50	05	C25	1	DESBASTE DE Ø Y FRETEADO DE CABEZA	TORNO GOODWAY CLS 150				42,0	70	A: 1,14		1,00
								1,40			M: 0,26		0,00
60	05	P34	1	PERFORACION DE ARRASTRE	PERFORADORA DE BANCO MANUAL				200,0	70	A: 0,00		0,50
								0,30			M: 0,30		0,00
70	05	C26	1	TERMINADO DE RANURAS Y Ø BOCA	TORNO GOODWAY CLS 150	A: 1,90	M: 0,17	19%	29,0				3,00
								2,07					0,00
80	05	C11	1	CAMARA DE COMBUSTION	TORNO CNC MAZAK QT8				54,5	100	A: 0,84		2,00
								1,10			M: 0,26		0,00
90	11	U01	1	CONTROLAR ADHERENCIA DE ARO APA	EQUIPO DE ULTRASONIDO				150,0	100	A: 0,00		5,00
								0,40			M: 0,40		0,00
100	05	A05	1	ALESAR AGUJERO PERNO Y FRESADO DE VALVULAS	CENTRO DE MECANIZADO	A: 1,66	M: 0,41	19%	29,0				6,00
								2,07					0,00
110	05	D01	1	TERMINADO Ø EXTERIOR	DIAMANTADORA	A: 1,07	M: 1,00	19%	29,0				3,00
								2,07					0,00
120	38	L01	1	LAPIDADO AGUJERO PERNO	LAPIDADORA				60,0	110	A: 0,59		2,00
								1,00			M: 0,41		0,00
130	38	A04	1	ALESADO CONICO	LAPIDADORA	A: 0,00	M: 1,45	12%	41,4				1,50
								1,45					0,00
140	42	S03	1	GRAFITAR EN FALDA	EXTERNO	A: 0,00	M: 0,00	12%	0,0				0,00
								0,00					0,00
150	46	I12	1	CONTROLAR VISUALMENTE	BANCO	A: 0,00	M: 0,70	12%	85,7				0,00
								0,70					0,00
160	46	I15	1	CONTROLAR Ø AGUJERO PERNO	EQUIPO NEUMATICO EDIXA	A: 0,00	M: 0,30	12%	200,0				0,00
								0,30					0,00
170	46	I02	1	SELECCIONAR Ø FALDA EXTERIOR Y MARCADO	DISPOSITIVO P/CONTROL Ø FINAL	A: 0,00	M: 0,40	12%	150,0				0,00
								0,40					0,00
180	52	V06	1	PONER EN CAJA	BANCO	A: 0,00	M: 0,30	12%	200,0				0,00
								0,30					0,00
				(11)=N° de orden de la Operación en la que se acopla		A: 7,04	M: 8,07		Tiempo p/Costo			2,57	19,5
Cant. Oper.				18	TOTAL al 100%			15,11	19,31	19,31		4,2	0
					TOTAL al 112%			13,16	17,36	17,36			



**PISTONES**  
**Persan**

**HOJA DE LA OPERACION**

DESCRIPCION DE LA OPERACION: NOMBRE DEL ARCHIVO  
**PERF. DE ARRASTRE, DESBASTE DE DIAMETROS Y FRENT. DE CABEZA**

DESIGNACION: PISTON RENAULT F901-TURBO DIESEL. ø80

CICLO N° 567.6 HOJA HOJAS N° DE PISTON 00 DE 0567.06 MAHLE E18200

CICLO N° 567.6 HOJA HOJAS N° DE PISTON 04 DE 17

REP. / MODIFICACION N° 567.2 HOJA HOJAS N° DE PISTON 04 DE 17

DIBUJO INCORPORACION G. GAL. N° DE D. D. L. BANCHI

F.M. N° 10071029 FECHA 07-05-12

P 11 ME 0567 06 FECHA 14-11-11

GRABADOS INTERIOR		FECHA CALENDARIO	
PISTON N°	DESTINO	N°	FECHA
0567 00	PERSAN	567	NO
0567 06	MAHLE E18200	NO	NO

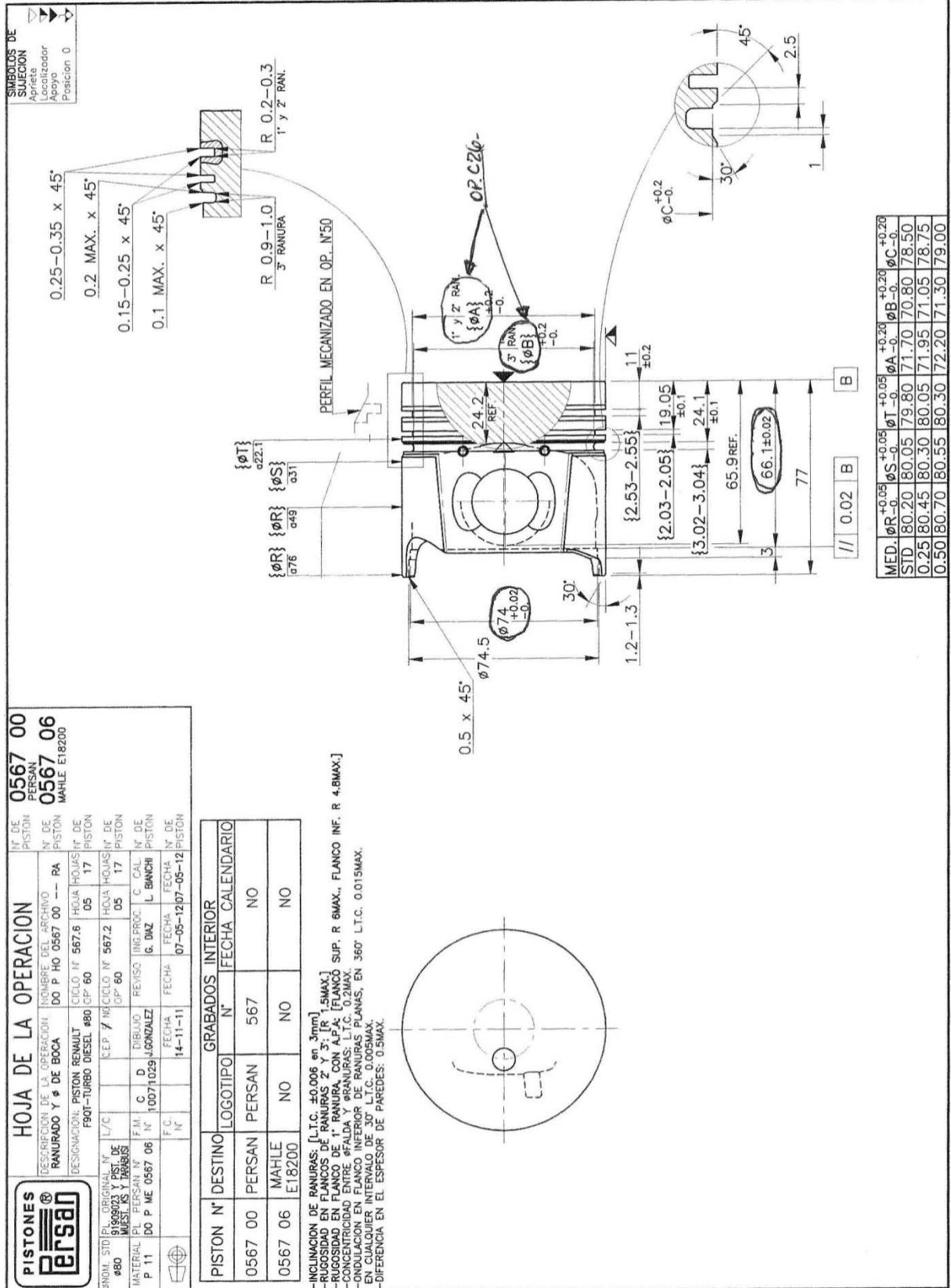
OP. C25.

PERFIL INTERNO

AGUJ. ø9 - PROF. 6

—MARCAR MEDIDA EN MURON SEGUN INSTRUCCION 08-01-02

MED.	øR-0	øU+0.05	øV-0	øW+0.05	øX-0
STD	80.70	79.95	79.80	79.70	79.75
	0.25	80.95	80.20	80.05	79.95
	0.50	81.20	80.45	80.30	80.20
				80.20	80.25



MED.	ØR	ØS	ØT	ØA	ØB	ØC
	+0.05	+0.05	+0.05	+0.20	+0.20	+0.20
	-0	-0	-0	-0	-0	-0
STD	180.20	80.05	79.80	71.70	70.80	78.50
	0.25	80.45	80.30	80.05	71.95	71.05
	0.50	80.70	80.55	80.30	72.20	71.30
						79.00



**PISTONES**  
**Persan**

**HOJA DE LA OPERACION**

DESCRIPCION DE LA OPERACION: NOMBRE DEL ARCHIVO  
TERMINACION DE CAMARA  
DO P HO 0567 00 -- CC

DESIGNACION: PISTON REVAULT  
F901-TURBO DIESEL #80 OP 80

STO ORIGINAL N° L/C  
#80 91909023 Y PIST. DE AJUST. RS Y TIRABOLLOS

MATERIAL P 11 DO P ME 0567 06

OP. N° DE PISTON: 0567 00  
MAHLE E18200

CICLO N° 567.6 HOJA HOJAS N° 07 17

REP. / MODICULO N° 567.2 HOJA HOJAS N° 07 17

DIBUJO ING. PROC. C. CAL. N° DE BANCHI

F.M. N° 10071029 J. GONZALEZ

F.C. N° 14-11-11

FECHA 07-05-12 07-05-12

PISTON N°	DESTINO	LOGOTIPO	N°	FECHA CALENDARIO
0567 00	PERSAN	PERSAN	567	NO
0567 06	MAHLE E18200	NO	NO	NO

VOLUMEN DE CAMARA:  $20.2 \pm 0.45 \text{ cm}^3$  (COTA MANDATORIA)

