



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Adaptación de Torno de Control Numérico para la Fabricación de Anillos de Alta Precisión

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

Autor: José Antonio González Martínez

Director: Manuel Estrems Amestoy

Codirector: Julio Carrero-Blanco Martínez-Hombre



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Cartagena, octubre de 2019

Índice general

1. OBJETIVOS	4
2. INTRODUCCIÓN	7
2.1. DESCRIPCIÓN DE UN TORNO Y ASPECTOS BÁSICOS DE FABRICACIÓN APLICADOS A ÉSTE	9
2.2. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE CONTROL NUMÉRICO	13
2.3. ASPECTOS BÁSICOS DE INSTRUMENTACIÓN. GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS	15
2.3.1. <i>Galgas Extensiométricas</i>	16
2.3.2. <i>Puente Wheatstone</i>	18
2.3.3. <i>Amplificador de instrumentación</i>	20
3. DESCRIPCIÓN DANOBAT DANUMERIC NI-650	24
3.1. INTRODUCCIÓN	25
3.2. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS GLOBALES.....	26
3.3. HUSILLO Y MOTOR PRINCIPAL.....	29
3.3.1. <i>Plato de amarre</i>	29
3.3.2. <i>Cilindro hidráulico</i>	30
3.3.3. <i>Motor principal</i>	30
3.3.4. <i>Controlador del motor principal</i>	31
3.4. CONTRAPUNTO	33
3.5. EJES.....	34
3.5.1. <i>Accionamiento del eje x</i>	35
3.5.2. <i>Accionamiento del eje Z</i>	36
3.6. TORRETA	38
3.7. SISTEMA DE LUBRICACIÓN	39
3.8. EXTRACTOR DE VIRUTA	40
3.9. ENGRASE	41
3.10. HIDRÁULICO	43
3.10.1. <i>Descripción</i>	43
3.10.2. <i>Regulación del sistema hidráulico</i>	46
3.10.3. <i>Componentes equivalentes</i>	49
3.11. DISTRIBUCIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	52
3.12. PANEL DE PULSADORES.....	56
3.13. CONTROL CNC	57
3.13.1. <i>Módulos de ventilación y alimentación</i>	58
3.13.2. <i>Módulo de CPU</i>	58
3.13.3. <i>Módulo de ejes</i>	58
3.13.4. <i>Comunicación RS232</i>	61
3.13.5. <i>Proceso de restauración de la máquina</i>	65
3.13.6. <i>Funciones M definidas en la máquina:</i>	66
4. ESTADO DE CALIBRACIÓN	67
4.1. PROCEDIMIENTO DE CALIBRADO.....	68
4.2. COMPROBACIÓN DE CALIBRADO	71



Índice general

5.	DISEÑO DE UTILLAJE PARA AMARRE DE ANILLOS	75
5.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA. SELECCIÓN DE GARRAS.....	76
5.2.	MODELADO DE GARRAS ESTÁNDAR Y PLATO	77
5.2.1.	<i>Garras GB16.....</i>	<i>78</i>
5.2.2.	<i>Base del plato</i>	<i>78</i>
5.2.3.	<i>Correderas</i>	<i>79</i>
5.2.4.	<i>Tuercas de anclaje</i>	<i>79</i>
5.2.5.	<i>Tornillos DIN 912 y DIN 6912.....</i>	<i>80</i>
5.2.6.	<i>Ensamblaje del plato</i>	<i>80</i>
5.3.	PROPUESTA DE MECANIZADO DE GARRAS Y CONFIGURACIONES DE AMARRE.....	81
5.3.1.	<i>Mecanizado de garras</i>	<i>81</i>
5.3.2.	<i>Amarre exterior</i>	<i>83</i>
5.3.3.	<i>Amarre interior</i>	<i>84</i>
5.3.4.	<i>Amarre de diámetros superiores</i>	<i>86</i>
5.3.5.	<i>Amarre exterior aplicado en el ensayo de fuerzas.....</i>	<i>87</i>
6.	DETERMINACIÓN DE FUERZAS DE AMARRE	88
6.1.	INTRODUCCIÓN	89
6.2.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA Y PROCEDIMIENTO.	92
6.3.	MATERIALES UTILIZADOS.....	94
6.3.1.	<i>Piezas mecanizadas a instrumentar</i>	<i>94</i>
6.3.2.	<i>Galgas Extensiométricas.....</i>	<i>97</i>
6.3.3.	<i>Amplificador de instrumentación RS.....</i>	<i>97</i>
6.3.4.	<i>Fuente de alimentación</i>	<i>101</i>
6.3.5.	<i>Multímetro Analógico/Digital.....</i>	<i>102</i>
6.3.6.	<i>Otros elementos y herramientas</i>	<i>103</i>
6.4.	IMPLANTACIÓN DE PUENTE WHEATSTONE	104
6.4.1.	<i>Selección del tipo de puente</i>	<i>104</i>
6.4.2.	<i>Instalación de galgas</i>	<i>109</i>
6.4.3.	<i>Cableado del puente.....</i>	<i>111</i>
6.5.	CONFIGURACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL AMPLIFICADOR.....	113
6.5.1.	<i>Determinación de la ganancia.....</i>	<i>113</i>
6.5.2.	<i>Corrección de offset.....</i>	<i>114</i>
6.5.3.	<i>Estabilización de la señal</i>	<i>114</i>
6.6.	ENSAYO DE COMPROBACIÓN SOBRE PRENSA	117
6.7.	CARACTERIZACIÓN DE PRESIÓN/FUERZA DE AMARRE EN DANUMERIC NI-650	119
6.7.1.	<i>Realización del ensayo. Obtención de valores de tensión.....</i>	<i>119</i>
6.7.2.	<i>Cálculo de deformaciones y fuerzas de amarre</i>	<i>122</i>
6.7.3.	<i>Presentación de resultados.....</i>	<i>125</i>
7.	CONCLUSIONES.....	127
7.1.	CONCLUSIONES	128
7.2.	MEJORAS FUTURAS.....	129
8.	BIBLIOGRAFÍA	131
	ÍNDICE DE FIGURAS.....	134



Índice general

ÍNDICE DE TABLAS.....	137
ANEXOS	138
ANEXO A) MEMORIA ECONÓMICA	139
ANEXO B) PLANOS.....	141

1. Objetivos

1. Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivo principal la evaluación de las capacidades del torno de control numérico Danobat Danumeric NI 650, situado en el laboratorio de máquina herramienta del edificio de laboratorios ELDI de la Universidad Politécnica de Cartagena.

En particular, se pretende determinar las capacidades de la máquina para el mecanizado de anillos de alta precisión, donde el ajuste de las fuerzas de amarre juega un papel primordial en las posibles deformaciones que puedan ocasionarse en el acabado de la pieza.

Como objetivos secundarios se desprenden la profundización en el conocimiento de máquinas-herramienta de control numérico y aplicación específica de sistemas de instrumentación en modelos de cálculo de deformaciones.

Además se pretende sentar las bases para un mayor aprovechamiento futuro de la máquina objeto de estudio, tanto para desarrollo de nuevas actualizaciones que den lugar a futuras publicaciones, como para demostraciones docentes en prácticas de asignaturas relacionadas con el mecanizado.

Para llevar a cabo el estudio, se abordarán las siguientes metas:

-Recopilación de documentación del torno

Se pretende realizar una búsqueda de información sobre la máquina, para ofrecer una descripción de cada uno de los subsistemas que la componen, así como sus capacidades de trabajo nominales. Dado que la máquina fue adquirida hace más de veinte años, algunos de los componentes se encuentran descatalogados, por lo que se ofrecerá una relación de elementos alternativos que cumplan con las prestaciones requeridas.

1. **Objetivos**

- Calibración y pruebas de mecanizado

Para la determinación de las capacidades reales de la máquina, además de comprobar el funcionamiento de los sistemas auxiliares, se realizará en medida de lo posible, la calibración de las herramientas disponibles, de tal forma que se pueda determinar la precisión con la que es capaz de mecanizar el torno.

-Diseño del utillaje necesario para amarre de anillos

Para amarrar anillos en el husillo instalado, serán necesarias una serie de modificaciones. A partir de un diseño simplificado del plato de amarre realizado en SolidWorks, se propondrán diferentes diseños de garras blandas capaces de realizar amarre exterior e interior de anillos de unas determinadas dimensiones.

-Diseño y fabricación de sistema de instrumentación

Para realizar el ensayo de fuerzas de amarre, se propone implementar un sistema basado en un anillo instrumentado con galgas extensiométricas, expuesto en [1] capaz de obtener las deformaciones sobre éste durante el proceso de amarre. Para su utilización será necesaria la implementación adicional de un amplificador de instrumentación capaz de adecuar la señal obtenida del sensor. La premisa en este apartado será la de intentar conseguir un sistema fiable sin que suponga un coste elevado.

2. Introducción

2. Introducción

El mecanizado de anillos de precisión es un proceso de vital importancia en la fabricación de diversos elementos de ámbito industrial como pueden ser rodets de turbinas y bombas, rodamientos y engranajes.

Durante el proceso de mecanizado, una decisión crucial que debe tomar el ingeniero es definir el procedimiento de amarre adecuado para la pieza.

Si el perfil de la pieza es delgado, como es el caso de los anillos, ante una excesiva fuerza de amarre, existe el riesgo de que la pieza se deforme plásticamente, induciendo un error de redondez en el producto final.

En caso de disminuir la fuerza de amarre para reducir la deformación de la pieza, los parámetros de corte deben ser modificados, reduciendo calado y avance, para disminuir las fuerzas de corte y no superar las de amarre. Si esto ocurriese, no sólo podría producirse un determinado deslizamiento de la pieza sobre las garras, generando errores en el mecanizado, sino que la pieza podría soltarse, incurriendo en accidentes de gravedad, como destrozo de maquinaria o daños personales.

Con el fin de evitar estas vicisitudes, el proceso de mecanizado de un anillo, dado que sus superficies de revolución son coaxiales, podría realizarse de forma segura mediante decoletaje, es decir, a partir de una barra, realizar el mecanizado del anillo durante una única sujeción, en donde el último paso del proceso sería la sección de la pieza.

Para el caso de anillos de precisión, el proceso no se finalizaría satisfactoriamente, ya que no se podría realizar adecuadamente el acabado de la cara seccionada, por esto es necesario realizar procesos de doble amarre, donde debe amarrarse el anillo en toda su longitud y por consiguiente donde se hace necesario conocer la fuerza que se está ejerciendo sobre la pieza. [2]

En esta introducción se pretende hacer un repaso por los fundamentos tecnológicos en los que se basa la totalidad del trabajo. Desde fundamentos de máquinas herramienta de control numérico hasta realización de ensayos mecánicos, pasando por los fundamentos de electrónica necesarios para comprender el material y proceso de instrumentación que se ha implementado.

2. Introducción

2.1. Descripción de un torno y aspectos básicos de fabricación aplicados a éste.

Un torno forma parte de las catalogadas como máquinas herramienta de arranque de viruta. Suelen ser máquinas estacionarias de grandes dimensiones y están destinadas a realizar procesos de mecanizado de piezas con geometría de revolución, durante los cuales, es la pieza la que realiza el giro.

En la mayoría de los tornos pueden identificarse las siguientes partes diferenciadas:

- Bancada: Es la estructura destinada a soportar las partes móviles y elementos de la máquina.
- Elementos de sujeción: Todo torno cuenta con el denominado plato, el cual mediante garras móviles o tornillería, sujeta la pieza a mecanizar y transmite el movimiento de rotación a ésta. En muchos modelos de torno se suele contar con el punto o contrapunto, usado en el mecanizado de piezas con cierta longitud para sujeción de éstas desde el extremo opuesto al plato.
- Husillo: Este elemento es el eje que transmite el movimiento de rotación principal al plato de amarre. Suele estar conectado mediante poleas al motor principal del torno.
- Cajas Reductoras: Para regular la velocidad de giro del husillo, dependiendo del tipo de torno, pueden usarse este tipo de dispositivos
- Carros de ejes: Son las plataformas para movimiento del conjunto de soporte en la dirección de cada eje de movimiento, normalmente orientados de forma paralela y horizontal al eje de revolución de la pieza.
- Porta-herramienta: Sobre el conjunto de carros se encuentra un elemento para sujeción de la herramienta. Su composición puede ser muy diversa en función de la máquina y puede contener una o varias herramientas para la implementación de un proceso de mecanizado completo con diferentes etapas.

2. Introducción

- Herramientas: Es el elemento que entra en contacto con la pieza para realizar el corte sobre ésta. Existen infinidad de tipos de herramientas que pueden clasificarse en función de numerosos criterios como por ejemplo el material a mecanizar, el tipo de anclaje al porta-herramientas, la precisión de acabado, la geometría a mecanizar... En función de estos parámetros la herramienta adopta distintos tipos de geometría y material.

De la descripción realizada se desprende que por norma general es la herramienta la que realiza el movimiento relativo respecto de la pieza para crear la geometría deseada. Los movimientos que ésta realiza se denominan de avance si tienen lugar en el eje paralelo al eje de giro, normalmente denominado eje Z y movimiento de penetración en el eje X o transversal al eje de giro.

Con este juego de movimientos, y diferentes herramientas se pueden realizar las siguientes operaciones básicas de mecanizado:

- Cilindrado: Movimiento en el eje Z por la cara exterior del bruto, para dar forma cilíndrica a la pieza.
- Ranurado: Cilindrado de una sección media de la pieza. Para este tipo de operación suelen usarse herramientas con filo cortante en ambos sentidos del eje Z
- Cilindrado Cónico: Se añade movimiento en X al cilindrado para obtener formas cónicas.
- Chaflanado: Suavizado de aristas con ángulos agudos.
- Refrentado: Movimiento en el eje X para eliminar material de la parte frontal del bruto.
- Tronzado: Sección de una parte del bruto mediante un movimiento en el eje X.
- Taladro: Creación de orificio en el centro de la pieza.
- Mandrinado: A partir de un taladro existente, el proceso de mandrinado define el diámetro y acabado de éste.

2. Introducción

- Roscado: Mecanizado de roscas interiores y exteriores con uso de herramientas especiales.
- Chaflanado: Suavizado de aristas con ángulos agudos.

Para alcanzar los acabados deseados en este tipo de operaciones, así como optimizar tiempos de mecanizado y realizar el mecanizado con seguridad y sin desgaste excesivo de las herramientas, es necesario atender a una serie de parámetros de corte. Entre tales parámetros pueden destacarse los siguientes:

Velocidad de corte: Es la velocidad lineal de la herramienta respecto de la pieza. Al considerarse que la velocidad de traslación sobre los ejes Z y X es muy inferior a la velocidad lineal producida por el giro de la pieza, puede expresarse la velocidad de corte como:

$$v_c = \frac{D \cdot n \cdot \pi}{1000}$$

Donde:

vc: velocidad de corte (mm/min)

D: Diámetro de la pieza (mm)

n: velocidad de giro (rpm)

Velocidad de avance y avance por revolución: La velocidad de avance se conoce como la velocidad relativa entre el origen de la pieza y la herramienta, es decir, la resultante de velocidades de traslación de la herramienta en los ejes X y Z. Esta velocidad puede venir determinada en función del avance por revolución f (mm/revolución) mediante la siguiente expresión:

$$v_f = fn$$

El avance por revolución es condicionante de la rugosidad del acabado de la pieza, que viene determinada como:

$$R_a = \frac{f^2}{32r_\epsilon}$$

Siendo r_ϵ el radio del extremo de la plaquita de corte.

Profundidad de corte: También conocida como calado, se conoce como la distancia en milímetros que la herramienta penetra sobre la pieza, es decir, la diferencia de diámetros de mecanizado entre una pasada y la siguiente en caso de una operación de cilindrado o la diferencia de longitud del eje x ante un refrentado.

2. Introducción

Espesor de corte, anchura de viruta y espesor de viruta: Se define el espesor de corte a_c como la distancia normal entre la arista de corte de la herramienta y el plano de arranque de viruta, quedando expresada como:

$$a_c = f \operatorname{sen}(k_r)$$

Siendo k_r el ángulo de inclinación de la herramienta respecto de la pieza.

Mientras que la anchura de viruta se define como:

$$a_w = \frac{a_p}{\operatorname{sen}(k_r)}$$

A partir de estos dos parámetros, se obtiene la sección de viruta:

$$S_c = a_c \cdot a_w$$

Fuerza y potencia corte: Durante el mecanizado se tienen producen tres fuerzas fundamentales: Fuerza de corte, de empuje y radial. De estas tres, la más significativa es la fuerza de corte F_c que puede expresarse en función de la energía específica de corte p_s característica de cada material como:

$$F_c = p_s S_c$$

De éste parámetro depende la potencia que debe suministrar la máquina para una determinada operación de mecanizado denominada potencia de corte, expresada en la siguiente ecuación:

$$P_c = \frac{F_c V_c}{60}$$

Éste último parámetro es condicionante para que una determinada máquina pueda realizar un proceso de mecanizado.

En el mercado existe diversidad de tornos, los cuales además de catalogarse por su potencia, pueden clasificarse en diferentes grupos por su morfología adaptada para la realización de diferentes acciones o prestaciones de producción.

Es el caso, por ejemplo, de los tornos de husillo vertical, capaces de mecanizar piezas pesadas sin necesidad de amarres auxiliares, tornos copiadores, tornos automáticos o como es el caso de los tornos de control numérico CN.

2. Introducción

2.2. Introducción a los sistemas de control numérico

El Control Numérico (CN) es un sistema de automatización programable en el que los movimientos y acciones de una máquina-herramienta son controlados por un programa que contiene datos codificados que representan las posiciones relativas entre la herramienta de trabajo y la pieza a mecanizar.