**PISTONES**  
**Persan**

**HOJA DE LA OPERACION**

DESCRIPCION DE LA OPERACION: NOMBRE DEL ARCHIVO  
CONTROL ADHERENCIA APA  
DO P HO 0567 00 -- UL

DESIGNACION: PISTON REVAULT  
F901-TURBO DIESEL #80 OP 70

STO ORIGINAL N° L/C  
#80 91909023 Y PIST. DE AJUST. RS Y TIRABOLLOS

MATERIAL P 11 DO P ME 0567 06

OP. N° DE PISTON: 0567 00  
MAHLE E18200

CICLO N° 567.2 HOJA HOJAS N° 06 17

REP. / MODICULO N° 567.2 HOJA HOJAS N° 06 17

DIBUJO ING. PROC. C. CAL. N° DE BANCHI

F.M. N° 10071029 J. GONZALEZ

F.C. N° 14-11-11

FECHA 07-05-12 07-05-12

PISTON N°	DESTINO	LOGOTIPO	N°	FECHA CALENDARIO
0567 00	PERSAN	PERSAN	567	NO
0567 06	MAHLE E18200	NO	NO	NO

PARA LA OPERACION CONTROL DE ADHERENCIA DE APA (OP. N°70), PROCEDER SEGUN INSTRUCCION OPERATIVA: I.O.MEC. 011. VER CARACTERISTICAS DEL PISTON N°0567 00

CONTROL 100%  
OP. 001





PISTONES		HOJA DE LA OPERACION				N° DE PISTON
DESCRIPCION DE LA OPERACION: <b>ALEASADO Y RANURA RETEN</b> NOMBRE DEL ARCHIVO: <b>DO P HO 0567 00 -- AL</b> N° DE PISTON: <b>0567 06</b> MAHLE: <b>E18200</b>		CICLO N°	567.6	HOJA HOJA N° DE	08	17
		C.P.P.	/	CICLO N°	567.2	HOJA HOJA N° DE
MATERIAL	P 11	DIBUJO	C D	ING.PROC.	C. CAL.	N° DE
DO P ME 0567 06 N° 10071029 L. GONZALEZ FECHA 14-11-11 FECHA 07-05-12 FECHA 07-05-12		REVISO G. DIAZ FECHA 14-11-11 FECHA 07-05-12 FECHA 07-05-12		L. BIANCHI N° DE PISTON		

GRABADOS INTERIOR		
PISTON N°	DESTINO	LOGOTIPO
0567 00	PERSON	PERSON
0567 06	MAHLE	NO

-CONCENTRICIDAD ENTRE ALESADO Y DESBASTE DE AGUJ. DE PERNO: L.T.C. 0.1 MAX.  
 -CONCENTRICIDAD ENTRE ALESADO Y RANURA RETEN DE AGUJ. DE P. L.T.C. 0.3 MAX.  
 -PARALELISMO ENTRE CABEZA Y AGUJ. DE PERNO: L.T.C. 0.016 MAX.  
 -DESPLAZAMIENTO DEL AGUJERO DE PERNO:  $\pm 0.1$  (L.T.C. 0.8-1.2)  
 -PERPENDICULARIDAD ENTRE AGUJERO DE PERNO Y ENTRECARRAS INTERIORES DE MUNONES: EN 35 mm L.T.C. 0.35 MAX.



**PISTONES**  
**Persan**

HOJA DE LA OPERACION

DESCRIPCION DE LA OPERACION: DIAMANTADO

DESIGNACION: PISTON RENAULT 900-TURBO DIESEL #80

NUM. STD. ORIGINAL N°: 91909023 Y PIST. DE MUEST. KS Y TABANUS

MATERIAL P.L. PERSAN N°: DO P ME 0567 06

HOJA DE LA OPERACION

NUM. DE ARCHIVO: DO P HO 0567 00 -- DI

CICLO N°: 567.6

HOJA N° DE: 09

HOJAS N° DE: 17

REVISO ING. PROC. C. CAL. N° DE: L. BIANCHI

FECHA: 07-05-12

FECHA: 07-05-12

FECHA: 07-05-12

NUM. DE PISTON: 0567 00

PERSONAL: PERSAN

NUM. DE PISTON: 0567 06

MAHLE E18200

GRABADOS INTERIOR

LOGOTIPO	N°	FECHA	CALENDARIO
PERSAN	567		NO
MAHLE E18200	NO		NO

VARIACION ANGULAR DEL PUNTO MAXIMO: 43° MAX.  
RIGIDIDAD EN FALDA: 0.25 MAX.  
CONCENTRICIDAD ENTRE #FALDA Y #BANDEJAS: I.T.C. 0.2 MAX.  
DESPLAZAMIENTO DEL AGUJERO DE PERNO: 0.5 ± 0.1 (L.T.C. 0.8-1.2)  
PERPENDICULARIDAD ENTRE FALDA Y AGUJERO DE PERNO: EN 22 mm L.T.C. 0.022 MAX.  
CONTROLAR DIAGRAMAS POLARES Y PERFIL CON PATRONES DE REFERENCIA  
CONTROLAR CAIDA ANGULAR A 45°

DETALLE PERFIL

ALTIMETRO CONTROL	{STD}	{0.25}	{0.50}	TOLERANCIA
74.5	79.870	80.120	80.370	+0.018
59.5	79.928	80.178	80.428	-0.
42.0	79.878	80.128	80.378	+0.012
31.0	79.779	80.029	80.279	+0.018
22.1	79.478	79.728	79.978	+0.044
18.0	79.598	79.848	80.098	+0.044
10.0	79.388	79.638	79.888	+0.044
1.5	79.338	79.588	79.838	+0.044

TOLERANCIAS RESPECTO AL #0

**PISTONES**  
**Persan**

**HOJA DE LA OPERACION**

DESCRIPCION DE LA OPERACION: **HOJA DE LA OPERACION**  
DO P HO 0567 00 -- LP

DESIGNACION: **PISTON RENAULT** CICLO N° 567.6 HOJA HOJAS N° DE  
F901-TURBO DIESEL ø80 OP 120 11 17 PISTON

ØNOM. STD (PL. ORIGINAL N° L/C C.E.P. / N°CICLO N° 567.2 HOJA HOJAS N° DE  
91909023 Y PIST. DE 10071029 L. BANCHI N° DE  
MUEST. KS Y TARGUESI) F.M. D DIBUJO REVISO INC. PROC. C. CAL N° DE  
MATERIAL PL. PERSAN N° N° 10071029 L. BANCHI N° DE  
P 11 DO P ME 0567 06 N° 14-11-11 FECHA FECHA N° DE

**PISTON N° DESTINO**

LOGOTIPO	N°	FECHA CALENDARIO
PERSAN	567	NO
MAHLE	NO	NO
E18200	NO	NO

**SÍMBOLOS DE SUJECION**  
 Abriete  
 Localizador  
 Apoyo  
 Posicion 0

CONICIDAD Y OVALIZACION: 2 um MAX.  
 RUGOSIDAD EN SUPERFICIE DE PERFORACION: 2 MAX.  
 CONTROL DE CALIDAD: CONTROL DE DIAMETRO (PA. C AT) VER HOJA DE CALIBRACION ADJUNTA

OP L01-

CORTE A-A

**PISTONES**  
**Persan**

**HOJA DE LA OPERACION**

DESCRIPCION DE LA OPERACION: **HOJA DE LA OPERACION**  
DO P HO 0567 00 -- FV

DESIGNACION: **PISTON RENAULT** CICLO N° 567.6 HOJA HOJAS N° DE  
F901-TURBO DIESEL ø80 OP 110 10 17 PISTON

ØNOM. STD (PL. ORIGINAL N° L/C C.E.P. / N°CICLO N° 567.2 HOJA HOJAS N° DE  
91909023 Y PIST. DE 10071029 L. BANCHI N° DE  
MUEST. KS Y TARGUESI) F.M. D DIBUJO REVISO INC. PROC. C. CAL N° DE  
MATERIAL PL. PERSAN N° N° 10071029 L. BANCHI N° DE  
P 11 DO P ME 0567 06 N° 14-11-11 FECHA FECHA N° DE

**PISTON N° DESTINO**

LOGOTIPO	N°	FECHA CALENDARIO
PERSAN	567	NO
MAHLE	NO	NO
E18200	NO	NO

**SÍMBOLOS DE SUJECION**  
 Abriete  
 Localizador  
 Apoyo  
 Posicion 0

VOLUMEN DE CAMARA + FRESADO DE VALVULAS 21,16 ±0.45cm<sup>3</sup> (COTA MANDATORIA)

OP A05

CORTE P-P



## Anexo A-4: Movilidad e hiperestatismo

### Definiciones:

Iso-statismo: se dice de un mecanismo cuando el conjunto de las uniones mecánicas entre los organismos constituyentes, prohíben de forma óptima (sin sobreabundancia) ciertos grados de libertad, con el propósito de generar el o los movimientos deseados.

Hiper-estatismo: se dice de un mecanismo cuando el conjunto de las uniones mecánicas entre los organismos constituyentes, prohíben de forma sobreabundante ciertos grados de libertad, conservando la capacidad de generar el o los movimientos deseados, por cuestiones de resistencia, de precisión y de piezas deformables. Aparece cuando hay redundancias en las funciones de las uniones.

En forma general es preferible buscar un mecanismo isostático por su sencillez, su fácil armado, su bajo costo. Sin embargo, la situación puede a menudo imponer un diseño hiperestático para respetar las condiciones de calidad exigidas por el cuaderno de especificaciones técnicas (rigidez, resistencia a fuerzas, ausencia de juego). En ese caso las tolerancias de mecanizado deberán ser tomadas con mayor restricción y prever sistemas de regulación y compensación.

El grado de hiperestatismo mide la cantidad de redundancias de guiado de la cadena cinemática. Se calcula de la siguiente manera:

$$h = I_s - (E_s - m) = m + I_s - E_s$$

Dónde:

- $h$  es el grado de hiperestatismo del mecanismo
- $I_s$ , el número total de incógnitas estáticas debidas a las uniones (= suma de incógnitas estáticas de todas las uniones del mecanismo)
- $E_s$ , número total de ecuaciones estáticas igual a  $E_s=6(n-1)$  con  $n$ , el número de organismos, incluyendo el armazón o chasis. Cuando se estudia un mecanismo plano,  $E_s=3(n-1)$ .
- $m = m_u + m_i$ : las movilidades del mecanismo, con:
  - o  $m_u$ : movilidades útiles -> número de movilidades necesarias para el funcionamiento del mecanismo = número de movimientos de entrada.
  - o  $m_i$ : movilidades internas -> número de movilidades posibles de una o varias piezas que no afectan a la posición del sistema estudiado.

Entonces:

**$h=0$**  el sistema es isostático.

**$h>0$**  el sistema es hiperestático.

**$h<0$** , imposible, faltó contabilizar movilidades.



---

## Movilidad e hiperestatismo aplicado a los anclajes para mecanizado

Cuando se mecaniza una pieza, el resultado debe corresponder a las especificaciones del plano, conforme con las tolerancias geométricas. El posicionamiento debe ser preciso sobre el porta-pieza de la máquina-herramienta, repetible de una pieza a la otra, isostático para limitar las redundancias de posicionamiento. De hecho, un anclaje hiperestático resultaría en un posicionamiento poco certero, sobre una sola de las redundancias de apoyo, sin garantía de cuál de las dos (o más) disponibles, con una incertidumbre creciente cuando las superficies de la pieza son brutas aún.

Luego de ser ubicada/orientada la pieza debe ser mantenida por apriete de modo a respetar el isostatismo cuando sea posible. En la práctica, el anclaje de una pieza es a menudo hiperestático para garantizar la inmovilidad de la pieza que recibe grandes fuerzas durante el mecanizado. Por lo tanto es necesario gestionar correctamente los apoyos fijos y de apriete para evitar deformar la pieza. Mantener un grado de hiperestatismo el más bajo posible contribuye a esa gestión.



## Anexos B

### Anexo B-1: Estudio de fuerzas de corte.

La función de apriete del pistón sobre el manchón cumple con los objetivos de proporcionar una fuerza suficientemente grande para contrarrestar los efectos de otras fuerzas como la de la herramienta de corte o de las aceleraciones, y asegurar que los contactos de posicionamiento se mantengan a lo largo del mecanizado.

El objetivo de esta sección es la de determinar qué fuerza de apriete es necesaria, qué repartición puede tomar la presión de las garras, y por ende qué límites de forma son aceptables. Los parámetros tienen que ver con la pisada de la garra sobre el cono del bruto de agujero de perno de pistón : ancho, largo y distancia del centro del pistón al centro de la superficie de pisada.

Es un problema difícil de evaluar debido a su no-linealidad. Las ecuaciones que rigen el contacto unilateral lo definen como condicionado por un valor positivo o nulo. Un valor negativo implicaría una tracción sobre la interface entre los organismos lo que existe únicamente en caso de cohesión del material.

En caso de un contacto idealmente puntual, la teoría de la presión de Hertz da una modelización de la deformación de los sólidos, del desarrollo de una superficie de contacto alrededor del punto, y de la repartición de presión a lo largo de ella. Lo mismo se aplica a un contacto supuestamente lineal.

Los contactos definidos por superficies amplias con respecto a las dimensiones de las piezas no son por lo tanto más evidentes. Una unión de cara plana contará en realidad con múltiples puntos de apoyo resultados de las tolerancias de acabado de las mismas, de número creciente a medida que aumenta la presión, las piezas sufren deformaciones que alteran la geometría del “plano” y modifican la repartición de presiones.

Agregar una condición de adherencia complica aún más todos estos cálculos, agregando en muchos casos una no-linealidad suplementaria.

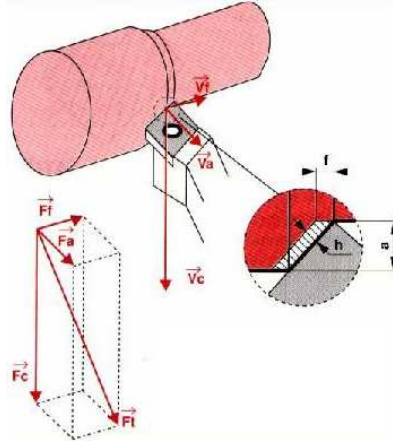
En la práctica de un montaje de anclaje para mecanizado, la regla general pasa a ser la prueba y error. En Pistones Persan, el anclaje por perno y tirador ha sido establecido para un valor de apriete de entre 6867N y 9614N.

Resolución del apriete a partir de la fuerza de mecanizado:

La fuerza de la herramienta sobre la pieza durante el mecanizado puede ser definida según la figura adyacente y la fórmula:

$$F_c = K_c \times a \times f$$

Donde:



- $K_c$  en  $daN/mm^2$ : es el coeficiente de presión específica de corte del material, función del espesor de la viruta y del material cortado.
- $a$  en  $mm$ : es el valor de la profundidad de pasada
- $f$  en  $mm$ : es el valor de avance por revolución de la pieza.

Las condiciones de corte las más exigentes son las siguientes:

Pre-desbaste de $\emptyset$	$f=0,4mm$	$a=4mm$	Angulo de herr $45^\circ$
-----------------------------	-----------	---------	---------------------------

En lo que respecta al valor de  $K_c$  los autores difieren. Robert Cireddu<sup>8</sup>, en su curso de tecnicatura mecánica por internet, adjunta una tabla con valores dependientes del material y del valor de  $h$ , según él para un  $h=0,28mm$  en el mecanizado de aluminio tenemos:  $K_c = 100 daN/mm^2$ . R. A. Gonzalez<sup>9</sup> propone una relación con la resistencia a la rotura del material de entre 3 y 5 veces su valor que en el peor de los casos da:  $K_c = 5 \times \sigma_{rotP11} = 115 daN/mm^2$ . Los valores entre esos dos autores son similares y se tomará el de mayor magnitud. Obtenemos entonces, de acuerdo a lo que propone Gonzalez:

$$F_c = 1380N$$

$$F_a = \frac{1}{2,5} F_c = 552N$$

$$F_f = \frac{1}{5} F_c = 276N$$

## Estudio de la fuerza de apriete necesaria

Acomodamos la fuerza de corte en un torsor proyectado sobre los ejes del torno y en el punto P de aplicación de la herramienta de la siguiente forma:

$$\overrightarrow{\{F_{herr \rightarrow pistón}\}_P} = \begin{pmatrix} -F_f & 0 \\ F_a & 0 \\ F_c & 0 \end{pmatrix}$$

<sup>8</sup>

<http://robert.cireddu.free.fr/Ressources/Prod/Efforts%20et%20puissance%20de%20coupe/index.htm>

<sup>9</sup> Roberto Albaizar Gonzalez, Estudio general de las herramientas de corte, Cap.5 p75 Ed Dossat S.A, Madrid.



Cual punto P se posiciona con respecto al centro de la base del pistón O:

Entonces:

Por otro lado la fuerza de apriete genera en un punto A, de posición \_\_\_\_\_, se proyecta:

Por último se define el torsor del apoyo de localización con su centro geométrico en O:

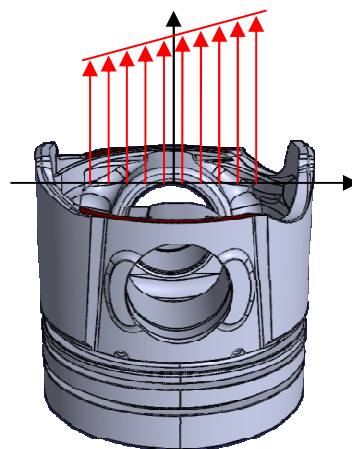
El principio fundamental de estática define:

Lo que por consecuente da:

Todos los valores de fuerza están expresados en N, los de momento en N.mm.

Se considera la repartición de presión sobre la superficie plana de apoyo del pistón:

- Despreciamos la componente en Y con valor -552N,
- Simplificamos la superficie en su proyección sobre el eje Y, dónde actúa el momento en Z, por considerar su sección asimilable a una constante en función de Z
- Al considerar el sólido indeformable y los apoyos asegurados, volvemos a un problema lineal, por ende la repartición de presión proyectada sobre el eje Y sigue una distribución lineal con respecto al eje Y:



Obtenemos que:





$$Apr + 276 = \int_S fp \cdot ds$$

$$38000 = \int_S fp \cdot y \cdot dS$$

$$fp(y) = a \cdot y + b$$

linealidad)

(por argumento de

Resolvemos por proyección sobre Y:

$$Apr + 276 = \int_{-48}^{48} (ay + b) * dy$$

$$38000 = \int_{-48}^{48} (ay + b) * y * dy$$

$$Apr + 276 = 96 * b$$

$$38000 = a * \frac{2}{3} * 48^3$$

$$\rightarrow a = 0,52$$

Para que no existe despegamiento de la superficie :  $fp(y) \geq 0$  sobre toda la figura, entonces el caso límite se alcanza en  $y = -48$  y  $fp(y) = 0 \rightarrow b = -a * y = 24,74$   
Finalmente:

$$Apr = 2099 N$$

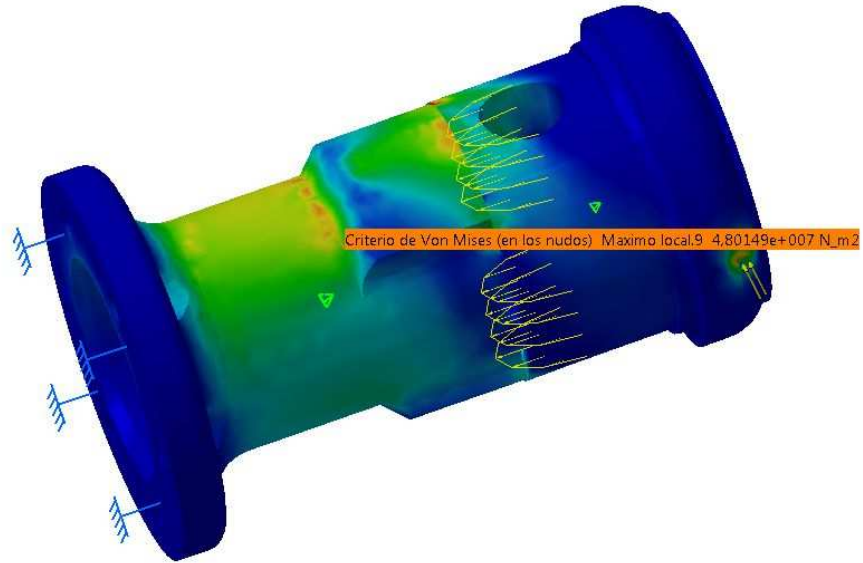
En la práctica vimos que Persan usa un apriete máximo de 9614 N, lo que implica un factor de seguridad sobre el cálculo de **4,58**. Es un valor amplio pero sensato si se tiene en cuenta las numerosas simplificaciones del estudio.