Aunque a priori una máquina herramienta de control numérico no se diferencia de una máquina convencional ya que pueden compartir grados de libertad o sus principios de mecanizado y corte son los mismos, la incorporación del sistema automatizado aporta una mejora sustancial de prestaciones en cuanto a productividad y precisión.

Como en todo sistema automatizado, un sistema CNC parte de un programa. En sistemas CN se denomina programa pieza al conjunto de instrucciones codificadas necesarias para la fabricación de una determinada pieza. Este tipo de programas incluyen desde funciones preparatorias como el tipo de coordenadas a utilizar o determinación de parámetros de velocidades, hasta funciones de movimiento de los ejes por medio de coordenadas, pasando por funciones auxiliares para configurar el funcionamiento de elementos auxiliares de la máquina durante un determinado proceso.

En el lenguaje ISO, el más extendido, el tipo de funciones se clasifica de la siguiente manera:

N: Número de bloque

G: Funciones de movimiento

X: Coordenadas en eje X

Z: Coordenadas en eje Z

F: Función de avance

S: Velocidad del husillo

T: Selección de herramienta

M: Acciones auxiliares



2. Introducción

Cada bloque de programa puede contener uno o varios tipos de estas funciones y siempre se programarán en el orden indicado.

La implementación de estos programas normalmente puede realizarse desde la misma máquina mediante la introducción de parámetros desde un teclado o bien puede lanzarse desde un ordenador externo. La conexión más extendida ha sido la comunicación serie RS232, sin embargo el avance de las comunicaciones permite incorporar nuevos protocolos con mayores prestaciones.

Estos programas son decodificados por la unidad central del sistema, donde se interpretan las instrucciones de alto nivel, se gobiernan los actuadores y se recibe información de retroalimentación del estado de la máquina.

Los actuadores en este tipo de máquinas suelen ser servomotores con sus correspondientes controladores, ofreciendo una respuesta fiable gracias a los encoders incorporados a estos. En cuanto a los elementos de realimentación, además de estos encoders, suelen usarse otro tipo de sensores para comprobar límites de movimiento y tener sistemas redundantes para el control seguro de las acciones de la máquina.

Entre las ventajas de las máquinas herramientas de control numérico se encuentran la elevada productividad y versatilidad, una mejora en la calidad de las piezas mecanizadas dada la mayor precisión alcanzable, además de poder producir piezas de geometría muy compleja gracias a la coordinación de todos los movimientos de mecanizado que en una máquina convencional serían imposibles de conseguir. Sin embargo este tipo de máquinas tienen un precio muy elevado en comparación con las convencionales y requieren tanto operación como mantenimiento especializados.

2. Introducción

2.3. Aspectos básicos de instrumentación. Galgas extensiométricas

Un proceso de instrumentación consiste en la determinación del valor de una magnitud física dentro de un proceso, como temperatura, presión, aceleración, fuerza... a través de una serie de dispositivos de diferente naturaleza. En la actualidad se amplía la definición de instrumentación para hacer referencia al uso que se le da a los datos obtenidos, para el control del proceso instrumentado.

En procesos de instrumentación, normalmente se requiere de varias etapas de transformación de magnitud hasta llegar a poder obtener un valor apto para ser medido. De tal forma, para llevar a cabo la instrumentación de un determinado proceso o experimento, será necesaria la existencia de los siguientes elementos:

Sensor: Es el elemento de un dispositivo de instrumentación que se encuentra en contacto directo con la magnitud a medir y ofrece una variación proporcional de una magnitud distinta. Por ejemplo una resistencia fotosensible o LDR que varía su resistencia eléctrica en función de la luz que recibe.

Elementos de transmisión: La función de estos elementos es conducir y adecuar la señal obtenida por el sensor para que sea legible para el usuario o el sistema de control en caso de un determinado proceso industrial, donde normalmente la magnitud final es voltaje o intensidad eléctrica. En este grupo se incluyen desde cableado hasta amplificadores de señal, convertidores A/D...

Centrándonos en el material usado en este trabajo, se va a realizar un repaso por el funcionamiento tanto de las galgas extensiométricas a modo de sensor y el amplificador de instrumentación como elemento de transmisión.

2. Introducción

2.3.1. Galgas Extensiométricas

Una galga extensiométrica es un sensor destinado a medir deformaciones y por tanto aplicable para la determinación de tensiones y fuerzas. Su principio de funcionamiento se basa en la variación de la resistencia de un conductor metálico variando su geometría.

Partiendo de que la resistencia de un determinado hilo conductor se define como:

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

Donde:

R: Resistencia eléctrica del conductor

ρ : Resistividad del material

L: Longitud del conductor

A: Sección del conductor

Se desprende que una variación de la resistencia puede producirse por el conjunto de tres factores:[3]

- Variación de la resistividad del material, normalmente por debida a un cambio de temperatura.
- Variación de la longitud del hilo conductor.
- Variación de la sección del hilo conductor, en el caso de las galgas, producida como resultado del efecto de Poisson ante una elongación o contracción del hilo.

Para la fabricación de una galga extensiométrica, sobre una lámina de circuito impreso se dispone un hilo conductor en forma de zig zag, con tramos delgados en una dirección y de sección más amplia en los pliegues, tal como se muestra en la figura:

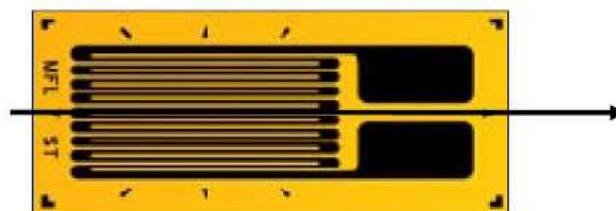


Ilustración 2-1: Disposición constructiva de una galga extensiométrica

2. Introducción

Dada esta geometría, ante la aplicación de una fuerza en dirección perpendicular a los tramos delgados de conductor, apenas se producirá una variación de la resistencia, ya que únicamente se producirá variación de la sección de éstos y una elongación de los pliegues donde se encuentra una sección mayor.

Por el contrario, aplicando una fuerza en la dirección de los tramos de conductor delgados, se produce una variación mayor de la resistencia al producirse un alargamiento del alambre.

De esta forma, este sensor ofrece una mayor sensibilidad ante la deformación únicamente en una dirección determinada. Si la galga se adhiere de forma rígida a la superficie de un determinado material, ésta experimentará su misma deformación.

Para determinar la ganancia en la conversión de deformación a resistencia, se usa un parámetro llamado factor de galga, siendo la relación entre la variación de la resistencia y la deformación.

$$k = \frac{(\Delta R/R)}{\epsilon}$$

Una vez obtenido este factor, la resistencia que ofrece la galga puede determinarse como:

$$R_g = R_0(1 + \epsilon k)$$

Siendo R_0 la resistencia de la galga sin estar sometida a tensión.

El factor de galga nominal en la mayoría de los modelos se encuentra alrededor de 2 y la variación típica de la resistencia no suele superar el 1% de la resistencia nominal. Dado el escaso margen de variación, resulta extremadamente complicado medir el valor de la resistencia directamente, para lo que sería necesario recurrir a micro-óhmetros de precisión que implican gran complejidad y costes elevados en el proceso de medición

Para evitar esto suele recurrirse a un proceso de adecuación de señal, comenzando por el uso de divisores de tensión o puentes de Wheatstone.

2. Introducción

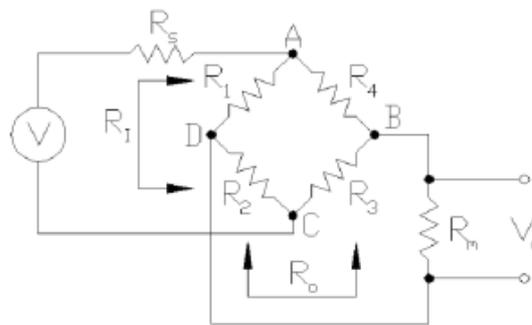
2.3.2. Puente Wheatstone

El puente de Wheatstone es un tipo de circuito ampliamente utilizado en instrumentación, para adecuación de señal a partir de sensores resistivos como galgas, termistores, LDR, o NTC.

Existen diversas configuraciones para este tipo de circuito, como cuarto de puente, medio puente, medio puente opuesto, puente completo... usadas en función de la naturaleza de la magnitud objeto de medida, de la disposición de los sensores y de los parámetros de sensibilidad o linealidad que quieran alcanzarse en la medida.

En este apartado, se llegará a un análisis general del funcionamiento del circuito para particularizarlo más adelante en el uso de galgas extensiométricas requerido para el estudio de las fuerzas de amarre del torno.

El circuito cuenta con cuatro resistencias dispuestas en dos ramas desde el punto de vista de los terminales de alimentación A y C como se indica en la figura:



Donde R1, R2, R3, y R4 son las resistencias que componen el puente, pudiendo ser resistencias auxiliares y donde al menos una de ellas será un sensor resistivo, R0 y R1 simbolizan la impedancia de salida y entrada del circuito, Rs la impedancia de la fuente y Rm la impedancia de entrada del instrumento de amplificación o medida aguas abajo.

Realizando un sencillo análisis del circuito, se puede determinar el valor de la tensión en D y B a partir de A y C:

$$V_{DC} = V_{AC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

2. Introducción

$$V_{BC} = V_{AC} \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_4}$$

Para hallar la tensión V_{DB} , únicamente será necesario restar los dos potenciales anteriores:

$$V_{BD} = V_{BC} - V_{DC} = V_{AC} \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) = V_{AC} \left(\frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \right)$$

Suponiendo que el puente está balanceado, esto implica que $R_1 R_3 = R_2 R_4$ y por tanto $V_{BD} = 0$. Definiendo $a = R_2/R_1 = R_3/R_4$, y añadiendo un parámetro de no linealidad n , la ecuación completa del puente quedaría de la siguiente forma:

$$V_0 = V \left(\frac{1}{1 + \frac{R_s}{R_i}} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{R_o}{R_m}} \right) \left(\frac{a}{(1+a)^2} \right) \left[\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_4}{R_4} \right] (1-n)$$

Ahora bien, si se tiene en cuenta que R_m es del orden de mega ohmios y R_i del orden de 10^{-3} , valores típicos de impedancias de fuentes de tensión y entrada de dispositivos de medida, se aproximan los dos primeros términos a la unidad. Además dado que el valor de R_1, R_2, R_3, R_4 , es a priori el mismo, se iguala el tercer término a $1/4$, quedando la ecuación reducida a:

$$V_0 = V \frac{1}{4} \left[\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_4}{R_4} \right] (1-n)$$

A partir de esta ecuación se puede sustituir fácilmente la forma de variación de cada una de las cuatro resistencias incorporadas en el puente. [3][4]

Ahora bien, tratándose de galgas, donde las variaciones de resistencia son extremadamente pequeñas, ante una alimentación típica de alrededor de 5 V, la tensión que ofrecerá este tipo de puentes será del orden de microvoltios, por tanto, para poder realizar la adquisición de ese voltaje será necesaria la utilización de voltímetros digitales de alta precisión o en su defecto, se requerirá de una etapa previa de amplificación para que la señal pueda ser medida por voltímetros u osciloscopios más comunes.

2. Introducción

2.3.3. Amplificador de instrumentación

Un amplificador de instrumentación es un dispositivo electrónico capaz de amplificar una señal analógica con una determinada ganancia. Este tipo de amplificadores, normalmente constituidos a partir de amplificadores operacionales, ofrecen una serie de prestaciones superiores a estos.

Partiendo del amplificador operacional o diferencial, este es un dispositivo normalmente comercializado como circuito integrado al que acoplándole un determinado circuito resistivo auxiliar es capaz de realizar diversas funciones como suma de señales, seguimiento de señal o amplificación.

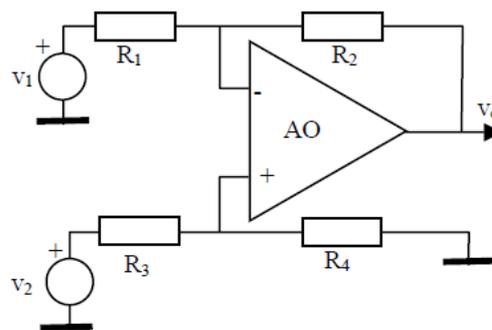


Figura 2-1: Amplificador diferencial[5]

En la figura se muestra un amplificador operacional básico actuando como amplificador diferencial, de donde se obtienen a tensión de salida, ganancia diferencial A_d y ganancia en modo común A_c :

$$v_o = \frac{R_2}{R_1} v_1 + \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) v_2$$

$$A_d = \frac{1}{2} \left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \right)$$

$$A_c = \frac{R_4 R_1 - R_2 R_3}{R_1 (R_3 + R_4)}$$

Para seguir un comportamiento de amplificador diferencial, debe corroborarse que:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$$

2. Introducción

Y por tanto:

$$A_d = -\frac{R_2}{R_1} \quad , \quad A_c = 0$$

Ante estas condiciones, un amplificador diferencial básico presenta una serie de inconvenientes para establecer un CMRR adecuado. En primer lugar el amplificador operacional tiene un CMRR finito, y además, dada la imposibilidad de fabricación de resistencias de valor idéntico, la igualdad de resistencias necesarias para la validación de las condiciones del amplificador diferencial es inalcanzable, quedando el rechazo de modo común descrito de la siguiente forma:

$$CMRR_R = \frac{A_d}{A_c} = \frac{(R_1R_4 + R_2R_3 + 2R_2R_4)}{2(R_1R_4 - R_2R_3)}$$

Otro problema que presenta este tipo de amplificadores es su baja impedancia de entrada:

$$Z_{in} = R_3 + R_3$$

La cual puede producir problemas de derivaciones de corrientes y por consiguiente errores en la medida, además de presentar problemas con el reducido ancho de banda que incurren en detrimento de la linealidad de la salida.

Dados estos inconvenientes, para la etapa de amplificación en un proceso de adecuación de señal, se hace latente la necesidad de usar un dispositivo que cumpla con los siguientes requisitos: [5]

- Alta ganancia diferencial, lineal y precisa, generalmente con valores comprendidos entre 1 y 1000.
- Ganancia fácilmente ajustable para adaptar la relación de la señal de entrada con el rango de medida del dispositivo aguas abajo.
- La ganancia en modo común debe ser reducida, es decir, se requiere un CMRR elevado para poder solventar problemas de linealidad por offset dinámico.
- Baja impedancia de salida para impedir que la ganancia se vea afectada por la carga del dispositivo de medida y una alta impedancia de entrada

2. Introducción

para evitar derivaciones que alteren el funcionamiento del puente Wheatstone.

- Offset reducido del amplificador y con baja deriva con la temperatura, con el fin de manejar de forma eficiente señales en continua de pequeño valor y una baja generación de ruido, además de rechazo considerable al rizado de la fuente de alimentación CC.

Por tanto, para cumplir estos requisitos a partir de los amplificadores operacionales básicos, se realiza una combinación siguiendo la siguiente disposición básica:

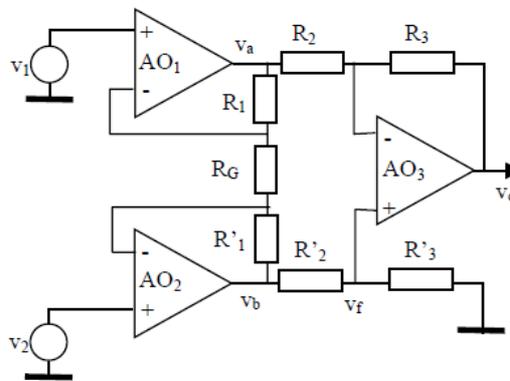


Figura 2-2: Amplificador de instrumentación[5]

Donde por análisis del circuito se desprenden las siguientes igualdades:

$$\frac{v_a - v_i}{R_1} = \frac{v_a - v_i}{R_G} = \frac{v_a - v_i}{R'_3}$$

$$\frac{v_b - v_f}{R'_2} = \frac{v_f}{R'_3}$$

$$\frac{v_a - v_f}{R_2} = \frac{v_f - v_0}{R_3}$$

A partir de las cuales se obtiene la ecuación de la tensión de salida:

$$v_0 = -v_1 \left(\frac{R'_1 R'_3 (R_2 + R_3)}{R_G R_2 (R'_3 + R'_2)} + \frac{(R_1 + R_G) R_3}{R_G R_2} \right) + v_2 \left(\frac{R'_3 (R'_1 + R_G) (R_2 + R_3)}{R_G R_2 (R'_3 + R'_2)} + \frac{R_1 R_3}{R_G R_2} \right)$$

2. Introducción

Dada la complejidad de la expresión, puede usarse simetría en las tensiones de entrada para los dos siguientes casos:

Si a la entrada se impone una señal en modo diferencial, el punto medio de la resistencia R_g permanece al terminal de referencia.

Excitando en modo común donde $V_1=V_2$, V_a y V_b se igualan a V_c , independientemente de los valores de R_G , R_1 y R_2 .

De tal forma que satisfaciendo la relación

$$\frac{R_3}{R'_3} = \frac{R_2}{R'_2}$$

Se tiene una ganancia en modo común idealmente nula.

En el mercado pueden encontrarse desde amplificadores de instrumentación encapsulados como CI para una versátil integración en sistemas hasta equipos completos de medida orientados a trabajos específicos como la medida de deformaciones con galgas extensiométricas como el SANEI o Vishay P3.