## Acople sobre el manchón en situación de mecanizado

Con la ayuda de un programa de diseño tridimensional, ponemos en situación de mecanizado al pistón acoplado al manchón. Se aplican distintas relaciones

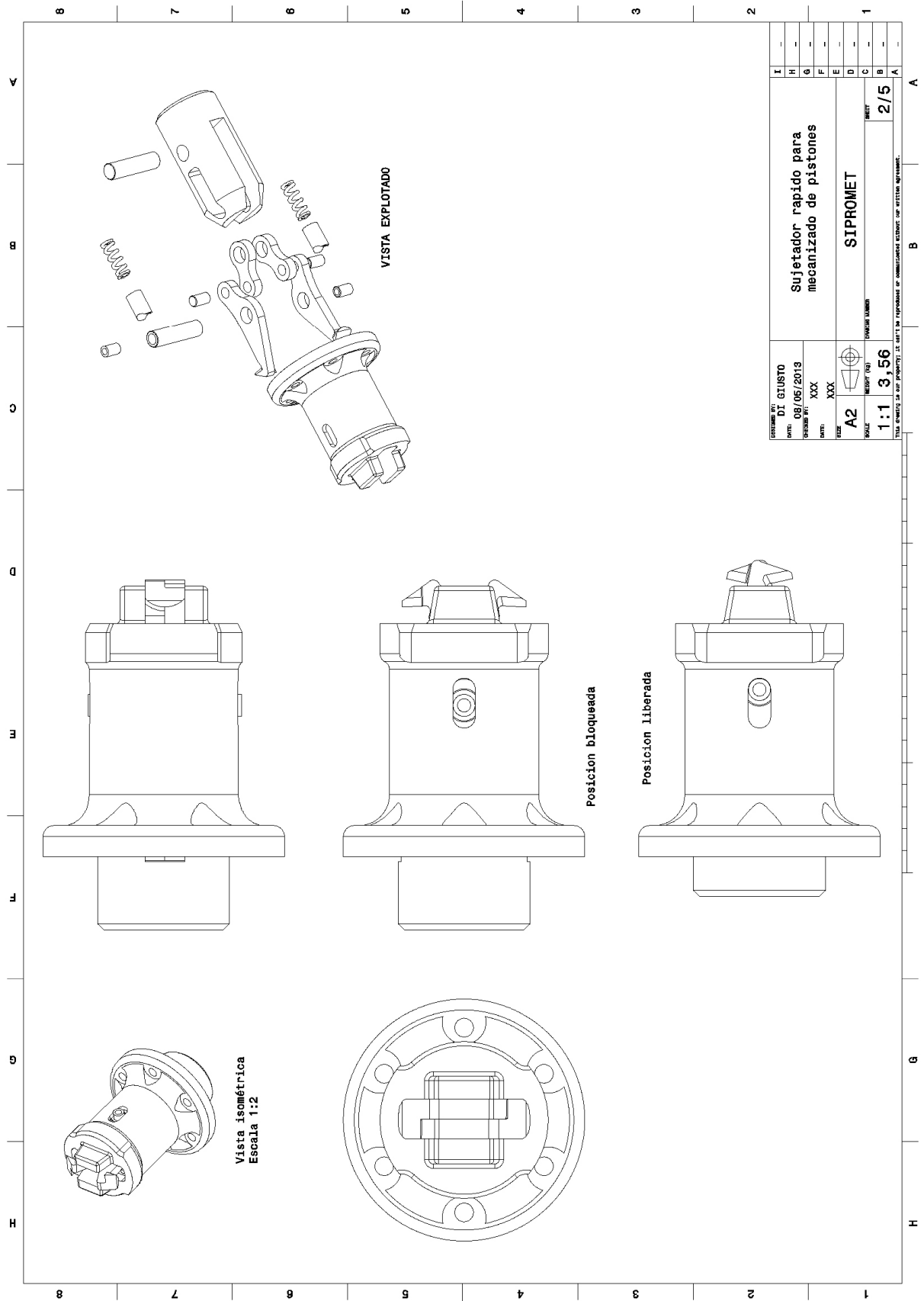
- contacto sin deslizamiento entre el manchón y el pistón sobre la cara plana de apoyo únicamente
- anclado a la cara de montaje del manchón
- fuerza de corte sobre el pistón
- fuerza de apriete sobre el pistón

Se resuelve la simulación y se obtiene lo siguiente:

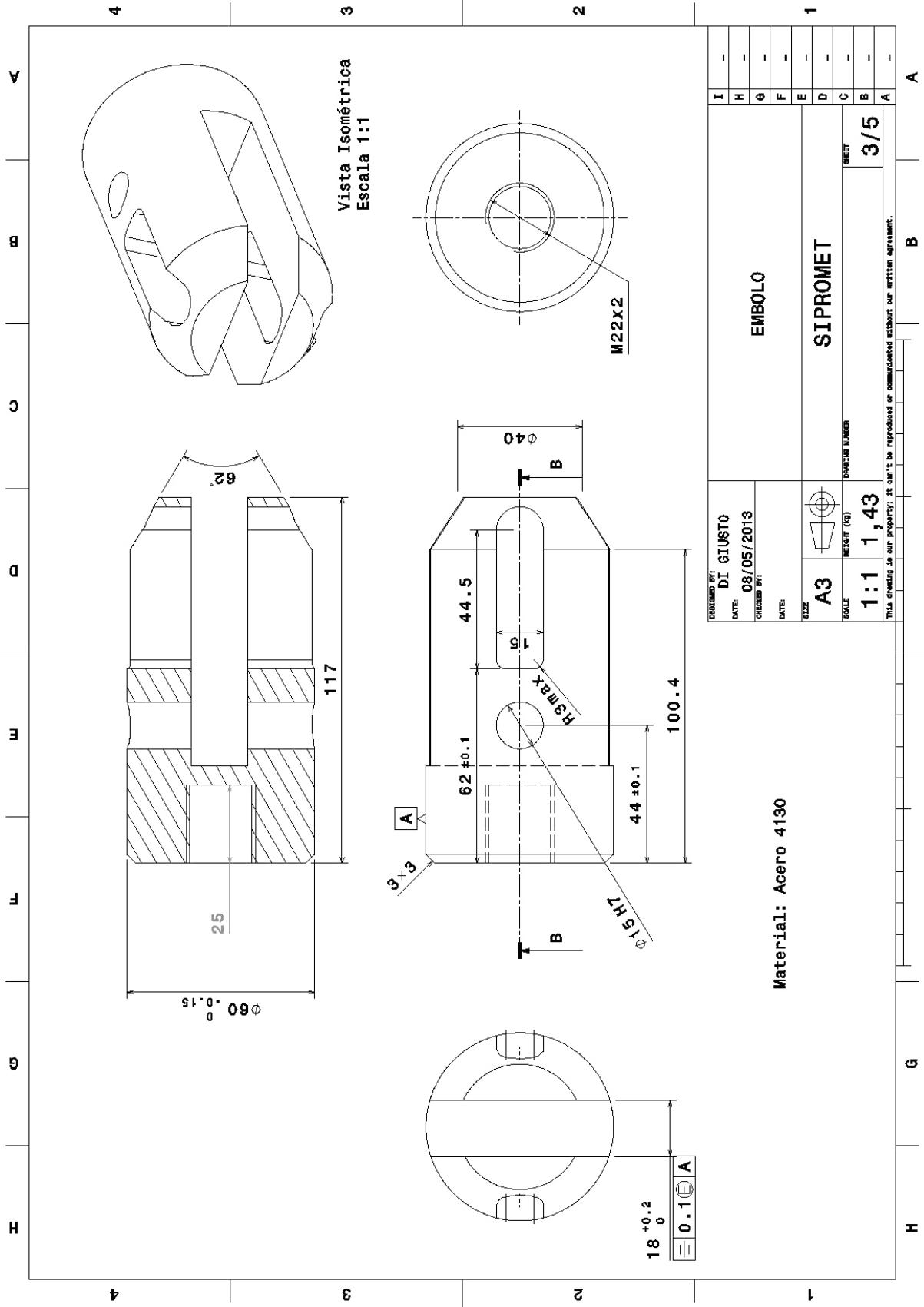


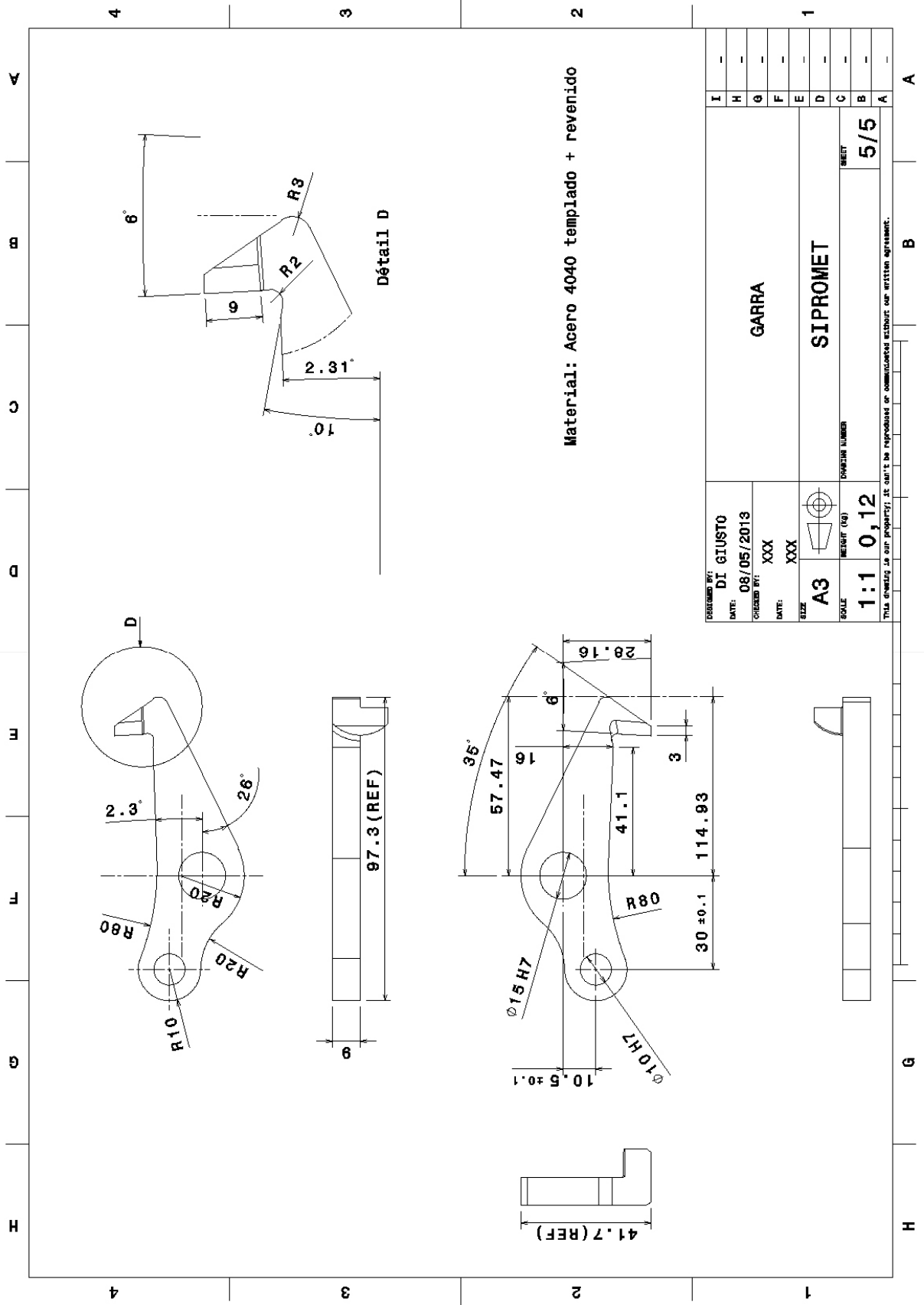
- La tensión máxima recibida sobre el cuerpo del manchon no excede 48MPa.

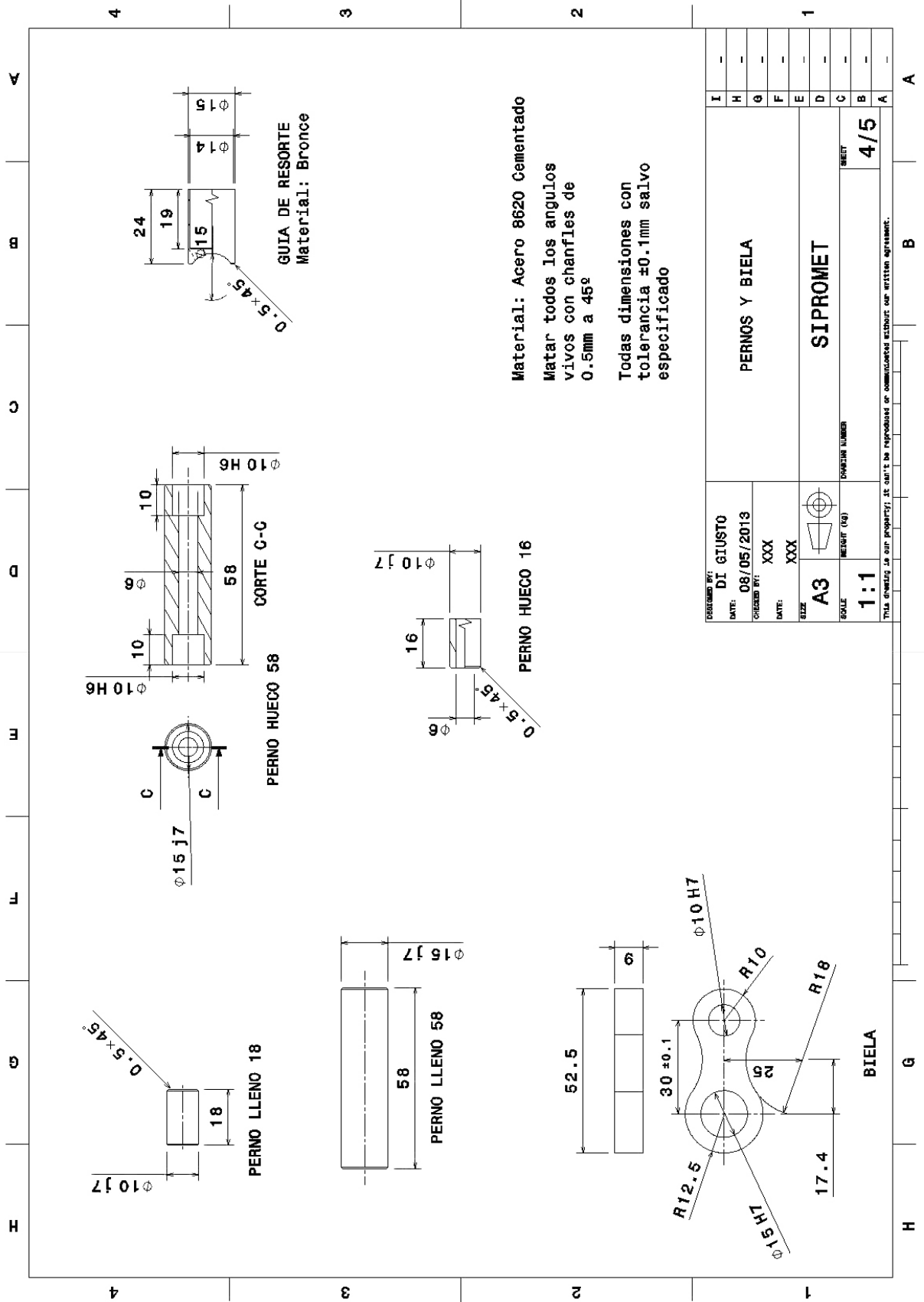
## Anexo B-2 : Planos de dispositivo primera entrega