Figura 2-3: Vishay P3 y AD 522SD

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3.1. Introducción

En este apartado se tratará de proporcionar una visión global del funcionamiento del torno DANUMERIC NI-650 de DANOBAT, sito en el taller de máquinas-herramienta, en la planta baja del edificio de talleres y laboratorios ELDI de la UPCT.

Para ello se ha realizado una recopilación de documentación de la máquina y sus componentes, a partir de la cual se describirán cada uno de los subsistemas que lo componen, aportando fotografías para facilitar la localización de los elementos en la máquina.

Cabe mencionar que dada la antigüedad de la máquina, buena parte de sus elementos han sido descatalogados. En estos casos, para poder definir las capacidades de cada componente, se ha intentado proporcionar información de elementos actualizados con las mismas prestaciones o equivalentes a los instalados.

Esta revisión se intensifica en el sistema hidráulico integrado en el torno, ya que interfiere directamente en la regulación de presión del amarre de piezas, objetivo último de este trabajo.



Figura 3-1 Danobat Danumeric NI-650

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3.2. Descripción y características globales

La máquina objeto de estudio, es un torno de control numérico, modelo DANUMERIC NI-650, con control FAGOR-8050T, fabricado por DANOBAT, y adquirido por la Universidad de Murcia, a través del Instituto de Fomento en el año 1995, pasando a ser propiedad de la Universidad Politécnica de Cartagena después de su creación.

El torno estuvo alojado en el taller de fabricación, del Departamento de Ingeniería de fabricación, junto a la biblioteca del campus Alfonso XIII, hasta su traslado a su situación actual en el taller de máquina herramienta situado en el sótano del ELDI.

Como un torno convencional, la máquina cuenta una torreta portaherramientas articulada en dos ejes: "X" transversal y "Z" longitudinal, por accionamientos electromecánicos compuestos por servomotor y husillo de bolas. Cuenta con el husillo principal traccionado por un motor trifásico y tanto el amarre como el accionamiento del contrapunto están manejados por el sistema hidráulico. El plato, de orificio pasante permite la alimentación continua de material.

El torno cuenta con sistema de lubricación por taladrina (actualmente fuera de servicio), sistema automático de extracción de viruta y refrigeración del cuadro de potencia.

La parte posterior está dividida en tres portones. Los dos primeros dan acceso a la cámara de electrónica de potencia y aparamenta eléctrica. Esta cámara se encuentra aislada del resto de la máquina con el fin de evitar contactos directos o indirectos por partes móviles o escapes de aceite de lubricación. Dado el confinamiento de la cámara, se encuentra instalado un intercambiador de calor en la parte superior del habitáculo para atenuar el calentamiento de los dispositivos eléctricos, dadas las altas corrientes que se alcanzan durante los procesos de control de los motores.

El tercer portón ofrece acceso al sistema hidráulico que alimenta los sistemas del plato de amarre y contrapunto, donde también se encuentra instalada la central de engrase. Este portón también conecta con la parte posterior del banco de mecanizado, desde donde puede accederse a diferentes elementos como finales de carrera, husillo, torreta...

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

Cabe mencionar que el portón central, donde se encuentra el interruptor de alimentación principal, queda anclado cuando la máquina está con tensión. Este portón a su vez, a través de un pasador, bloquea el portón izquierdo por medio de un pasador. Dicha medida de seguridad se encontraba desactivada en el comienzo del estudio del torno.



Figura 3-2: Vista trasera. Portones



3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

Como características generales del torno, de la documentación ofrecida por el fabricante, se cuentan con las siguientes:[6]

DENOMINACIÓN	UNIDAD	STANDARD
GENERALES		
Altura de puntos sobre el suelo .	mm	1000
Máximo diámetro de pieza a mecanizar.	mm	330
Diámetro admitido sobre bancada.	mm	530
Máximo recorrido entre nariz del eje y cara de torreta (VDI)	mm	840
Máximo recorrido transversal de eje X.	mm	270
Motor principal	Kw	14/21
CABEZAL Y EJE PRINCIPAL		
Diámetro interior de los rodamientos delanteros.	mm	110
Diámetro interior del eje principal.	mm	75
Velocidad eje sin escalones.	rpm	50-3000
Nariz del eje principal (DIN-6353)	mm	DIAM-170
TORRETA		
Nº caras.		8
Avance rápido eje X	mm/min.	15000
Avance rápido eje Y	mm/min.	15000
Tiempo de posicionado (1 cara).	s	1.1
Tiempo de posicionado 180º.	s	2.1
Sistema Portaherramientas.	Tipo	VDI
Dimensión de herramienta.	mm	25x25
CONTRAPUNTO		
Diámetro de caña	mm	90
Recorrido de caña	mm	120
Cono del punto	Morse	Nº4
VARIOS		
Capacidad del depósito hidráulico	l	100
Capacidad del depósito refrigerante	l	200
Peso neto aproximado.	Kg	6300

Tabla 3-1: Características Generales Danumeric NI-650

A partir de este punto, se irán describiendo cada uno de los subsistemas de los que se compone el torno objeto de estudio.

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3.3. Husillo y motor principal

3.3.1. Plato de amarre

El plato de amarre instalado, modelo Gálvez 200 HUSL, con 3 garras y orificio pasante para alimentación continua de material, es capaz de funcionar con cilindros de accionamiento lineal hidráulicos o neumáticos indistintamente y cuenta con los siguientes parámetros característicos:[7]

DENOMINACIÓN	UNIDAD	STANDARD
Diámetro de base	mm	200
Diámetro de paso central	mm	40
Recorrido máximo de corredera	mm	5,2
Profundidad	mm	86
Dentado de corredera	inch	3/32-90°
Máx. fuerza accionamiento axial	Kg	3500
Máx. fuerza del plato	Kg	6000
Máx. velocidad de giro	r.p.m.	3200
Peso sin garras	Kg	15
Momento de inercia	Kg/m ²	0.12

Tabla 3-2: Características HUSL 200



Figura 3-3: Plato HUSL 200 instalado y fotografía de catálogo

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3.3.2. Cilindro hidráulico

Solidario al plato se encuentra el pistón modelo HIDRAM HZPV/C-68 con presiones máxima y mínima de 35 y 8 bar y orificio de paso central de 68mm, no obstante, para la alimentación de tocho de la máquina, el diámetro de barra quedará limitado por los 40mm del orificio pasante del plato. El cilindro cuenta con sensores inductivos Omron para determinar el estado cerrado del plato, para amarre tanto exterior como interior.



Figura 3-4: Cilindro: Correas de tracción, placa de características y sensores

3.3.3. Motor principal

El pistón giratorio es traccionado mediante correas por el motor principal, modelo SIEMENS 1 PH 6167-4NB40, motor trifásico, asíncrono, de jaula de ardilla, de valores nominales:[8]

DENOMINACIÓN	UNIDAD	STANDARD
Tensión de alimentación	3ph/VAC	380
Potencia Nominal	KW	40
Corriente nominal	A	80
Velocidad nominal	r.p.m.	500
Velocidad Máxima	r.p.m	6500
Par nominal	Nm	277
Momento de inercia	Kg/m ²	0.206
Peso	Kg	210
Carcasa		IM B3

Tabla 3-3: Características del motor principal

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

Dicho motor cuenta con ventilación forzada modelo SIEMENS GEBLAESE, con alimentación trifásica 380-460V, 0,7A y encoder integrado para uso interno del controlador ERN 1387 2048 SIG/R PULSE INVERTER CODE NR 135, de 1024 pulsos por revolución. Además lleva integrados dos termistores PTC para protección del motor por temperatura de los devanados.

La conexión entre el encoder y el controlador se realiza mediante un cable multifilar con conectores de cubierta metálica de 17 pines. Tanto esta como la alimentación del ventilador se derivan con cableado independiente a la alimentación principal del motor.



Figura 3-5: Motor principal. Caja de conexiones y esquema de conexiones del encoder

3.3.4. Controlador del motor principal

El accionamiento de este motor se realiza mediante el regulador SIEMENS SIMODRIVE 660 modelo 6SC66 08-0AA21, inversor estático PWM para control específico de motores de inducción trifásicos para husillo.

Como cualquier otro convertidor de este tipo, se produce una doble conversión CA-CC-CA, donde en la segunda conversión, a partir de la tensión en continua, mediante modulación del ancho de pulso, se establecen los valores de frecuencia y amplitud de tensión para variar de forma adecuada la velocidad del rotor de la máquina.

Este dispositivo realiza el control en lazo cerrado de la velocidad de la máquina en cuatro cuadrantes aplicando control dinámico. Para ello se establece un doble lazo de control maestro-esclavo en velocidad-corriente. Por medio del segundo lazo se controlan las corrientes de magnetización, las cuales incurren directamente en el par ofrecido por la máquina, pudiendo realizar variaciones en la velocidad sin incurrir en una disminución del par ofrecido.

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

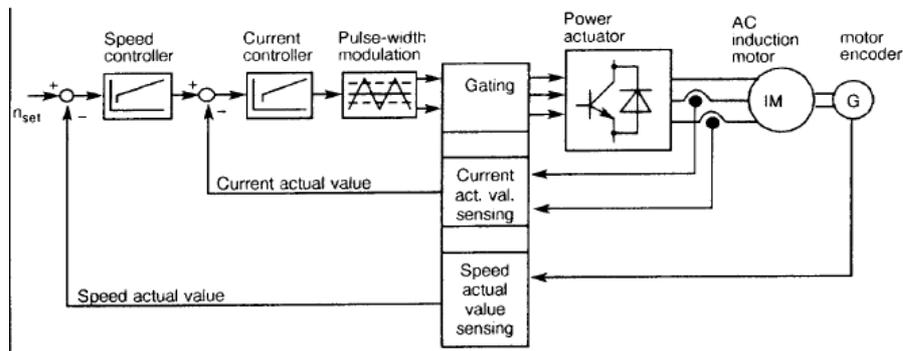


Figura 3-6: Diagrama de control de motor mediante Simodrive 660

Para establecer los lazos cerrados de control, el dispositivo realiza la medida de intensidad de forma interna y el encoder integrado en el motor para adquirir el valor de la velocidad del rotor.

El controlador instalado cuenta con los siguientes parámetros:[9]

DENOMINACIÓN	UNIDAD	STANDARD
Grado de protección	IP	00
Rango de temperatura ambiente permisible	°C	-40_55
Tensión de alimentación	3ph V AC	400-6%+10%
Frecuencia de alimentación	Hz	50Hz
Tensión de salida	3ph V AC	0-->430
Frecuencia de salida	Hz	0-->600
Rendimiento	%	95
Nivel CC	V DC	600
Frecuencia de conmutación	KHz	>3.3
Pérdidas Máximas	kW	1.6
Corriente máxima en carga	A	77
Intensidad de diseño	A	85
Potencia aparente a la salida	KVA	60
Fusibles Incorporados	A	120
Peso	Kg	102



Figura 3-7: SIMODRIVE 660 Instalado

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3.4. Contrapunto

De este subsistema poca información ha podido recopilarse aparte de la ofrecida en las características generales de la máquina, no obstante, no tiene una influencia directa sobre el mecanizado de anillos.

El contrapunto giratorio instalado, según la documentación un Rohm 108-42171 aunque no se ha podido comprobar la correspondencia, tiene un diámetro de caña de 90mm, recorrido por tracción hidráulica de 120mm y una dureza de Morse 4.

El conjunto de la caña y el cilindro actuador se sitúa sobre un carro atornillado en la bancada, el cual puede moverse traccionado por la torreta hasta una distancia de 727mm desde la base del plato de amarre.



Figura 3-8: Contrapunto

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3.5. Ejes

Como en cualquier torno convencional, la herramienta cuenta con libertad de movimiento en el eje Z, paralelo al eje de rotación del husillo, y un movimiento transversal perpendicular a dicho eje denominado eje X.

El accionamiento de estos ejes se realiza mediante servomotores, traccionando un husillo de bolas, el cual transforma el movimiento rotacional del motor en traslación del carro de la torreta en cada una de las direcciones.

Para limitar el recorrido en ambos ejes, se cuenta con finales de carrera modelo torre Balluf de 2 y 3 posiciones para los ejes x y z respectivamente.[10]



Figura 3-9: Husillo de bolas y final de carrera Balluf, (dispositivo e instalación)

Para el gobierno de los servomotores, ambos ejes comparten módulos Siemens SIMODRIVE 611 de vigilancia, 6SN11 12-1AA00-0AA0 y de resistencias pulsantes, 6SN11 13-1AA00-0BA0.

El módulo de vigilancia contiene la alimentación de electrónica y las funciones de vigilancia centrales, necesarias para el funcionamiento de los módulos de accionamiento.[11]

El módulo de resistencia pulsante sirve para eliminar un exceso de energía en el circuito intermedio de corriente continua, normalmente ocasionado por las altas corrientes ante una frenada rápida. Dicha energía se disipa en este módulo en forma de calor.

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3.5.1. Accionamiento del eje x

El eje transversal X está traccionado por un motor Siemens 1FT5 072-0AC71-1-Z Z=G45, servomotor de CA, síncrono, de imanes permanentes con caja reductora y freno integrado, con alimentación de corriente de onda cuadrada.



Figura 3-10: Interior de la máquina. Servomotor eje X y final de carrera de eje Z

Los parámetros nominales del servomotor son los siguientes:[12]

DENOMINACIÓN	UNIDAD	STANDARD
Grado de protección	IP	64
Velocidad nominal	r.p.m.	2000
Par nominal	Nm	9.5
Intensidad nominal	A	6.3
Par de frenado	Nm	12
Corriente de frenado	A	7.3
Momento de inercia	10^{-4} Kg/m ²	30.3

Tabla 3-4: Características motor eje x

Este actuador está alimentado por el variador de frecuencia Siemens SIMODRIVE 611 tipo 6SN1130-1AA11-0AA0, el cual regula la corriente suministrada al motor a partir del lado de continua ofrecido por el circuito intermedio del regulador del motor principal a 600V CC.[11]

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3.5.2. Accionamiento del eje Z

De igual forma el eje longitudinal Z está traccionado por un motor Siemens 1FT5 074-0AC71-1, servomotor de CA, síncrono, de imanes permanentes con caja reductora y en este caso, sin freno auxiliar integrado ya que no tiene que soportar continuamente el peso de la torreta.



Figura 3-11: Servomotor 1FT5074

Al aumentar la longitud del motor en comparación con el eje X, se tienen los siguientes parámetros:[12]

DENOMINACIÓN	UNIDAD	STANDARD
Grado de protección	IP	64
Velocidad nominal	r.p.m.	2000
Par nominal	Nm	14
Intensidad nominal	A	9.3
Par de frenado	Nm	18
Corriente de frenado	A	11
Momento de inercia	10^{-4} Kg/m ²	36.7

Tabla 3-5: Características motor eje Z

Para cubrir la corriente de alimentación de este motor, está gobernado por el variador Siemens SIMODRIVE 611 modelo 6SN1123-1AA11-0BA0.

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650



Figura 3-12: Simodrive 611. Conexión 600V CC en módulos de vigilancia y resistencias

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3.6. Torreta

La torreta instalada, con revolver para cambio automático de herramienta, modelo DUPLOMATIC BSVN 200-8/20, cuenta con un plato base de 200mm de diámetro, con 8 posiciones.

Sobre el plato base de 200mm se encuentra instalado un plato de 400mm de diámetro con 8 posiciones para instalación de portaherramientas VDI40 (4 para mecanizado exterior y 4 para interior).

El revólver está accionado por un motor trifásico 220/380V a 50Hz, con inercia estándar, provisto de las protecciones térmicas por PTC en los devanados además de control de posición por encoder y freno para anclaje en cada una de las posiciones de trabajo.

Cuenta con las siguientes capacidades de trabajo:[13]

DENOMINACIÓN	UNIDAD	STANDARD
Grado de protección	IP	65
Inercia de partes móviles	Kgm ² .	3
Tiempo de cambio de herramienta(30°/45°/180°)	s	0.65/0.78/1.83
Tiempo e giro (30°/45°)	s	0.24/0.36
Peso sin disco	Kg	92
Temperatura admisible	°C	5-40
Potencia del motor	KVA	1.8
Presión del refrigerante en carga/durate giro	bar	7/14
Máximo torque tangencial	Nm	3500
Máximo torque axial de empuje	Nm	5200
Máximo torque axial de tiro	Nm	2500
Torque de desequilibrio	Nm	60

Tabla 3-6: Características torreta Duplomatic



3-13: Torreta y disco portaherramientas

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3.7. Sistema de Lubricación

El sistema de alimentación de refrigerante para el mecanizado cuenta con un depósito de 200 litros situado bajo la evacuación del extractor de viruta. Para impulsar el refrigerante, se usa una bomba centrífuga con motor integrado Voguel Spandau Pumpen, específica para fluidos contaminantes, de 260 l/min a 1 m c.a. La tracción es trifásica a 2840rpm, 1,8KW.

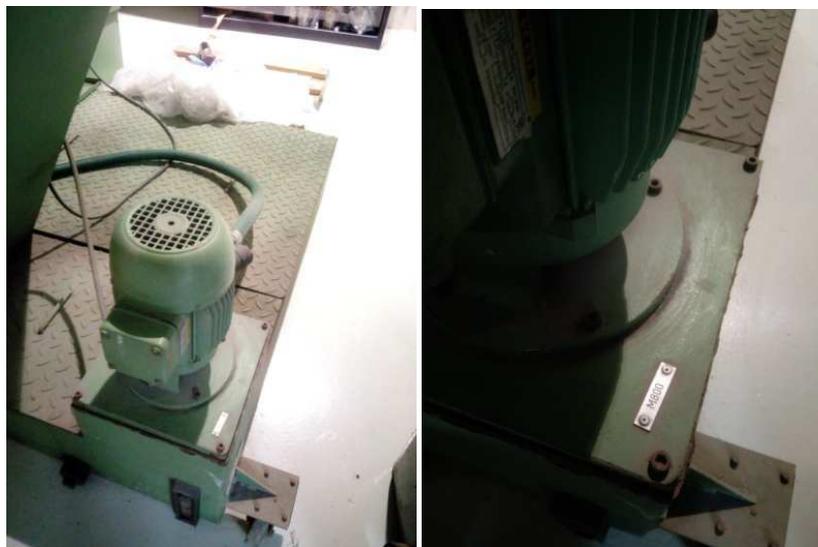


Figura 3-14: Bomba de alimentación de refrigerante Voguel

El sistema puede activarse tanto desde programación CNC como desde el panel de pulsadores, no obstante, el circuito ha estado vacío durante años, por lo que antes de su puesta en uso, dado que la taladrina está catalogada como sustancia contaminante, será necesario revisar por completo la instalación, ante la posibilidad de fugas o mal funcionamiento de la bomba.

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3.8. Extractor de viruta

La extracción de viruta se realiza mediante una cinta transportadora situada en la base de la cabina de mecanizado. La cinta, sale al exterior de la cámara por el brazo cubierto de extracción hasta la salida protegida por una compuerta oscilante para protección y fácil liberación ante posible acumulación de viruta. La cinta está traccionada por un motor trifásico ABB 0.37/0.45 KW solidario a una caja reductora.



Figura 3-15: Cinta en la cámara de mecanizado y brazo de extracción



Figura 3-16: Salida del extractor de viruta

El sistema, puede controlarse manualmente desde el panel de control. Independientemente del estado del panel, al ejecutar un programa de mecanizado, el extractor de viruta se activa automáticamente y detiene la marcha después de un minuto de la finalización de éste.

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3.9. Engrase

El sistema de lubricación está instalado en el panel del sistema hidráulico y se compone de un dispositivo de depósito y bomba integrados INTZA GE01 con capacidad de 3l de aceite ISO 3498 VG 68.

Desde el dispositivo, se extiende la red de latiguillos y distribuidores de lubricación hasta los siguientes puntos:

- Raíles de desplazamiento de los ejes
- Cajas reductoras de los servomotores
- Torreta portaherramientas
- Cinta del extractor de viruta
- Caña del contrapunto

En estos puntos se encuentran instaladas una serie de canaletas y tuberías para canalización del aceite sobrante.

El dispositivo cuenta con indicador de nivel de aceite y manómetro indicador de presión. Desde el PLC FAGOR, se envía una señal periódica de activación de la bomba de engrase, en función del grado de funcionamiento de los subsistemas.

A continuación se presentan los datos característicos de la central de engrase:[14]

DENOMINACIÓN	UNIDAD	STANDARD
Grado de protección	IP	54
Caudal	l/min	0.2
Presión máxima	bar	30
Temperatura de trabajo	°C	0.24/0.36
Tensión de alimentación:	V	230
Potencia del motor	W	100
Consumo de corriente	A	0.3
Velocidad nominal	r.p.m.	2800

Tabla 3-7: Características de central de engrase

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650



Figura 3-17: Central de engrase y placa de características del aceite



Figura 3-18: Presión de aceite y distribuidor

La lubricación del husillo quedaría fuera de esta red, realizándose mediante tornillos de engrase roscados en cada una de las tres correderas del plato.

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3.10. Hidráulico

3.10.1. Descripción

En el portón izquierdo de la parte posterior de la máquina, se encuentra situado el sistema hidráulico Goimendi, para alimentación del contrapunto y el cilindro del husillo para la función de amarre.



Figura 3-19: Grupo hidráulico

El sistema cuenta con un depósito de 100l de capacidad con aceite ISO 3498 HM 32, que es impulsado a **40 bar** mediante una bomba variable de palas MANNESMANN REXROTH 1PV2V7-13/10-20RE01MCO-10A1 con regulador de presión y caudal, traccionada por un motor ABB trifásico a 50/60Hz /IEC34/IP55/MBT 90 SD-4 CL F/1.1/1.5kw/1420/1700RPM/380-420VY/220/240VD.



Figura 3-20: Situación de la bomba y motor

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

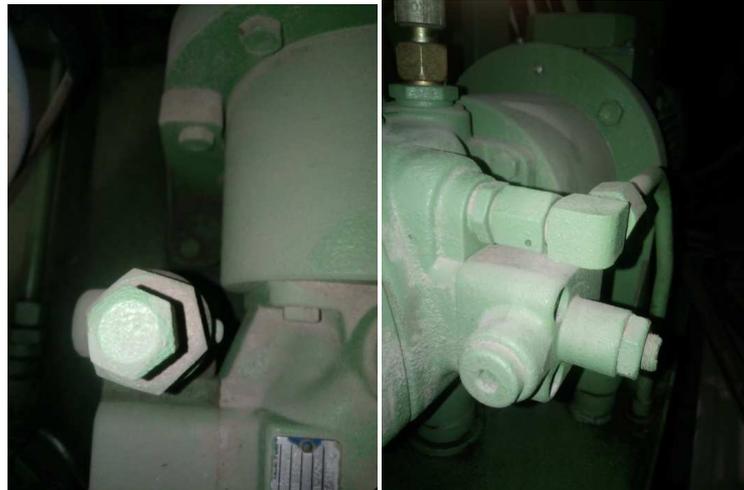


Figura 3-21: Reguladores de presión y caudal

El circuito principal se divide en dos ramas independientes controladas por electroválvulas MANNESMANN REXROTH 4WE6 D53/OFAG24NZ4 (hydronorma gu35-4-a) para mando de los cilindros del punto y amarre.



Figura 3-22: Electroválvulas seccionadoras

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

En estas ramas, se reduce la presión nominal a **35 bar**, mediante válvulas reductoras MANNESMANN REXROTH ZDR 6 DA2-42/75Y.



Figura 3-23: Válvulas reductoras

El sistema cuenta con detectores de presión tipo switch en la rama general y del contrapunto modelo MANNESMANN REXROTH 534622 HED 8 OA 10/50Z 14, estableciendo una presión por debajo de la cual el PLC bloquea la máquina (30bar para la rama general) De la misma forma, se manda la orden de parada en caso de que un detector de suciedad en el filtro del depósito envíe señal activa.



Figura 3-24: Switch por presión HED8

En la parte superior del panel, hay instalado para monitorización de las presiones del sistema, un manómetro DIN 16007 WIKA, conectado a una válvula

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

selectora de rama, de modo que con un único sensor pueda monitorizarse la presión en todas las ramas.

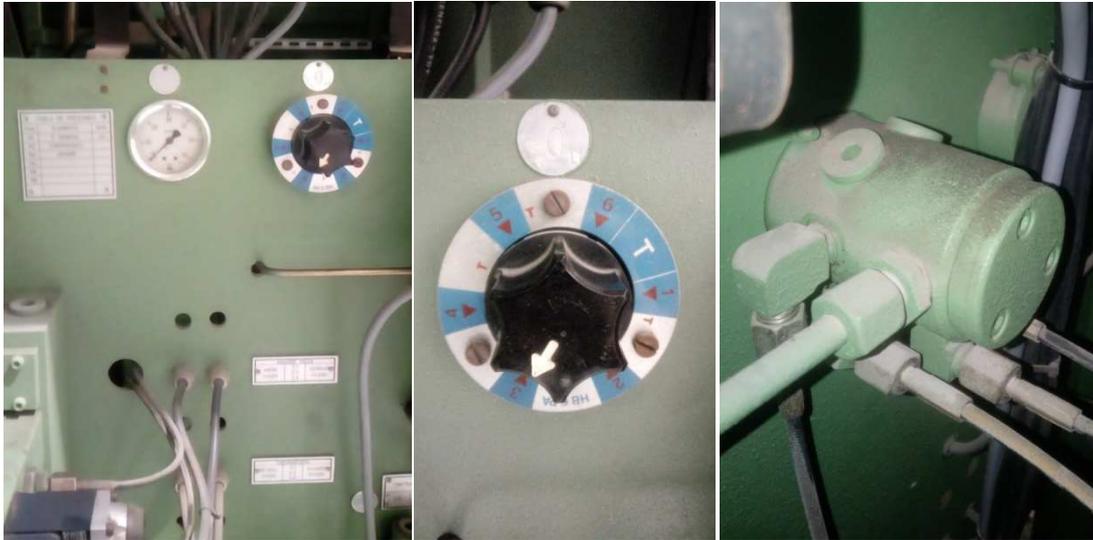


Figura 3-25: Manómetro y válvula selectora

3.10.2. Regulación del sistema hidráulico

El objetivo de este epígrafe es describir las operaciones posibles en el sistema para reducir la presión del amarre. A continuación se presenta un esquema del circuito hidráulico obtenido a partir de la inspección del sistema.

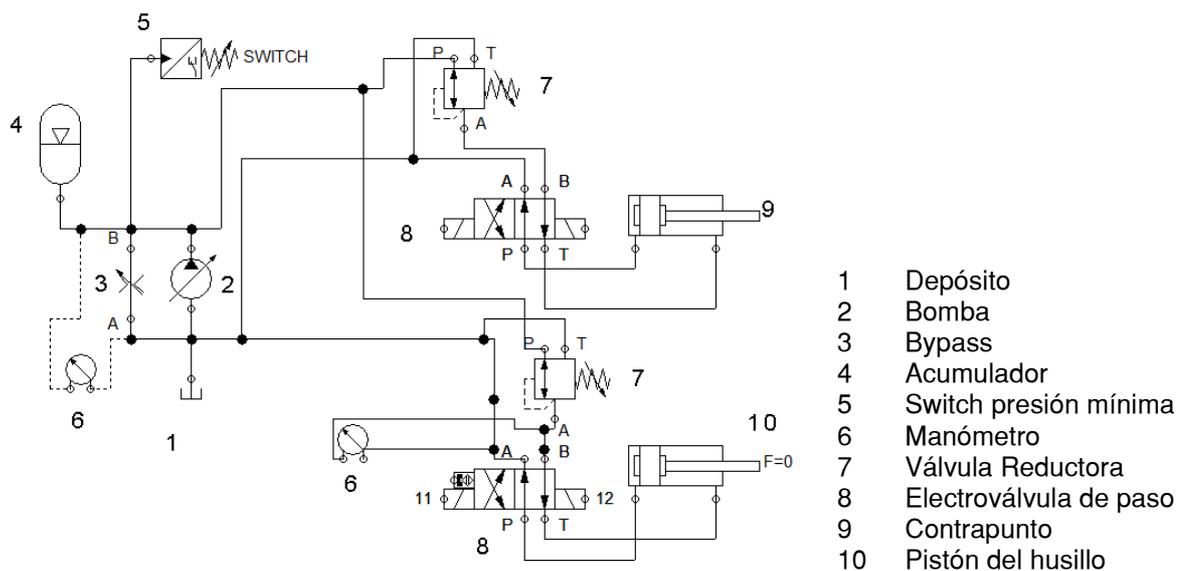


Figura 3-26: Esquema hidráulico

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

De donde se desprende que las opciones de regulación de presión son las siguientes:

1. Regulación sobre la Válvula de Bypass:

Esta válvula de bola, de 90º situada en la parte inferior del panel, sobre el depósito, con la bomba funcionando en valores nominales del sistema, puede reducir la presión hasta un valor de 10 bar. La ventaja del uso de esta válvula es su accesibilidad, sin embargo, se producen variaciones bruscas en la presión, por tanto se consigue una regulación poco precisa. Además, la rama y válvula de bypass presumiblemente no está dimensionada para conducción con presión, por lo que ante grandes caudales, podría verse dañada.

2. Regulación sobre la bomba:

La bomba de palas pilotada cuenta con un regulador de presión de funcionamiento. El dispositivo, cuenta con una varilla roscada, protegida y sellada con un juego de tuerca y contratuerca en la parte superior. Quitando la protección, y girando la varilla, se varía la presión de vacío a la salida a razón de 19 bar por vuelta completa. Con el sistema en carga, la variación es algo menor y cambia en función de la presión absoluta, consiguiendo una presión mínima de alrededor de 10 bar.

Regulando de esta forma, se obtiene una variación muy precisa de la presión, no obstante se sigue variando la presión general, quedando la máquina inmovilizada ante una presión inferior a la mínima de funcionamiento. Por otro lado, el dispositivo no es fácilmente accesible y para un funcionamiento prolongado, se necesita recolocar el juego de tuerca-contratuerca para evitar fugas de aceite.

3. Regulación sobre las válvulas reductoras:

Estas válvulas, localizadas en las ramas independientes del punto y el amarre (izquierda del panel), pueden reducir la presión sin repercutir en el otro dispositivo. Retirando el capuchón protector en el extremo de las válvulas, se accede a la tuerca de regulación, hexagonal, de métrica 10, pudiéndose reducir la presión a razón de 1 bar por cuarto de vuelta aproximadamente en sentido anti-horario.



3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

Éste último es el dispositivo idóneo para regular la presión ya que no afecta al switch del circuito general, y puede gobernarse de forma independiente a la presión del contrapunto.

A priori únicamente se podía regular hasta aproximadamente 15 bar por debajo de la presión de la rama general. No obstante lubricando el tornillo de regulación queda habilitada la válvula para poder llegar a cerrar el paso y llegar a los 0 bares.

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3.10.3. Componentes equivalentes

Dado que la máquina tiene más de 20 años, la casi totalidad de los elementos que componen el sistema hidráulico están descatalogados y apenas se encuentra información sobre ellos.

Para llegar a las conclusiones de funcionamiento obtenidas en el epígrafe anterior, se ha realizado una búsqueda a conciencia de elementos similares y a partir de sus parámetros de funcionamiento, deducir el funcionamiento del sistema completo.

A continuación se ofrece una relación de cada componente con su versión actualizada y un pequeño resumen de de sus parámetros:

BOMBA DE PALAS[15]

Elemento instalado: MANNESMANN REXROTH 1PV2V7-13/10-20RE01MC0-10 A1

Elemento equivalente: BOSCH REXROTH PV7-13/10-20RE01MC0-10

PARÁMETROS:

DENOMINACIÓN	UNIDAD	STANDARD
Sentido de rotación		Horario
Velocidad de giro	r.p.m.	900-1800
Potencia máxima de entrada	KW	5.8
Par máximo	Nm	90
Volumen	cm ³	20
Caudal máximo	l/min.	29
Caudal máximo de pérdidas	l/min.	1.9
Presión de entrada min/max	bar	0.8/2.5
Presión de salida	bar	100
Presión máxima de pérdidas	bar	2
Tipo de fluido		Aceite mineral
Temperatura del fluido	°C	-10/70
Viscosidad	mm ² /s	16/160
Peso	Kg	12.5

Tabla 3-8: Características Bomba del sistema hidráulico



3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

ELECTROVÁLVULAS [16]

Elemento instalado: MANESSMANN REXROTH 4WE6 D53/OFAG24NZ4A1

Elemento equivalente: BOSCH REXROTH L5010 L501 OC01 00

PARÁMETROS:

DENOMINACIÓN	UNIDAD	STANDARD
Caudal máximo	l/min.	25
Presión máxima P,A,T	bar	310
Presión máxima T	bar	250
Tipo de fluido		Aceite mineral
Temperatura del fluido	°C	-20/80
Viscosidad	mm ² /s	5/420
Peso	Kg	0.82
Tensión de alimentación	V	24
Consumo	W.	26
Corriente	A	1.10
Impedancia	Ω	22
Temperatura max. de los devanados	°C	150

Tabla 3-9: Características electroválvulas de mando

VÁLVULAS REDUCTORAS[17]

Elemento instalado: MANNESMANN REXROTH ZDR 6 DA2-42/75Y

Elemento equivalente: BOSCH REXROTH ZDR 6 DA2-42/75Y

PARÁMETROS:

DENOMINACIÓN	UNIDAD	STANDARD
Caudal máximo	l/min.	50
Presión máxima entrada	bar	315
Presión máxima Salida	bar	75
Presión máxima contrapresión T	bar	160
Tipo de fluido		Aceite mineral
Presión máxima T	bar	250
Temperatura del fluido	°C	-30/80
Viscosidad	mm ² /s	10-800
Peso	Kg	1.2

Tabla 3-10: Características válvulas reductoras



3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

SWITCH POR PRESIÓN[18]

Elemento instalado: MANNESMANN REXROTH 534622 HED 8 OA 10/50Z 14
Elemento equivalente: BOSCH REXROTH HED 8 OA-20/50 K14

PARÁMETROS:

DENOMINACIÓN	UNIDAD	STANDARD
Presión de entrada min/max	bar	350
Presión de disparo	bar	5-50
Variación de presión por rotación	bar	19
Tipo de fluido		Aceite mineral
Temperatura del fluido	°C	-25/80
Viscosidad	mm ² /s	10-800
Peso	Kg	12.5
Grado de protección	IP	65
Tensión de alimentación	V DC	24
Corriente mínima	mA	1
Tiempo de acción	ms	<5
Ratio de conmutaciones	1/h	7200

Tabla 3-11: Características Switch de presión

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3.11. Distribución de la instalación eléctrica

La totalidad de los elementos de protección, adaptación de tensiones, relés y contactores se encuentran situados en los portones traseros (Izquierdo y central). Si bien, existen cajas colectoras para conexión y agrupación de los elementos más alejados. Estas cajas son las denominadas X800 para los sistemas de extracción de viruta y refrigeración, X600 para el sistema hidráulico y X2900 para el conector serie de la consola.



Figura 3-27: Caja auxiliar de conexiones X600

En la parte superior del portón central, se encuentra el contactor principal de seguridad, y switch de desconexión QS200 modelo N6 160 V de Moeller que impide la apertura del armario con la máquina en funcionamiento. Debajo de éste se encuentra el módulo de fusibles para alimentación de sistemas auxiliares monofásicos F200 130/133 -6A a través del transformador TC200 de 380-110V//250VA→220V/2000VA



Figura 3-28: Transformadores de instrumentación, alimentación monofásica, contactor principal y fusibles

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

En la parte izquierda del cuadro, se encuentran los interruptores magnetotérmicos de protección de los motores QM 600-3000, modelo 3VU13 00-1M de Siemens y los fusibles para protección de los subsistemas. Debajo de estos, se encuentran los contactores de accionamiento de los motores, KM 600-3000, 3FT2001-0BB0 de Siemens y bajo estos, los relés Omron de adecuación de la instrumentación y actuadores de la máquina, KA 800-3300 tipo MY2N D-24V DC.



Figura 3-29: Magnetotérmicos (QM) y contactores (KM)



Figura 3-30: Contactores auxiliares de instrumentación y accionamientos Omron

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

En la parte inferior se encuentra la regleta principal de interconexión de conectores y controladores, y en la parte inferior izquierda se encuentran las regletas auxiliares XT110 y XT109 de entrada y salida del control Fagor.

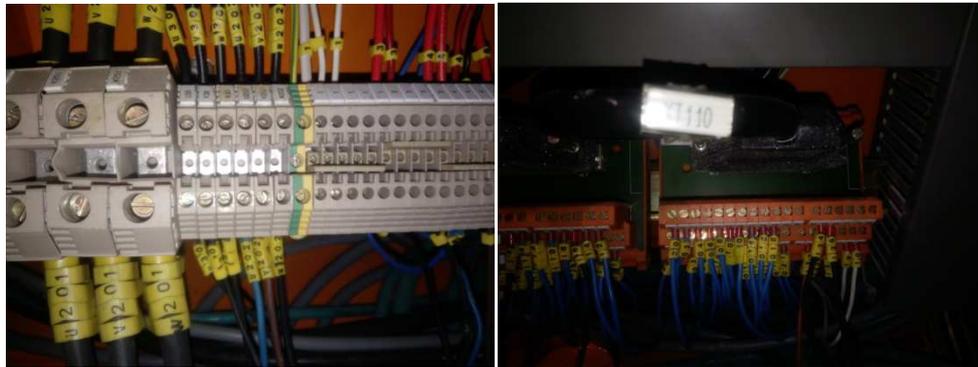


Figura 3-31: Regleta general y auxiliares I/O XT109 y 110

Justo a la izquierda de éste, se encuentra el KM2000, contactor de accionamiento del regulador del motor principal, modelo 3FT50 22-0AF0 de Siemens.



Figura 3-32: Contactor del regulador principal

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

Los motores la torreta, y los subsistemas de refrigeración y extracción de virutas, dado que su cableado se extiende por buena parte de la máquina, cuentan con filtros RC para cumplir con las especificaciones de CEM.



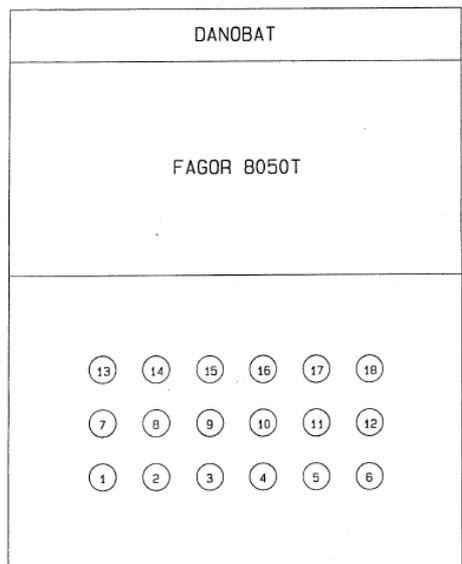
Figura 3-33: Filtros RC trifásicos

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3.12. Panel de pulsadores

Situado en la consola de mandos, debajo del panel de control FAGOR, contiene las opciones de mando directas del sistema de refrigeración y extracción de viruta, además de los pulsadores de marcha, parada, parada de emergencia, y rearme de ejes.[6]

MARCA	FUNCIÓN
1	Seta emergencia general
2	Pulsador rojo paro general
5	Pulsador rojo paro refrigerante
7	Pulsador azul rearme de ejes
8	Pulsador verde marcha general
11	Pulsador verde marcha refrigerante
13	Piloto rojo alarma general
16	Selector 3 posiciones extractor
17	Selector 2 posic. Bloques condicionales



NOTA: La función de rearme de ejes tiene como objetivo la supresión de los finales de carrera del recorrido de los ejes, para su recolocación en caso de emergencia por salida de recorrido. Para activar esta función es necesario mantener presionado el pulsador mientras se da tensión en el interruptor general del portón central en la parte trasera de la máquina.

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3.13. Control CNC

El sistema de control numérico instalado en la máquina es el FAGOR 8050T 40IN/24OUT/EEPROM 16K /RAM 128K.

El sistema se compone de 3 elementos diferenciados:

- Conjunto monitor-teclado
- Panel de control
- Unidad Central

Los dos primeros, con los que debe interactuar el operario, se encuentran en la consola de control general del torno, sobre el brazo móvil en la parte frontal izquierda de la máquina. En conjunto monitor-teclado se realiza la navegación del sistema, acceso a parámetros, programas, comandos MDI, etc. Mientras que desde el panel de control se pueden manejar las funciones básicas de avance y accionamiento del husillo activando previamente el modo manual.

La unidad central, compuesta por los módulos de alimentación ventilación, CPU y ejes, se encuentra situado en el portón central de la parte posterior del torno.



Figura 3-34: Control Fagor. Panel, módulos y ubicación de la batería

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3.13.1. Módulos de ventilación y alimentación

El ventilador de la unidad central, situado en la base de ésta, está alimentado a 24V DC, mientras que el módulo de potencia se encuentra alimentado a 230V AC. Este segundo módulo proporciona suministro al resto.

En la parte inferior del módulo de alimentación, cubierta por una carcasa plástica rectangular de color negro, se encuentra situada la batería para mantenimiento de la memoria RAM cuando el sistema queda sin alimentación.[19]

3.13.2. Módulo de CPU

El módulo de CPU será el encargado de realizar todas las funciones del CNC (edición, ejecución, simulación, visualización, etc.), así como gestionar la información del resto de los módulos y generar las señales de vídeo para el monitor.

Las EPROMs que contiene el software del sistema se encuentran ubicadas en un cartucho extraíble, con objeto de facilitar las actualizaciones de software en el futuro.

Este módulo está conectado mediante sus conectores X1 y X2 tipo SUB-D al teclado y monitor del panel respectivamente. Se cuenta con terminales adicionales X3 y X4 para conexión RS232 y RS422.[19]

3.13.3. Módulo de ejes

El módulo de ejes se encarga de tratar las señales procedentes de los sistemas de captación, pudiendo controlar hasta 6 ejes, encoder del cabezal y volante electrónico simultáneamente.

Este módulo dispone además de un PLC que al disponer de su propia CPU es capaz de interpretar en tiempo real el programa de mando diseñado por el usuario.

Para comunicarse con el exterior este módulo dispone de:

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

4 Entradas de contaje que admiten señales cuadradas, cuadradas diferenciales y senoidales.

4 Entradas de contaje que admiten señales cuadradas y cuadradas diferenciales.

8 Salidas analógicas de consigna a los servosistemas.

24 Salidas digitales optoacopladas, que serán comandadas por el PLC.

40 Entradas digitales optoacopladas, que son leídas por el PLC.

8 Entradas analógicas de libre uso para sistemas de control, vigilancia y supervisión.

1 Entrada de palpador digital.

A sus conectores XT109 y 110 en el DANUMERIC llegan las siguientes entradas y salidas:

SALIDA N°:	PIN N°	DENOMINACIÓN
O01	XT110-2	
O03	XT110-3	REFRIGERANTE
O05	XT110-4	GIRO DERECHAS EXTRACTOR
O07	XT110-5	LIBERAR FRENO EJE X
O09	XT110-6	LIBERAR REGULADOR EJE Z
O11	XT110-7	
O13	XT110-8	ABRIR PUNTO
O15	XT110-9	FRENO TORRETA
O17	XT110-10	GIRO DERECHAS TORRETA
O19	XT110-11	ABRIR PLATO
O21	XT110-12	AVANCE BULON CONTRAPUNTO
O23	XT110-13	
O02	XT110-21	ALARMA GENERAL
O04	XT110-22	MANUAL
O06	XT110-23	ENGRASE
O08	XT110-24	LIBERAR REGULADO EJE X
O10	XT110-25	LIBERAR REGULADOR CABEZAL
O12	XT110-26	CERRAR PLATO
O14	XT110-27	CERRAR PUNTO
O16	XT110-28	ELECTROIMAN TORRETA
O18	XT110-29	GIRO IZQUIERDAS TORRETA
O20	XT110-30	
O22	XT110-31	
O24	XT110-32	PEDAL ABRIR PUNTO

Tabla 3-12: Salidas PLC

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

ENTRADA N°: PIN N°	DENOMINACIÓN
I01 XT109-2	NO EMERGENCIA
I03 XT109-3	PRESION HIDRAULICO
I05 XT109-4	MARCHA REFRIGERANTE
I07 XT109-5	TERMICO EXTRACTOR CORRECTO
I09 XT109-6	NIVEL BAJO ENGRASE
I11 XT109-7	
I13 XT109-8	N<N MINIMA
I15 XT109-9	REGULADOR EJE Z CORRECTO
I17 XT109-10	PUNTO REFERENCIA EJE Z
I19 XT109-11	POSICION TORRETA PESO 2
I21 XT109-12	POSICIÓN TORRETA PESO 8
I23 XT109-13	TERMISTOR TORRETA
I25 XT109-14	TORRETA BLOCADA
I27 XT109-15	PEDAL PLATO
I29 XT109-16	PLATO ABIERTO (INTERIOR)
I31 XT109-17	
I33 XT110-14	PEDAL CERRAR PUNTO
I35 XT110-15	PRESOSTATO PUNTO CERRADO
I37 XT110-16	LIMITE CONTRAPUNTO
I39 XT110-17	
I02 XT109-21	MAQUINA EN MARCHA
I04 XT109-22	FILTRO NO SUCIO HIDRÁULICO
I06 XT109-23	PARO REFRIGERANTE
I08 XT109-24	PRESION ENGRASE
I10 XT109-25	MODULO DE VIGILANCIA CORRECTO
I12 XT109-26	REGULADOR CABEZAL CORRECTO
I14 XT109-27	REGULADOR EJE X CORRECTO
I16 XT109-28	PUNTO REFERENCIA EJE X
I18 XT109-29	POSICION TORRETA PESO 1
I20 XT109-30	POSICION TORRETA PESO 4
I22 XT109-31	PARIDAD TORRETA
I24 XT109-32	STROBE TORRETA
I26 XT109-33	CONTROL GIRO TORRETA
I28 XT109-34	PLATO ABIERTO (EXTERIOR)
I30 XT109-35	BLOQUES CONDICIONALES
I32 XT109-36	
I34 XT110-33	BULON CONTRAPUNTO
I36 XT110-34	
I38 XT110-35	
I40 XT110-36	

Tabla 3-13: Entradas PLC

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3.13.4. Comunicación RS232

Como se ha mencionado en los apartados anteriores, el módulo de CPU cuenta con un puerto serie para comunicación con otros sistemas como una CPU externa.

A la hora de introducir parámetros nuevos en el control Fagor, o simplemente la creación o modificación de un programa CNC, esa conexión agiliza la operación, ya que contando con el software adecuado, y estableciendo comunicación entre un ordenador y el módulo CPU, se pueden intercambiar directamente archivos o modificarlos desde un teclado estándar, de forma más cómoda que directamente desde el teclado del panel frontal.

Esta acción cobra aún mayor importancia cuando se precisa la restauración de parámetros de la máquina, bien por una actualización, o bien, como ha ocurrido durante la realización de los ensayos con el torno, ante una falta de alimentación de la RAM, mientras la máquina se encontraba desconectada de la red, por fallos en la batería que se menciona en el apartado 1 de este capítulo.

El software compatible con la versión del CNC ofrecido por Fagor es el WINDNC 5.1. Aunque este programa ofrece gran cantidad de prestaciones, como control remoto de teclado en tiempo real, envío de MDI, y gestión de archivos CAD-CAM, este apartado se centrará en los pasos a seguir para establecer comunicación con el control Fagor y poder gestionar tanto programas de mecanizado CN como tablas de parámetros de la máquina.

En primer lugar, se deben comprobar los parámetros de comunicación RS232 guardados en la máquina. Para ello, desde el panel frontal del control se debe acceder a Tablas/Parámetros Máquina/Serie/RS232, donde deben aparecer los siguientes valores:

P000	7
P001	1
P002	0
P003	0
P004	1
P005	YES
P006	NO
P007	0
P008	0
P009	0
P010	ON

Tabla 3-14: Parámetros para establecimiento de comunicación RS232

En caso de que no sea así se deberá editar la tabla.

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

Una vez guardados los parámetros, debe conectarse un cable RS232 desde el módulo CPU del control Fagos hasta el ordenador, o en caso de que el equipo no cuente con este tipo de puerto, se podrá usar un adaptador RS232-USB. En este caso se ha utilizado un Startch con drivers actualizados Prolific.

El esquema de cableado correcto para la conexión, difiere del usado frecuentemente de cruce de TxD y RxD, debiéndose realizar como se muestra en la figura:

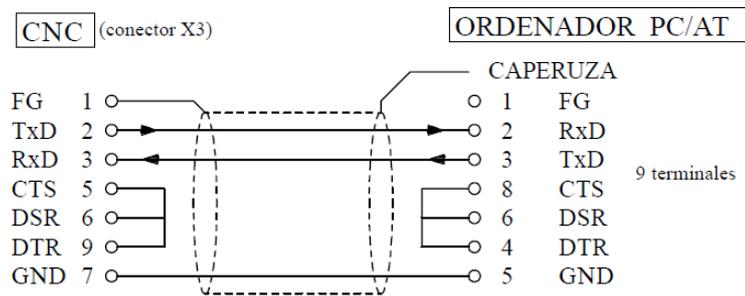


Figura 3-35: Esquema de conexión RS232[19]

Realizada la conexión del cable y comprobado desde el panel de control de Windows/administrador de dispositivos, el puerto en el que se ha introducido el USB, se puede iniciar el software WINDNC.

En primer lugar debe crearse una máquina, desde SETUP, indicando los parámetros que se solicitan, siendo la velocidad de transmisión por defecto en la máquina de 9600 baudios, y clicando aceptar y ESC para volver a la pantalla principal.



Figura 3-36: Configuración WINDNC

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

En esta aparecerá la nueva máquina generada. Clicando sobre ella y pulsando en conectar, se establecerá comunicación con el control Fagor.



Figura 3-37: Máquinas creadas

A partir de este punto, clicando en ficheros se pueden intercambiar datos entre la CPU Fagor y el PC, editar, crear ficheros nuevos, etc. EL programa sólo mostrará los ficheros del tipo que está seleccionado en la opción “ver”

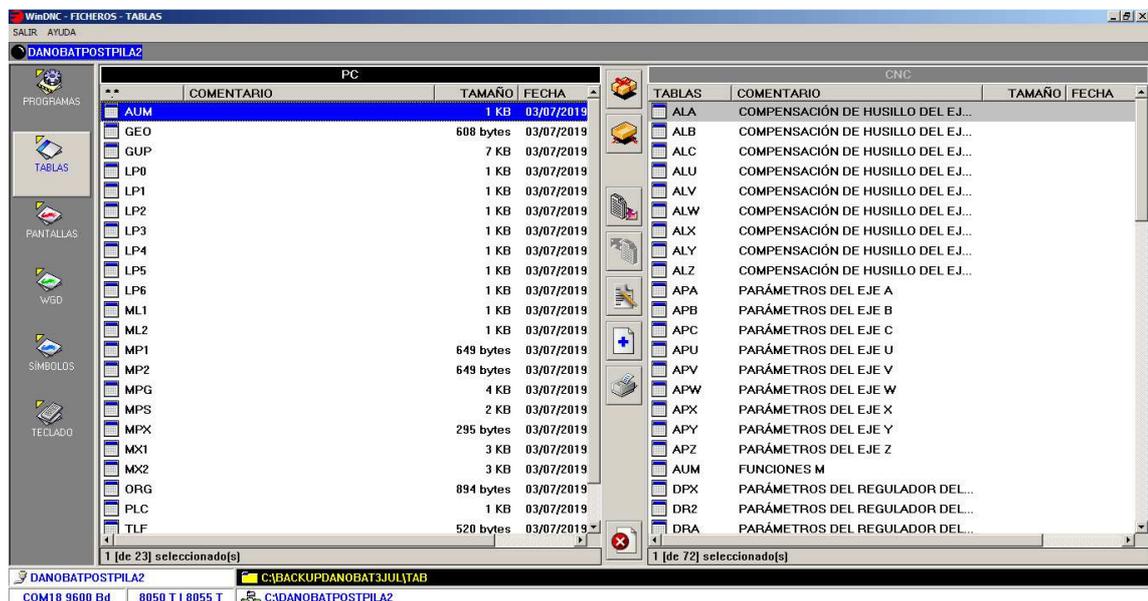


Figura 3-38: Ficheros de tablas. A la izquierda, directorio de trabajo del PC. A la derecha tablas guardadas en el CNC



3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3.13.5. Proceso de restauración de la máquina

Durante la realización del TFG, se produjo la pérdida de datos del CNC por pérdida de alimentación de la RAM. Después de una serie de intentos de recuperación, se comprobó que seguir los siguientes pasos, se evitan problemas de transmisión y compilación de programas:

- 1-Generar una nueva máquina en WINDNC
- 2-Copiar desde la carpeta de respaldo, todas las tablas a la memoria del DNC. (Se producirá error al copiar las tablas que no están definidas aún por el programa del PLC)
- 3-Enviar el programa y conjunto de mensajes del PLC
- 4-Reiniciar la máquina
- 5-Enviar las tablas con error del punto 2: GEO, ML1, ML2, MX1, MX2, ORG
- 6-Al reiniciar la máquina de nuevo, acceder al control manual y mediante MDI establecer el tipo de amarre M45/M46 -Exterior/Interior

En este punto la máquina queda restablecida.

3. Descripción Danobat Danumeric NI-650

3.13.6. Funciones M definidas en la máquina:

Las funciones M definidas en un determinado CNC pueden variar de una máquina a otra, aunque suelen conservarse las funciones estándar de M00 a M09. Para el DANOBAT NI-650, las funciones auxiliares codificadas son las siguientes:

Nº	DESCRIPCIÓN
M00	PARO PROGRAMA
M01	PARO OPCIONAL
M02	FIN DE PROGRAMA
M03	GIRO DERECHA CABEZAL
M04	GIRO IZQUIERDA CABEZAL
M05	PARO CABEZAL
M08	MARCHA REFRIGERANTE
M09	PARO REFRIGERANTE
M19	PARADA ORIENTADA CABEZAL
M21	AMARRAR PIEZA
M22	SOLTAR PIEZA
	FIN DE PROGRAMA Y
M30	REOBINADO
M45	AMARRE EXTERIOR PIEZA
M46	AMARRE INTERIOR PIEZA
M51	AVANCE PUNTO
M52	RETROCESO PUNTO
M53	AVANCE BULON CONTRAPUNTO
	RETROCESO BULON
M54	CONTRAPUNTO

Tabla 3-15: Funciones M codificadas en el torno

4. Estado de Calibración

4. Estado de Calibración

4.1. Procedimiento de Calibrado

El torno, en primera instancia, contaba con dos herramientas instaladas de mecanizado exterior: una de acabado en la posición 1 del revólver de la torreta y una herramienta de roscado en la posición nº 7.

Accediendo al asistente de configuración de geometría de herramientas del control Fagor, se comprueba que los parámetros introducidos no se corresponden con las herramientas instaladas. Accediendo también a las tablas de modificadores de cada herramienta, se comprueba que estas dos tampoco se encuentran alineadas entre sí, por lo que se opta por instalar dos herramientas más en el revólver hasta completar las posiciones de mecanizado exterior, e iniciar la configuración y calibración de todas las herramientas.

Desde el asistente de geometría, donde se muestran los parámetros de la tabla de modificadores de posición:

- T: Nº de herramienta y posición en el revolver
- D: Nº Identificador de modificador
- X: Desplazamiento en el eje X
- Z: Desplazamiento en el eje Z

Se pueden modificar los siguientes parámetros descritos en el esquema:

- R: Radio de redondeo de la punta
- NOSEA: Ángulo de la herramienta
- NOSEW: Longitud del perfil de la herramienta
- CUTA: Ángulo de corte

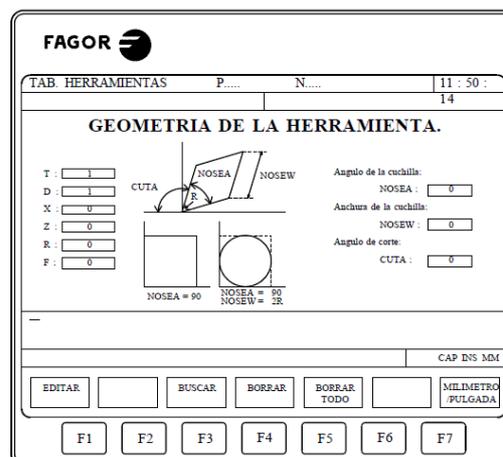


Figura 4-1: Pantalla de geometría de herramienta

4. Estado de Calibración

Estos últimos parámetros vienen determinados por la geometría de la plaquita de corte, y pueden ser suministrados por el fabricante o medidos con calibre y transportador de ángulos.

Para la configuración de los parámetros X y Z se puede acudir directamente a la tabla de modificadores en caso de que se conozca de antemano la modificación necesaria.

En este caso, como se va a realizar la calibración desde cero, se toma como base el método de calibración sin palpador descrito en el manual de operación del Fagor 8050T.[20]

Tal método indica que dentro del modo manual, accediendo a medición, se puede realizar la calibración de la herramienta como sigue:

- A partir de una pieza de dimensiones conocidas, en este caso un redondo de 25mm de diámetro colocado sobre las garras con una longitud de 60mm, con el origen Z establecido en su extremo.
- Elegir eje para calibración (softkey “X” o “Z”)
- El CNC solicita la cota de la pieza patrón en el eje seleccionado (en este caso 25 para el eje X y 0 para el eje Z).
- Pulsando “ENTER” el CNC asume el valor.
- Mover la herramienta hasta que haga contacto con la pieza.
- Pulsar softkey “CARGAR”.
- En este punto el CNC realiza el cálculo de la diferencia de posiciones y guarda el valor correspondiente en la tabla de modificadores.

4. Estado de Calibración

Siguiendo estos pasos, se obtiene la siguiente tabla de calibración para las herramientas de corte exterior:

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN	MODELO	MARCA	NOSEA	NOSEW	CUTA	D	X	Z	R
T1	ACABADO	NLVCR2525M16	kennametal	80	16	95	1	108,7485	0,0000	0,8
T2	interior									
T3(izq.)	RANURADO		safe y	90	12	90	3	99,1878	15,4385	6
T4	interior									
T5	DESBASTE		kennametal	80	13	95	5	10,2387	1,0961	0,8
T6	interior									
T7	ROSCADO	NSR2525M3	kennametal	60	5	60	7	10,2589	3,7639	0
T8	interior									

Tabla 4-1: Tabla de calibración de herramientas

Cabe destacar que en la posición 3 se encuentra instalado un porta-herramienta VDI de corte a izquierdas. Esto implica que si la herramienta se coloca a derechas, es decir, con la misma orientación que el resto, no quedará alineada con el eje de giro, por tanto, en caso de mecanizar con la herramienta 3 circular de ranurado, se deberá invertir el sentido de rotación del husillo.



Figura 4-2: Herramienta T3

El motivo por el que se ha realizado únicamente la calibración de las herramientas de corte exterior es simplemente la imposibilidad de amarrar piezas de suficiente diámetro, como para usar las herramientas de mandrinado con las que se cuenta.

4. Estado de Calibración

4.2. Comprobación de calibrado

Para comprobar la calibración realizada, se procede a realizar una operación de cilindrado de la pieza amarrada. Con la siguiente rutina de programación de CN con coordenadas incrementales, se consigue programar de forma sencilla un cilindrado donde cambiando únicamente la coordenada inicial puede realizarse el cilindrado para diferentes piezas.

N001 (ORGX54=0, ORGZ54=219.882)	Definición del cero pieza
N005 G54	Selección de origen
N006 T5 D5	Selección de herramienta y modif.
N010 G95 F0.1	definición del avance
N015 S500 M04	Velocidad y sentido de giro
N020 G00 Z5	Avance rápido eje Z
N030 G00 X25	Avance rápido eje X
N040 G91	Coordedadas incrementales
N050 G01 X-0.1	Profundidad de corte
N060 G01 Z-35	Avance eje Z
N070 G01 X+5 Z+5	Retroceso de la herramienta
N080 G00 Z+30	Vuelta a la posición inicial
N090 M30	Fin de programa

Tabla 4-2: Programa para calibración

A la hora de realizar un mecanizado de prueba sobre la pieza amarrada, se observó un calado mayor en una sección circular de la pieza, quedando una diferencia de diámetros máximo y mínimo de alrededor de una décima de milímetro.



Figura 4-3: Probeta mecanizada

4. Estado de Calibración

Para descartar que la pieza no fuese totalmente recta, o que el amarre no estuviese realizado de forma correcta, se realizan diferentes amarres, quedando siempre el aumento de calado en el mismo ángulo con respecto al plato de garras.

De esto se desprende que el centro de amarre probablemente no se corresponde con el centro de rotación. Para comprobar este hecho, se ha seguido el siguiente procedimiento, de forma que se eliminen las posibles fuentes de error del amarre y rectitud de la pieza:

- Amarrar la pieza con la garra 1 en posición inferior vertical
- Palpar con un reloj comparador sobre la pieza
- Alinear la garra 1 con el reloj comparador y definir el 0 de referencia en este punto.
- Alinear el resto de garras con el reloj comparador y anotar valores.
- Liberar y volver amarrar la pieza girada un determinado ángulo con respecto del ensayo anterior. Repetir proceso en 5 posiciones diferentes (en el momento de amarre, siempre la misma posición de garras)
- Repetir el Proceso realizando el amarre con las otras garras en posición inferior.



Figura 4-4: Medida de descentrado con reloj comparador

4. Estado de Calibración

Se obtuvieron los siguientes resultados en centésimas de milímetro:

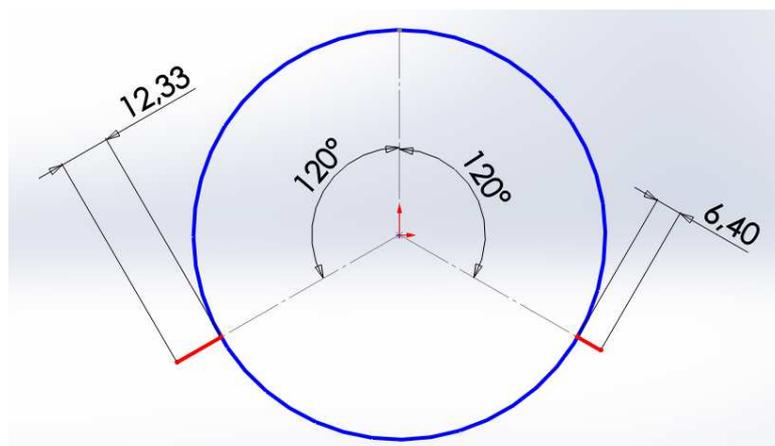
	MEDIDA EN GARRA 1	MEDIDA EN GARRA 2	MEDIDA EN GARRA 3
AMARRE DESDE GARRA 1	0	5	12
	0	4	10
	0	6	13
	0	6	12
	0	7	14
AMARRE DESDE GARRA 2	0	8	13
	0	8	13
	0	7	12
	0	6	12
	0	6	11
AMARRE DESDE GARRA 3	0	6	12
	0	7	13
	0	7	14
	0	6	12
	0	7	12
PROMEDIO	0	6.4	12.33

Tabla 4-3: Datos descentrado de garras

A la vista de los resultados, pese a que no es posible averiguar la desviación exacta, ya que no puede asegurarse que el reloj comparador estuviese orientado al centro, dado que la relación de medidas en cada garra se mantiene, aunque se gire la pieza, y se varíe la posición inicial de amarre, el error achaca a una desviación de las garras de amarre.

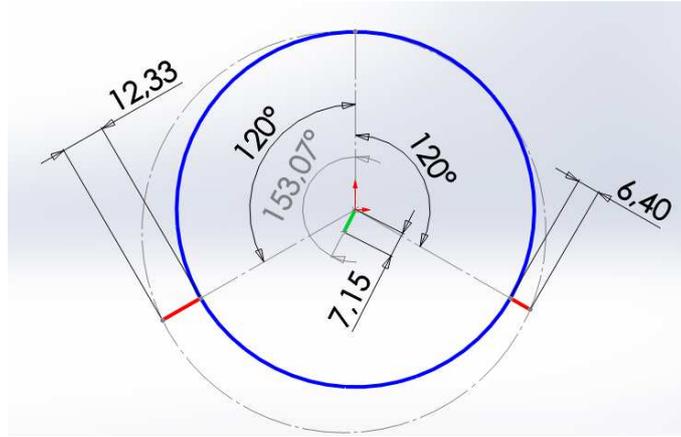
Con un sencillo cálculo gráfico, puede hacerse una estimación del ángulo y distancia de descentrado:

Partiendo del perfil de la pieza (azul) se definen los valores de la medida en cada una de las garras (rojo)



4. Estado de Calibración

Trazando una circunferencia que pase por los tres puntos de medida, se puede encontrar el centro de giro, donde la diferencia de los tres ángulos será la línea de descentrado:



Estimándose un descentrado de 7,15 centésimas de milímetro con un ángulo respecto de la garra 1 de 153,07°.

Nótese que la sección no se corresponde en escala con las medidas de desviación. Esto se ha realizado a propósito para facilitar la percepción del problema, ya que para el cálculo del descentrado no afecta el diámetro de la circunferencia.

5. Diseño de Utilaje para Amarre de anillos

5. Diseño de Utillaje para Amarre de Anillos

5.1. Descripción del problema. Selección de Garras

Partiendo de las garras instaladas en el plato de amarre, resulta imposible amarrar piezas de un diámetro mayor de 25 mm.

Cada garra cuenta con 2 orificios pasantes para unión de ésta a las correderas del plato. En el caso de las denominadas garras altas, como es el caso de las instaladas, la separación entre estos orificios es suficientemente alta como para que el orificio exterior salga del límite de anclaje como se muestra en la figura:



Figura 5-5-1: Amarre previo

Aunque se mecanizasen las garras instaladas, no se podrían amarrar diámetros exteriores superiores a 40mm, dado que se comenzaría a mecanizar sobre los orificios pasantes, generando una geometría inválida para el correcto amarre de un anillo.

Descrito el problema, se hace latente la necesidad de adquirir nuevas garras para poder realizar amarres en mayores diámetros y además incluir amarres interiores para cilindrado exterior.

En el mercado existe gran variedad de garras que difieren en geometría, por ejemplo garras específicas para amarre interior, material, como las denominadas garras duras o garras blandas de acero dulce mecanizable para adaptación de geometría, el tipo de anclaje...

Para el caso de este torno, las premisas a seguir a la hora de la selección de las garras son las siguientes:

5. Diseño de Utillaje para Amarre de Anillos

- Deben inducir el menor error posible en el amarre ya que se pretenden realizar amarres para mecanizado de anillos de precisión.
- Deben limitar lo menor posible el rango de diámetros a mecanizar.
- Las garras tienen que cumplir con los requisitos de anclaje instalado, siendo estos los siguientes:
 - Dentado de 90° a 1/16 pulgadas de paso
 - Orificios pasantes aptos para tornillos DIN 912 M12

Las garras blandas aportan menor error en el mecanizado de la pieza, ya que se produce una mejor distribución de las fuerzas de amarre, evitando deformaciones y aumentando la superficie de contacto.

Por otro lado, una forma de reducir la limitación de diámetros de amarre es que los orificios pasantes para anclaje de las garras se encuentren lo más cercanos posible entre sí.

Siguiendo estas premisas se han seleccionado las garras GB16 de Unceta[21] recomendadas para tornos Hidram-Galvez, garras de acero dulce mecanizables, con distancia mínima entre pasantes y que cumplen con las especificaciones del plato.

5.2. Modelado de garras estándar y plato

A partir de las medidas de las garras escogidas, mediante SolidWorks se ha realizado el modelado de éstas con el fin de proponer modelos de amarre tanto exterior como interior. Para poder tener una visión de conjunto y estudiar las incompatibilidades geométricas que pueden existir durante el amarre, también se ha realizado un modelo aproximado del plato instalado.

5. Diseño de Utillaje para Amarre de Anillos

5.2.1. Garras GB16

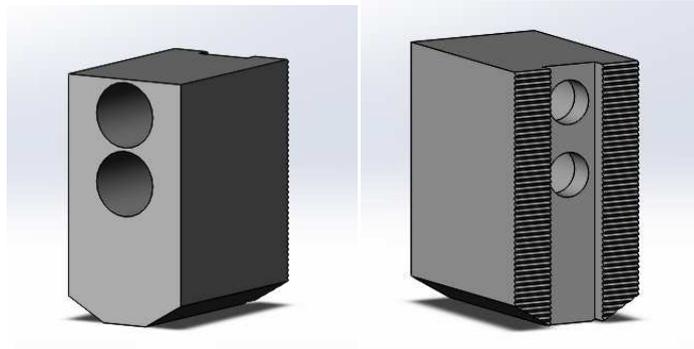


Figura5-5-1: Garra GB-16

5.2.2. Base del plato

A partir del plano del catálogo da serie HUSL de platos Gálvez y medidas realizadas sobre la máquina, se ha realizado un modelo aproximado de la base del plato, el cual sirve como base para el ensamblaje del resto de piezas móviles instaladas sobre ésta.

Si bien, la simplificación no cubre partes incluidas en el dispositivo como la tapa frontal de protección y los mecanismos de accionamiento, es válida para definir los movimientos de las correderas y las limitaciones en el recorrido de éstas.

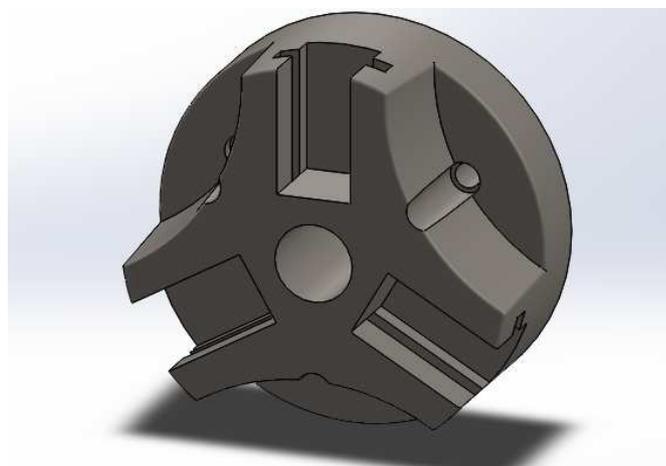


Figura 5-5-2: Base del plato

5. Diseño de Utillaje para Amarre de Anillos

5.2.3. Correderas

De la misma forma, se ha realizado el modelado de estas piezas, encargadas de transmitir el movimiento de accionamiento a las garras y aportar una sujeción sólida de estas.

En esta pieza se define de forma fidedigna el paso del dentado de anclaje, así como las dimensiones del carril donde se sitúan las tuercas específicas para el plato.

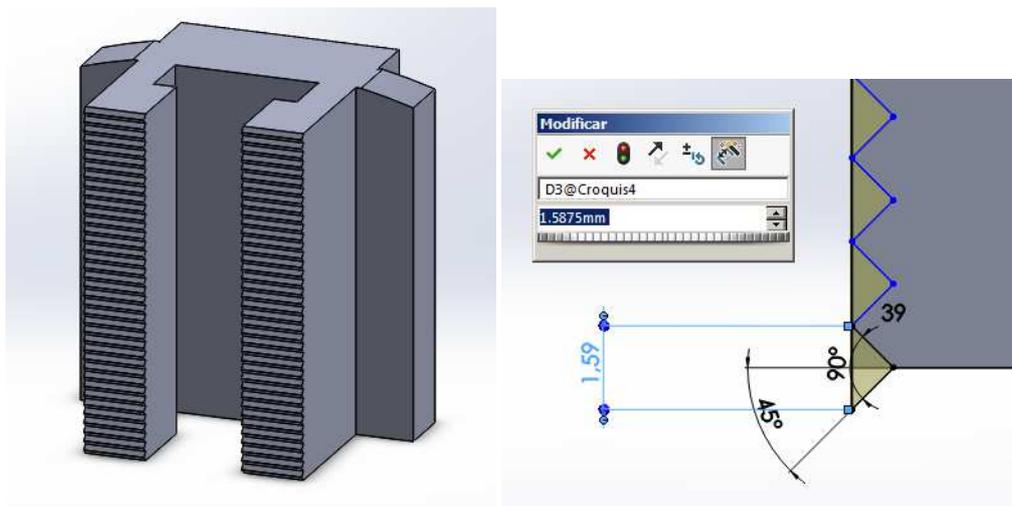


Figura5-5-3: Corredera. Paso normalizado 1/16'

5.2.4. Tuercas de anclaje

A partir del catálogo de accesorios para platos Gálvez, se ha modelado la tuerca T16, usada en el plato instalado, con rosca interior M12.

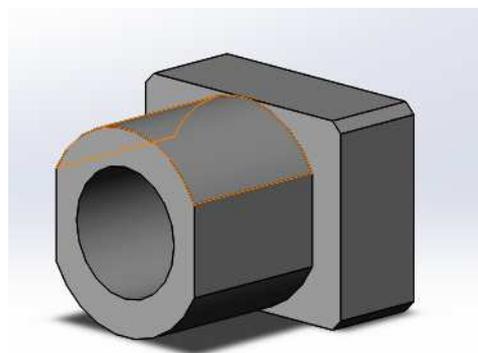


Figura5-5-4: Tuerca T16

5. Diseño de Utillaje para Amarre de Anillos

5.2.5. Tornillos DIN 912 y DIN 6912

El plato instalado cuenta con tornillos DIN 912 de cabeza hexagonal hueca. No obstante, para la realización de otro tipo de amarres, como se mostrará los puntos siguientes, será necesario usar tornillos DIN 6912 con cabeza reducida.

Estos tornillos se pueden encontrar ya modelados en el ToolBox de SolidWorks.

5.2.6. Ensamblaje del plato

Para el ensamblaje del conjunto, se han establecido las restricciones de movimiento necesarias para determinar el movimiento correspondiente con la realidad de las correderas sobre el plato, y limitando su recorrido máximo de 5,2 mm.

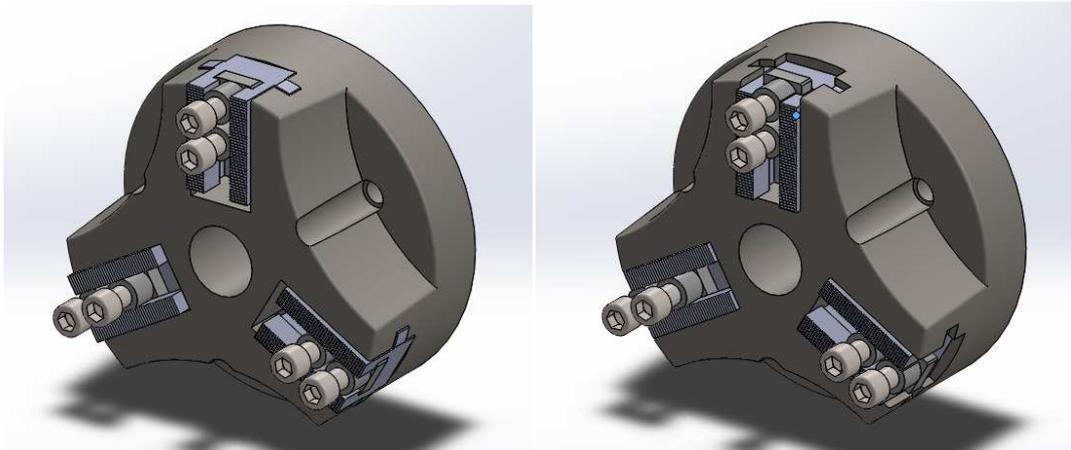


Figura 5-5: Plato ensamblado. Posiciones de apertura y cierre

5. Diseño de Utillaje para Amarre de Anillos

5.3. Propuesta de mecanizado de garras y configuraciones de amarre

Adelantando información del capítulo siguiente donde se describe el proceso de determinación de fuerzas de amarre, para la realización de los ensayos se va a utilizar un anillo sensorizado y mecanizado en un torno manual, el cual cuenta con las siguientes dimensiones finales:

- Diámetro Exterior: 113,9 mm
- Diámetro interior: 104,1 mm
- Longitud: 34.9 mm

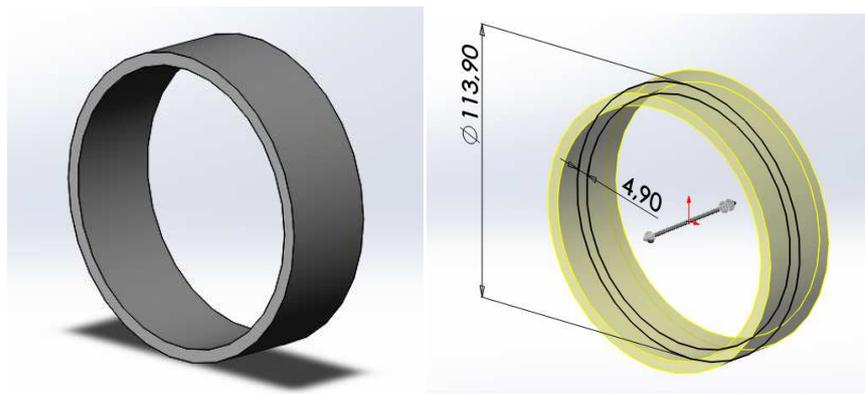


Figura 5-6: Anillo para ensayos

A continuación se van a proponer configuraciones de amarre exterior e interior para sujetar este anillo. No obstante, los diseños propuestos son aplicables para amarres de anillos con otras dimensiones.

5.3.1. Mecanizado de garras

El objetivo de un proceso de mecanizado de garras es obtener la máxima distribución de fuerzas de amarre sobre una determinada pieza, además de limitar errores de descentrado en el amarre.

Para realizar un buen mecanizado de garras, tanto exterior como interior, es importante que la superficie de la garra que va a estar en contacto con la pieza a

5. Diseño de Utillaje para Amarre de Anillos

amarrar tenga exactamente la misma curvatura, esto es, que comparta diámetro de mecanizado con la cara de la pieza a amarrar.

Para conseguir esto, se requiere que durante el proceso de mecanizado, las garras se encuentren en un punto intermedio del recorrido de cierre. De lo contrario, no existirá posibilidad de realizar el juego de amarre.

Para posicionar las garras en un punto intermedio, existen anillos accesorios para bloquear las garras en un determinado punto de forma precisa. No obstante, un método más accesible y económico es usar una pieza mártir para amarrar desde otro punto de la garra, y con esa pieza presionada, realizar el mecanizado de la garra al diámetro especificado. [22]

En las siguientes propuestas de configuraciones de amarre, se aporta una herramienta que mediante un sencillo croquis, se puede determinar el diámetro de la pieza mártir en función del diámetro requerido de mecanizado.

Otros aspectos a tener en cuenta son el punto de anclaje en el dentado, con el fin de que la tuerca no quede fuera de la superficie de la corredera, o en su defecto, que sobresalga lo menos posible, y la profundidad de mecanizado de la garra, debiendo quedar al menos una tercera parte de pared de garra sin mecanizar.

E todo caso, ante la imposibilidad de mecanizar las garras con precisión por problemas de calibración de las herramientas o irregularidad en el dentado de las garras, siempre es preferible el contacto central de la garra que en los extremos, para evitar el efecto de pinzado. Esto se consigue mecanizando la garra un diámetro ligeramente mayor en amarres exteriores y un diámetro inferior para amarres interiores.

También ha de tenerse en cuenta que una garra mecanizada siempre ha de instalarse en la misma posición. Si se intercambian garras de una corredera a otra, la corrección de incertidumbre realizada durante el mecanizado anterior se perderá y será necesario un nuevo mecanizado. Por eso es conveniente marcar las garras con la numeración de la posición en que se encuentran.

5. Diseño de Utillaje para Amarre de Anillos

5.3.2. Amarre exterior

Para la configuración de amarre exterior del anillo de dimensiones especificadas en el punto 1, se propone la siguiente geometría, donde se ha mecanizado desde el extremo con una profundidad de 40mm, dejando un tercio de pared libre, y dejando 3,5 mm de pared horizontal entre la superficie mecanizada y el orificio pasante de anclaje de la garra.

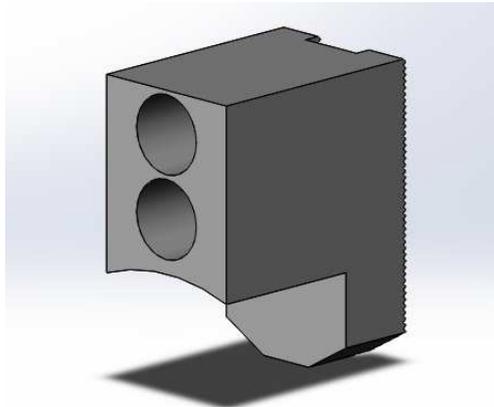


Figura 5-7: Garra mecanizada para amarre exterior

La configuración de amarre del conjunto quedaría de la siguiente forma:

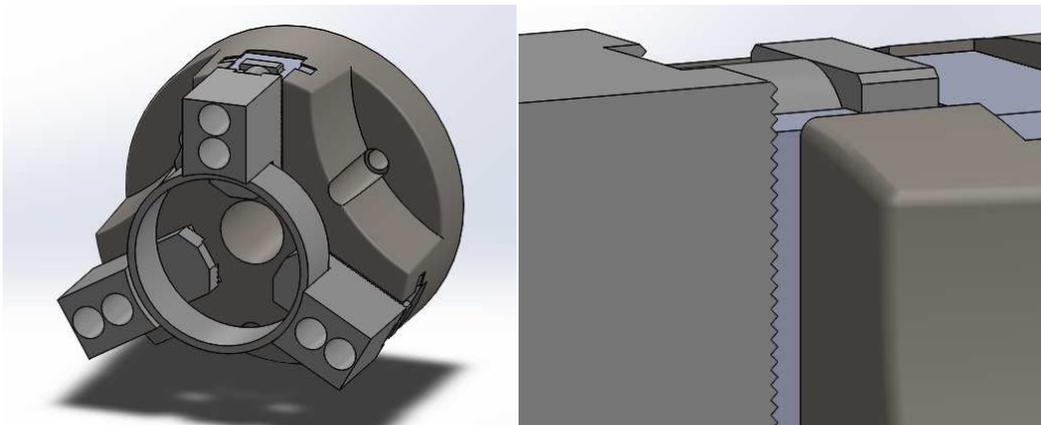


Figura 5-8: Configuración de amarre exterior

Donde se observa que la tuerca no queda introducida por completo. No obstante, dado que las fuerzas de amarre previsibles para amarre de anillos son bajas, no debería suponer un problema.

Como se observa en la figura 5-9, para el mecanizado de las garras será necesario introducir una pieza mártir en la parte de pared libre de 54.9mm.

5. Diseño de Utillaje para Amarre de Anillos

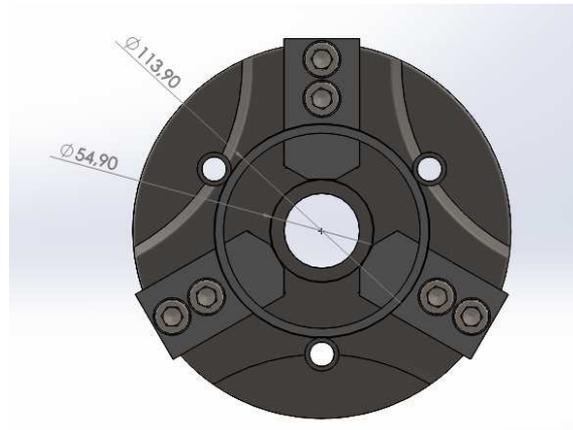


Figura 5-9: Diámetro de amarre exterior y diámetro de pieza mártir

Con esta configuración podrían amarrarse piezas con diámetro exterior comprendido entre 9mm y 120mm.

5.3.3. Amarre interior

En este caso, mediante cilindrado deberá rebajarse la garra desde la parte superior, una distancia suficiente para evitar los orificios pasantes y conseguir una superficie de contacto continua. Para evitar contacto de la herramienta con los tornillos de anclaje durante el mecanizado, será permisible una profundidad únicamente de 38mm y usar tornillos de cabeza reducida DIN6912.

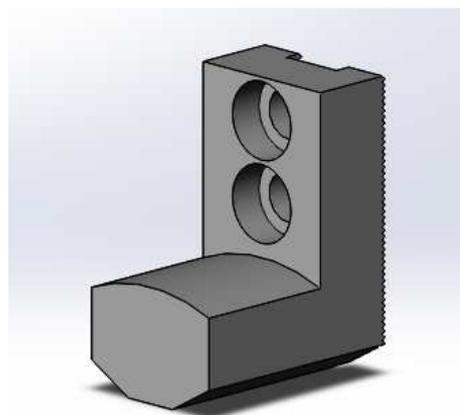


Figura 5-10: Garra mecanizada para amarre interior

5. Diseño de Utillaje para Amarre de Anillos

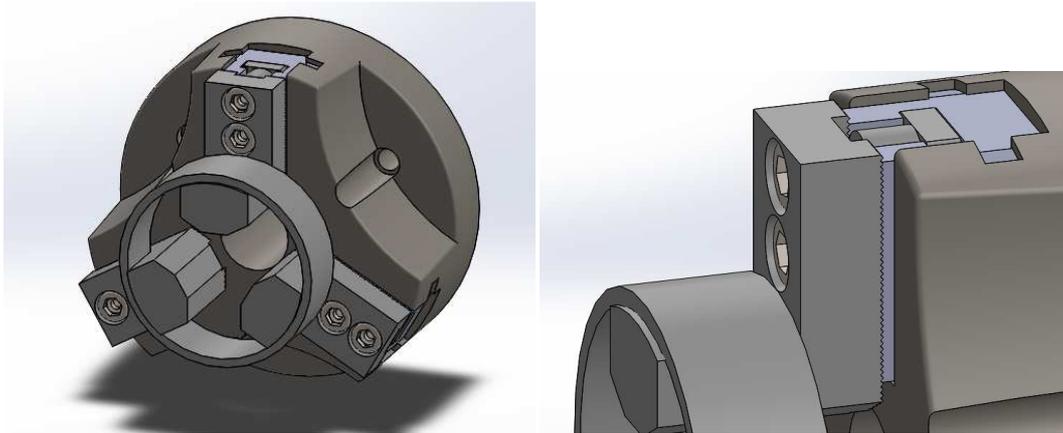


Figura 5-11: Conjunto de amarre interior

En este juego de amarre para el anillo determinado, sí se consigue una sujeción completa de la tuerca interior, y se necesitará un bruto mártir para el mecanizado de las garras de 45.1 mm de diámetro.

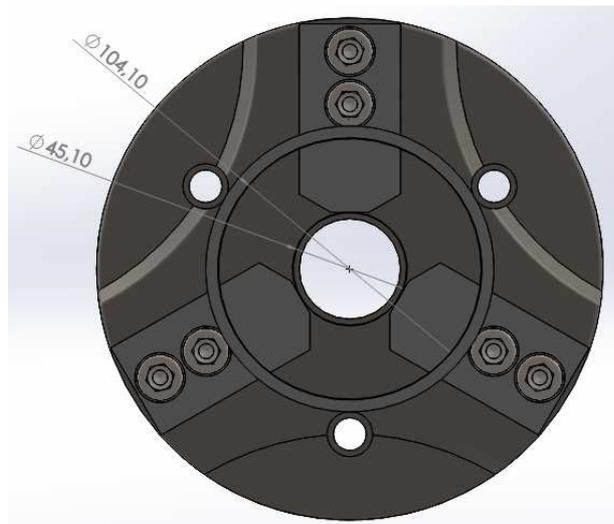


Figura 5-12: Diámetro interior y diámetro de pieza mártir

Los diámetros interiores de amarre para esta configuración pueden oscilar entre los 68 y 120 mm, si se respeta la pared establecida. Para fuerzas de amarre reducidas, podría mecanizarse la garra para obtener diámetros mínimos menores.

5. Diseño de Utillaje para Amarre de Anillos

5.3.4. Amarre de diámetros superiores

Para amarre de anillos con diámetros superiores a los 115-116 mm, será recomendable invertir el sentido de las garras para así ganar margen de amarre. Nótese que para esta configuración también será necesario el uso de tornillos con cabeza reducida y una profundidad de mecanizado máxima de 38mmg

El rango de diámetros para amarre con esta configuración es aproximadamente de 120 a 210 mm de amarre exterior y entre 179 y 269mm para amarres interiores.

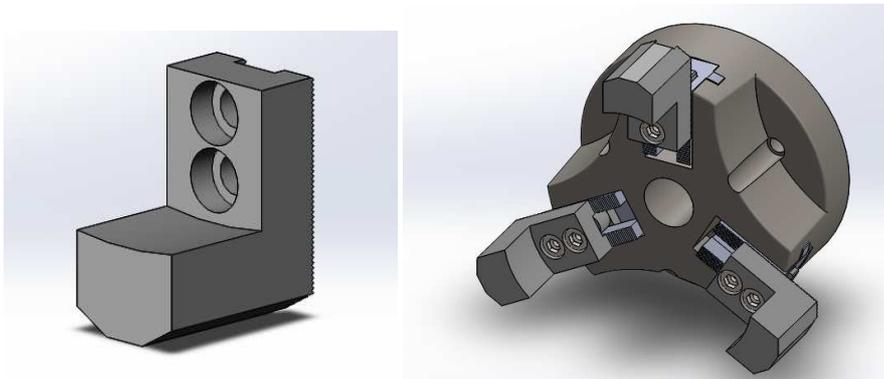


Figura 5-13: Configuración para grandes diámetros 1

Con esta configuración, si se quisiese realizar por ejemplo un amarre exterior a 210 mm, se necesitaría una pieza mártir de 119.79mm.

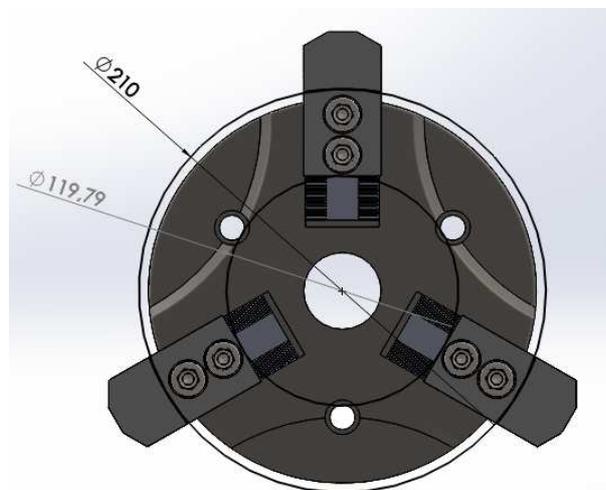


Figura 5-14: configuración para grandes diámetros 2

5. Diseño de Utillaje para Amarre de Anillos

5.3.5. Amarre exterior aplicado en el ensayo de fuerzas

Dada la imposibilidad de mecanizar las garras con seguridad en el DANOBAT NI-650 debido a la falta del sistema de lubricación, se ha considerado no realizar este proceso para el amarre del anillo sensorizado para los ensayos de fuerzas.

E su lugar se ha considerado oportuno usar las garras GB16 de forma invertida, dado que las fuerzas de amarre a aplicar sobre el sensor serán reducidas, quedando la configuración de la siguiente forma:

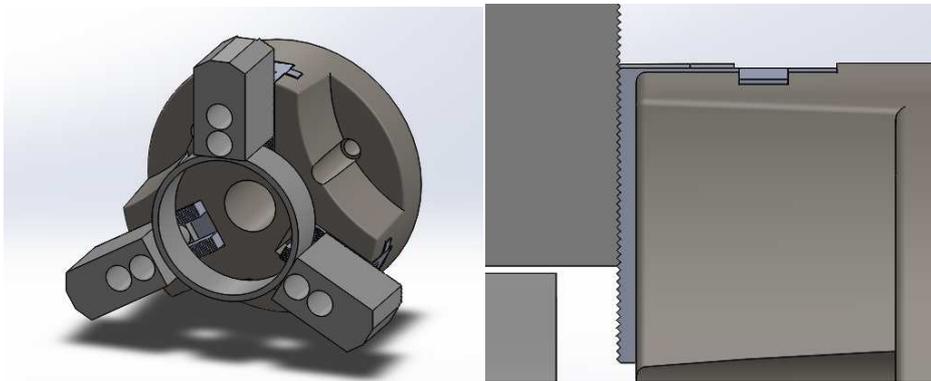


Figura 5-15: Configuración de amarre para los ensayos de fuerza

Donde el punto de anclaje de la garra se encuentra a 13 dientes de la corredera, comenzando por el extremo interior.

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

6.1. Introducción

Una de las fuentes de error durante el mecanizado es la posibilidad de deformaciones durante el amarre. Estas deformaciones pueden producirse dentro del régimen elástico del material, las cuales desaparecerán en el momento que dejen de aplicarse las fuerzas. En caso de que las fuerzas sean mayores, si se rebasa el límite elástico del material, se producirán deformaciones dentro del régimen plástico, cambiando la geometría de la pieza de forma permanente.

Como es lógico, en el proceso de amarre, debe evitarse a toda costa la deformación plástica, pero ante deformaciones elásticas, también podrán producirse errores de mecanizado.

Dado que los anillos o toroides pueden presentar una geometría con un espesor relativamente delgado, las tensiones que pueden soportar sin deformar son bajas, comparándolas por ejemplo con discos del mismo diámetro, haciendo de los anillos piezas altamente sensibles a las fuerzas de amarre.

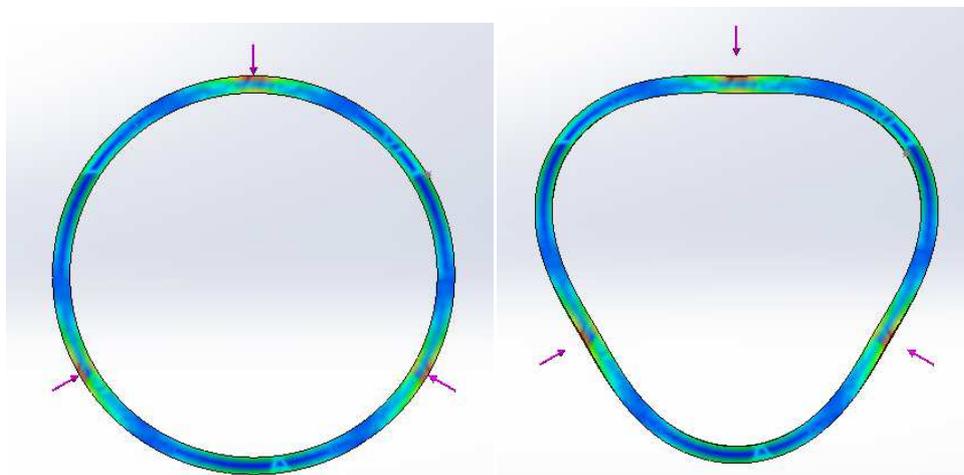


Figura 6-1: Distribución de tensiones y deformada en un anillo amarrado por plato de 3 garras. Amarre puntual.

Las tensiones máximas mínimas se generarán en los puntos de amarre y los puntos de ángulo medio entre estos, generándose en estos puntos las deformaciones máximas en módulo. Dado que los puntos de amarre no son puntos como tal, sino que abarcan una determinada área, es frecuente en los platos de amarre de tres garras que las deformaciones en los dos puntos descritos sean similares.[23]

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

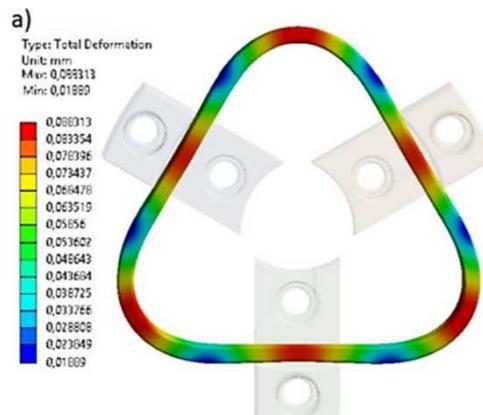


Figura 6-2: Deformaciones producidas por amarre con tres garras[23]

Al no contar con la documentación pertinente del sistema hidráulico del torno, no se puede tener una referencia de las fuerzas de amarre sobre las piezas a mecanizar.

De igual forma, aunque se contase con ésta, con el paso del tiempo, el desgaste de los componentes, ensuciamiento y falta de lubricación, se pueden variar las capacidades de amarre del sistema de forma considerable.

Por esto el objetivo principal de este punto, como se ha ido adelantado en capítulos anteriores, es establecer de forma experimental, una relación entre la presión que el grupo hidráulico del Danumeric NI-650 transmite al cilindro del husillo, frente a la fuerza que las garras del plato ejercen sobre la pieza a mecanizar.

En el mercado existen diferentes productos para medir las fuerzas de amarre en platos de garras. Los más novedosos como el sistema F-Senso de Rohm, o Testit de Hainbuch además ofrecen la posibilidad de medición durante la rotación del husillo a velocidades de hasta diez mil revoluciones por minuto por conexión bluetooth.



6-1: Sistemas Testit y F-Senso[24][25]



6. Determinación de Fuerzas de Amarre

El mayor inconveniente para la adquisición de este tipo de dispositivos actualmente es su elevado precio, rondando los 6000 euros. Este hecho motiva la utilización de un método distinto para la medición de fuerzas.

Para la realización del estudio, se tomará como base el procedimiento descrito en el artículo publicado por Manuel Estrems y otros [1] sobre el cálculo de fuerzas de amarre sobre un anillo de aluminio.

Al resultar extremadamente compleja realizar la medición de la variación de las fuerzas durante el giro del husillo, dadas las altas velocidades que pueden alcanzarse, usando este método pueden hallarse las fuerzas iniciales a rotor parado y posteriormente en caso de estimarse oportuno, se podrán introducir estas medidas en las gráficas de las hojas de datos que habitualmente incorporan los platos de amarre, donde se relaciona la variación de amarre frente a la velocidad de giro.

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

6.2. Descripción general del sistema y procedimiento.

Realizando una breve descripción de sistema a tratar, a la entrada se cuenta con la presión ofrecida por el sistema hidráulico del torno, regulable de la forma que se describe en el punto 3.9. Esta presión, por mediación del cilindro del husillo y el plato de garras, se transmite en forma de fuerza al anillo amarrado.

Como consecuencia de las fuerzas aplicadas, el anillo sufre una deformación elástica y las galgas que se encuentran sobre éste, convierten esta deformación en una variación de resistencia eléctrica.

Esta variación de resistencia, aplicada en un puente Wheatstone, se transforma en una variación de tensión del orden de microvoltios y tras adaptar la señal por medio de un amplificador de instrumentación, se consigue una señal de tensión del orden de magnitud de voltios, capaz de ser leída por el multímetro analógico-digital.



Figura 6-3: Esquema del sistema

A partir de los valores de tensión que ofrece el instrumento de medida, usando las ecuaciones del puente Wheatstone se pueden determinar las deformaciones en el anillo mediante las ecuaciones típicas del puente Wheatstone con galgas.

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

Llegados a este punto, al existir una relación lineal fuerza-deformación, a partir de los datos ofrecidos por el método descrito en [26], es posible determinar la fuerza que las garras están ejerciendo sobre la pieza, pudiendo quedar establecida la relación presión-fuerza esperada.

Por lo descrito, la metodología para el ensayo será la siguiente:[1]

- Colocar el anillo instrumentado sobre el plato de amarre, de tal forma que una de las garras quede situada sobre el punto medio entre los dos puntos de medida de las galgas.
- Aplicar una presión determinada por el sistema hidráulico de la máquina.
- Medir la deformación en el punto de medida de las galgas
- Mediante el método descrito en [26], calcular la deformación producida en el mismo punto de la pieza con una fuerza de amarre de 1N.
- Dividir la deformación medida entre la deformación ocasionada por una fuerza de 1N, quedando como resultado la fuerza aplicada en el ensayo.
- De esta forma queda establecida la relación entre la presión configurada en el sistema hidráulico con la fuerza que el plato está ejerciendo sobre la pieza.

Previa realización de los ensayos en el torno Danumeric con el anillo sensorizado se realizarán pruebas generales del sistema de instrumentación tanto en una prensa con una probeta sensorizada con galgas como en el plato del torno manual del taller de máquina herramienta.

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

6.3. Materiales utilizados

Para la realización de los ensayos se ha utilizado la siguiente relación de materiales y dispositivos:

- Piezas sensorizadas. Anillo mecanizado y probeta para los ensayos previos.
- Galgas extensiométricas específicas para acero RS, además de los productos necesarios para instalación de éstas.
- Amplificador de instrumentación para galgas RS junto con placa de circuito impreso adaptada y todos los componentes electrónicos para la adaptación del circuito integrado y encapsulado de éste.
- Fuente de alimentación de corriente continua

A continuación se proporciona información detallada de cada uno de los elementos utilizados.

6.3.1. Piezas mecanizadas a instrumentar

6.3.1.1. Anillo para plato de amarre

A partir de una pieza de acero al carbono tubular de 116mm y 102mm de diámetro exterior e interior, y 80 mm de longitud usada en las prácticas de soldadura de las asignaturas de fundamentos de fabricación, se ha mecanizado sobre el torno manual un anillo de 113,7mm y 104.1 mm de diámetros exterior e interior y una longitud de 39,9mm.

El motivo de este mecanizado, más que el de buscar una geometría específica de la pieza ha sido limpiar de imperfecciones la superficie del tubo inicial y dejar una longitud suficientemente corta como para que la pieza pueda ser amarrada en toda su longitud por las garras.



6-2: Anillo mecanizado para instalación de galgas

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

Una vez mecanizada la pieza, se le realiza un estudio de redondez en la máquina situada en el laboratorio de metrología Roundtest 120.



Para ello se realiza previamente un estudio de nivelado de forma manual en la opción “leveling” para asegurar que la pieza se encuentra en posición horizontal y no se trazan trayectorias cónicas.

Posteriormente se realiza el centrado de la pieza en la opción “centering”, en la cual, tras un palpado de 350º, la máquina da instrucciones de las correcciones manuales a efectuar en la base de la pieza para ajustar el centrado de la forma más precisa posible.

En tercer lugar, se selecciona la opción “round test” para realizar el estudio de redondez. Se han realizado dos ensayos a 15 y 20 mm de altura para comprobar la redondez en dos puntos del centro de la longitud, en la corona de instalación de las galgas, y se obtienen los siguientes resultados:

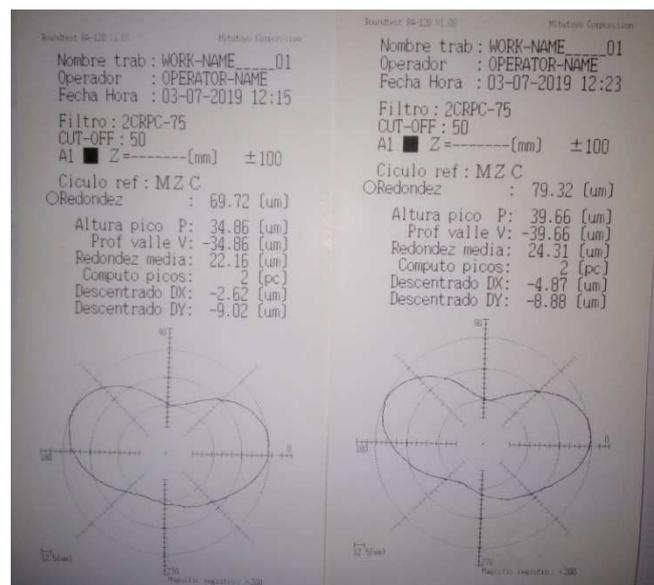


Figura 6-4: Hojas de resultados del test de redondez a 15 y 20 mm de altura

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

Como se observa, tiene un error de redondez de entre 69 y 79 micras, observándose dos lóbulos contrapuestos. El motivo de la aparición de estos lóbulos puede acarrear a que previo refrentado de acabado en el proceso de mecanizado, se realizó la sección longitudinal con una sierra de cinta, la cual ejerce presión para el corte.

No obstante, dado que el error es de un valor reducido frente a los 113,9 mm de diámetro exterior medio, es estima oportuna la instalación de las galgas sobre este anillo.

Como constantes del material se estimarán un módulo de Young de $2,1 \cdot 10^{11}$