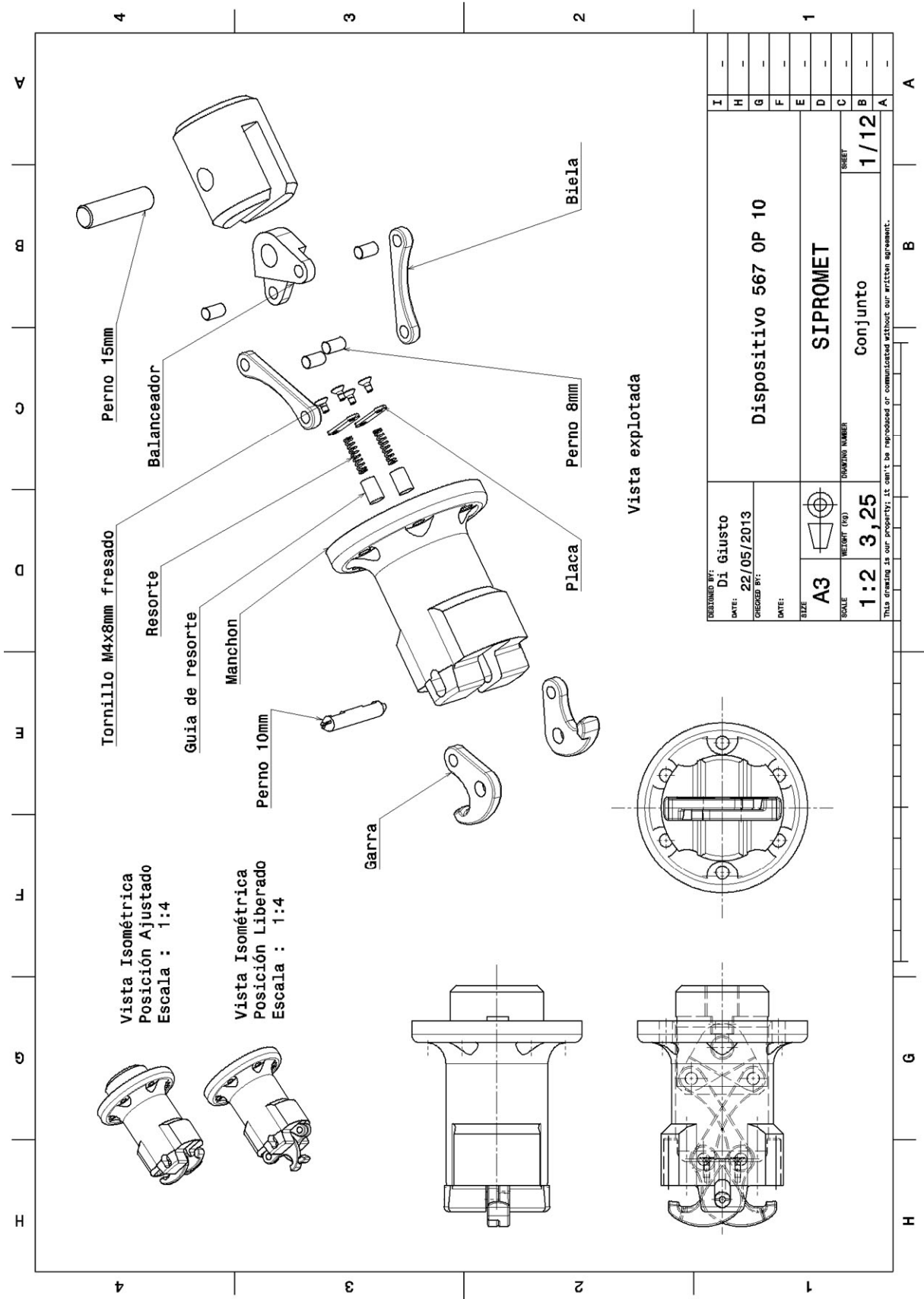




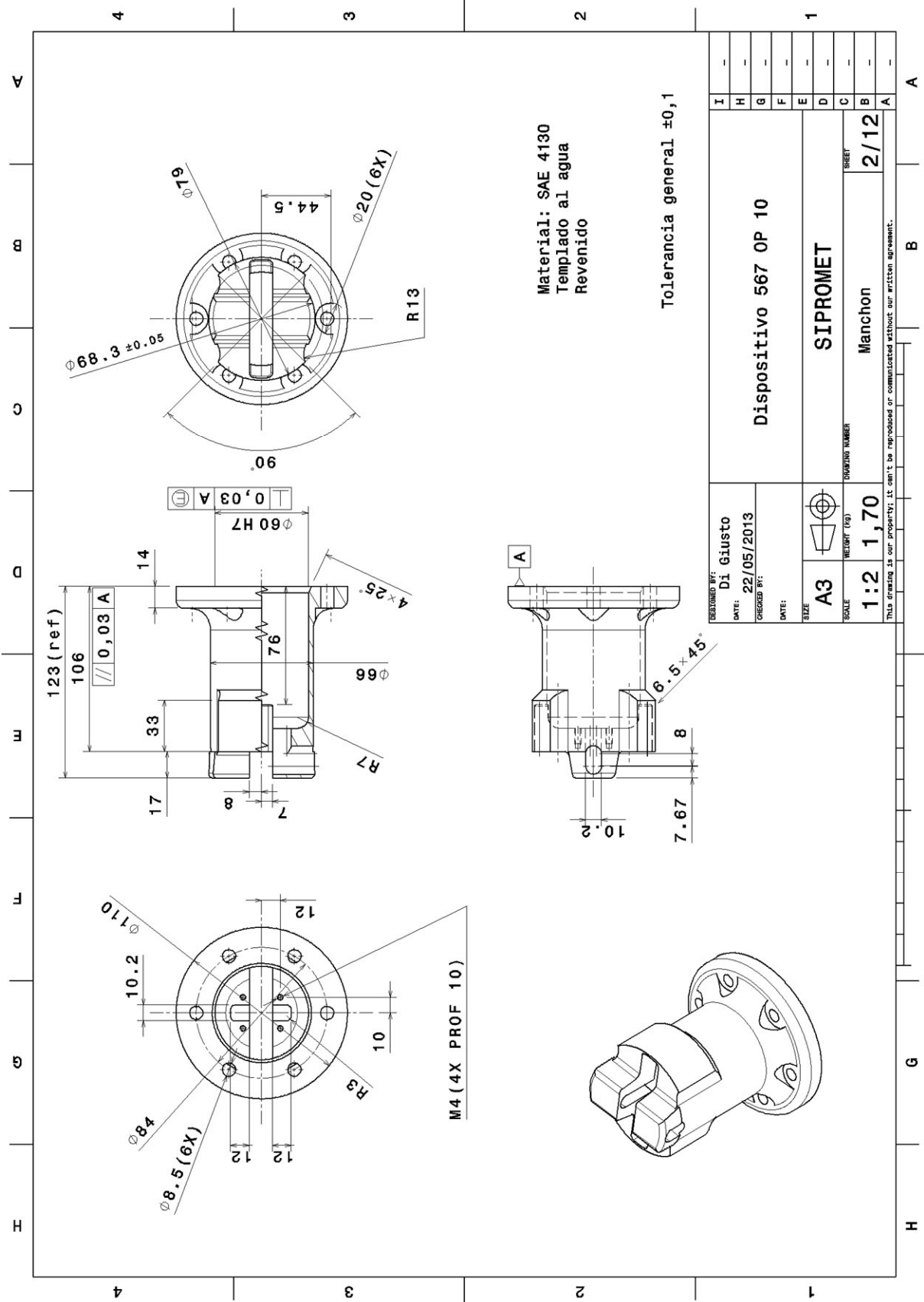


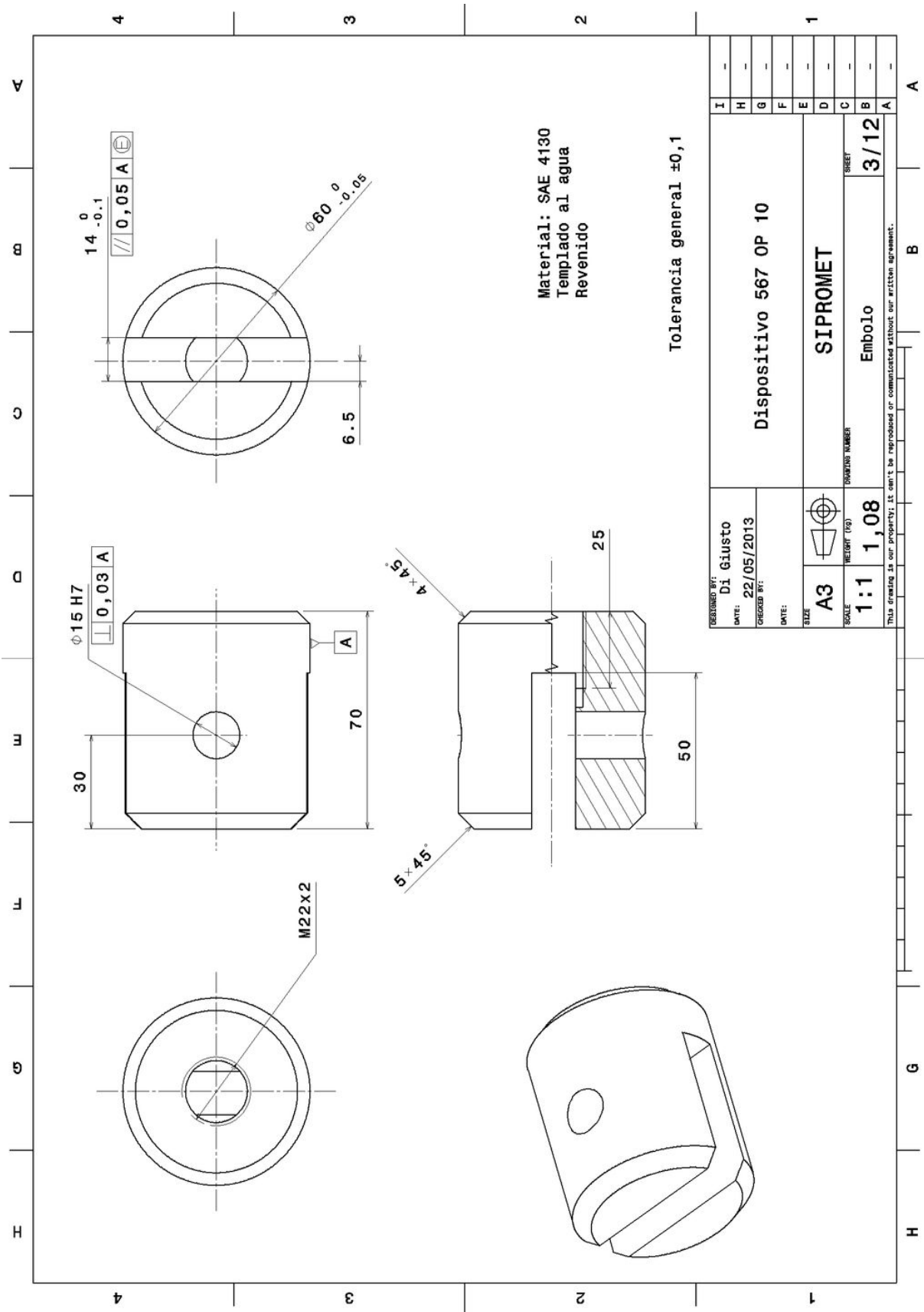


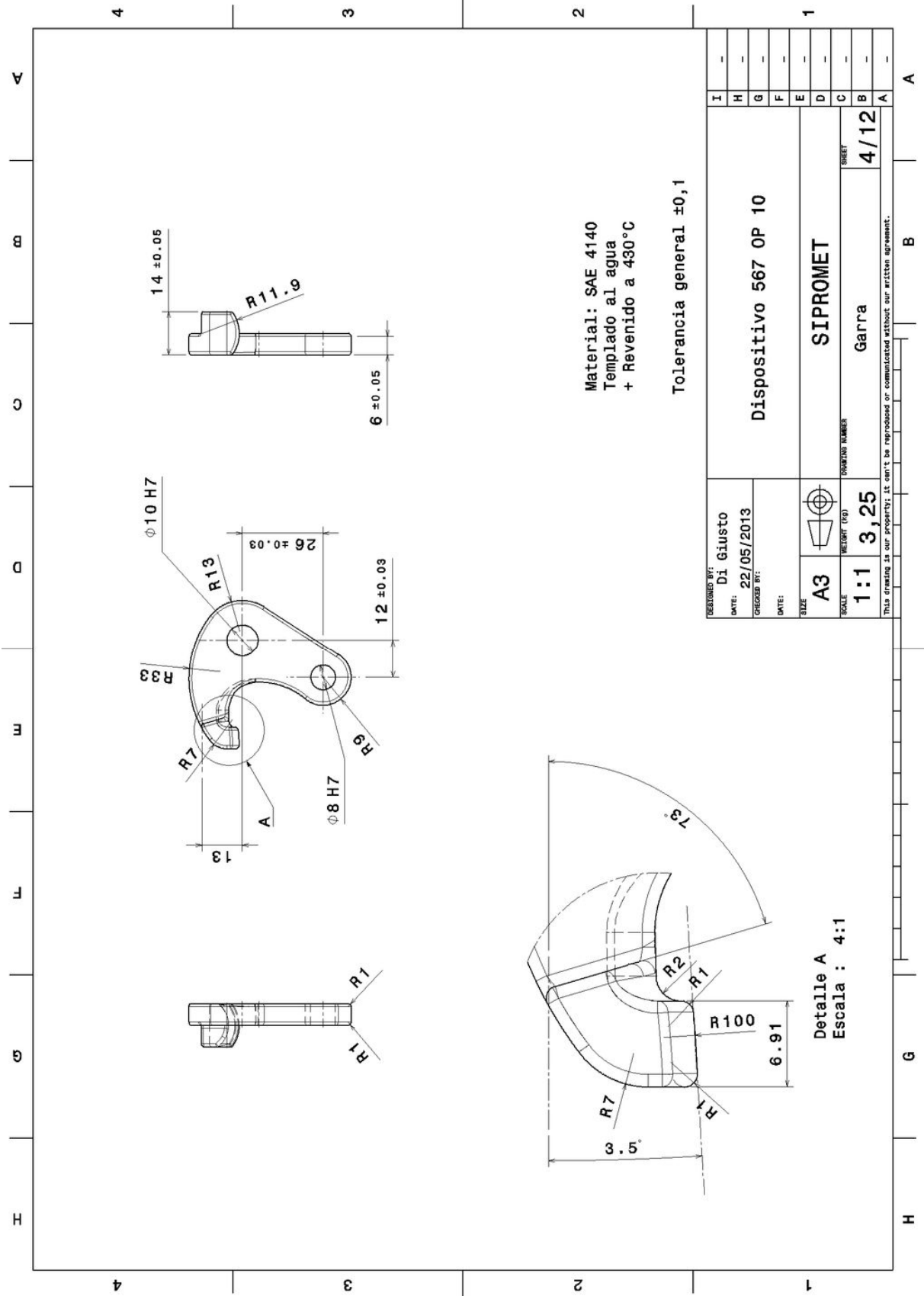
## Anexo B-3 : Planos de dispositivo segunda entrega.

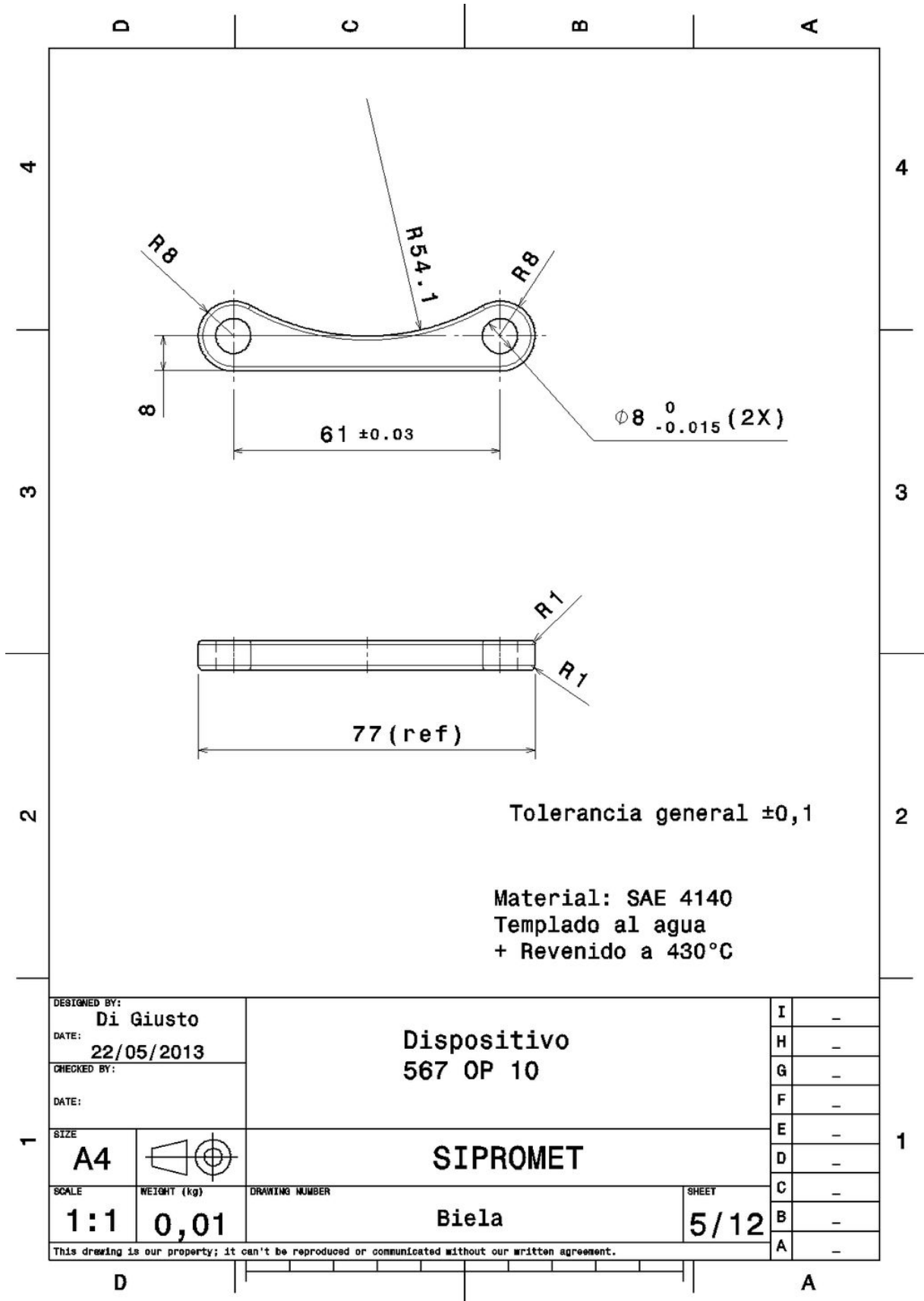




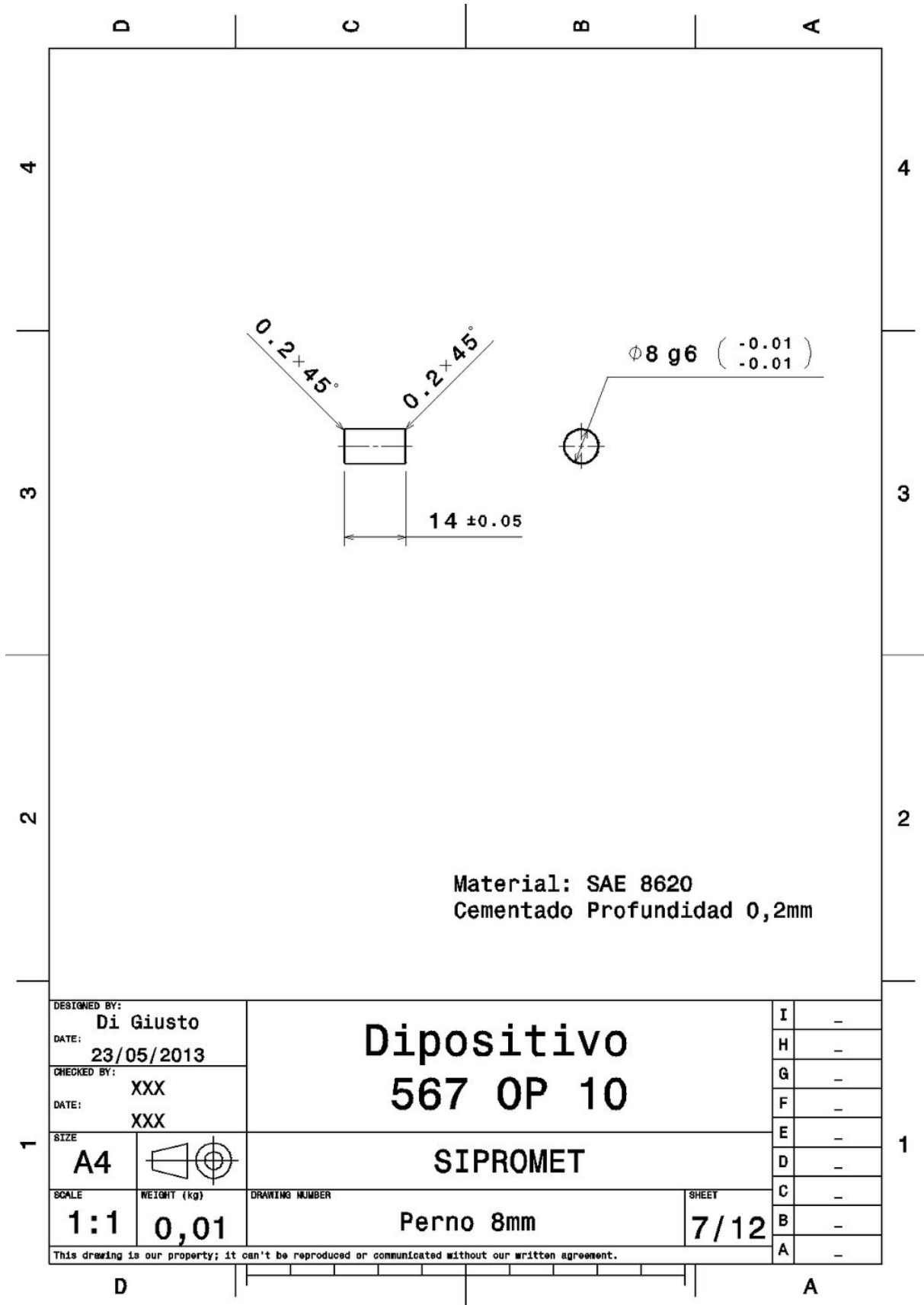


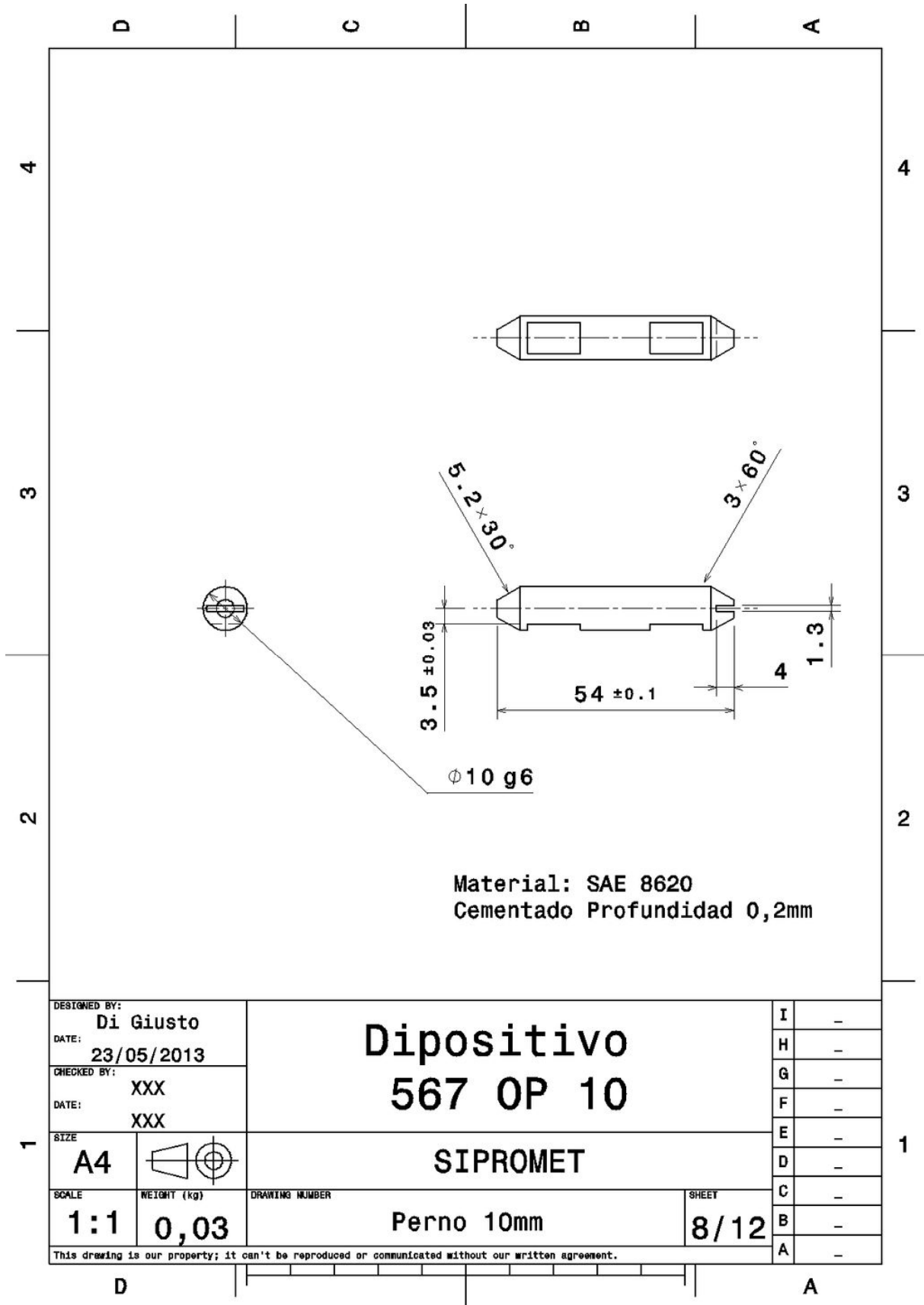


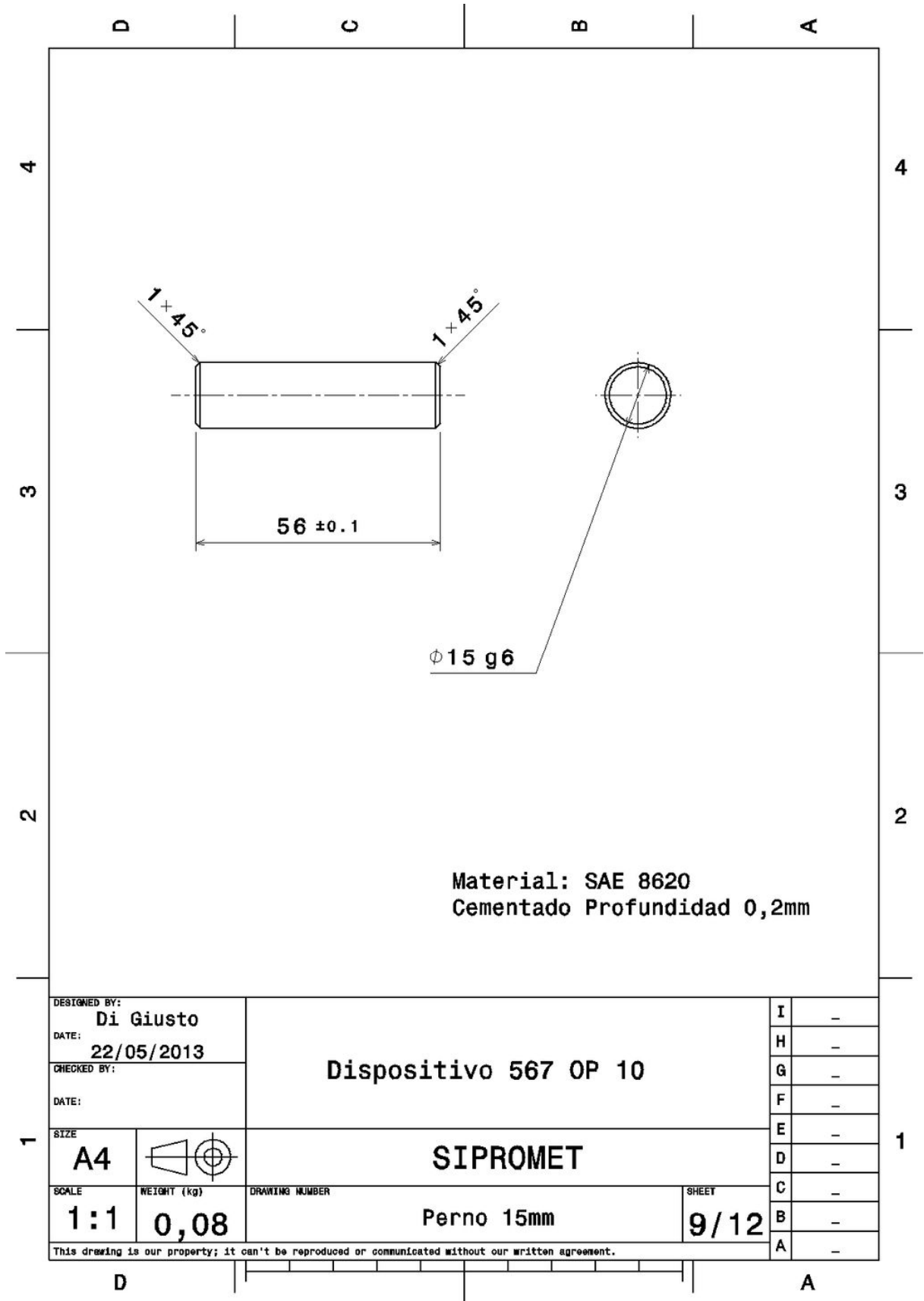




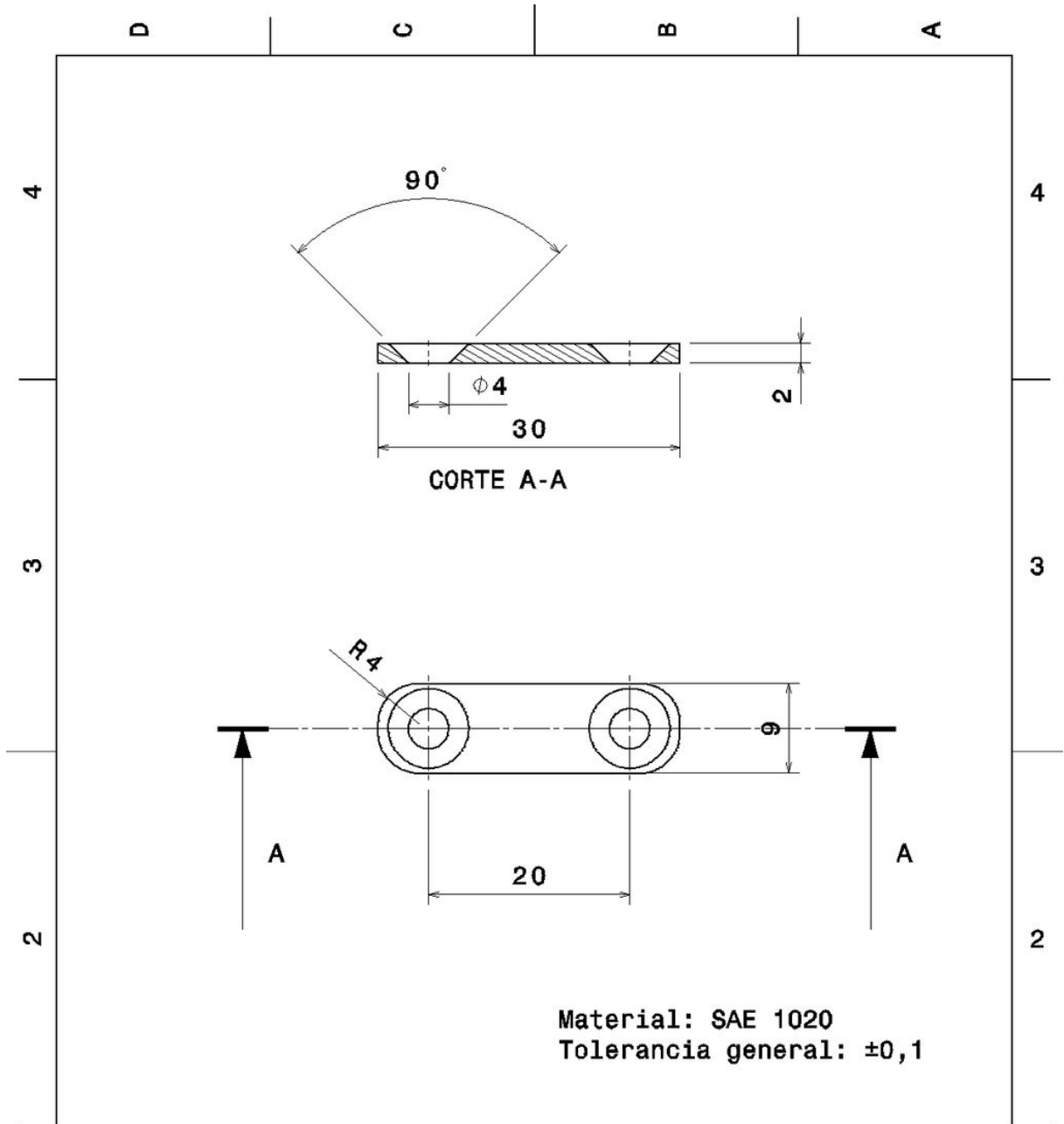












DESIGNED BY: <b>Di Giusto</b>		<b>Dispositivo 567 OP 10</b>	I	-	
DATE: <b>22/05/2013</b>			H	-	
CHECKED BY:			G	-	
DATE:		F	-		
SIZE <b>A4</b>		<b>SIPROMET</b>	E	-	
			D	-	
SCALE <b>2:1</b>	WEIGHT (kg) <b>0,02</b>	DRAWING NUMBER <b>Placa</b>	C	-	
		SHEET <b>10/12</b>	B	-	
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				A	-

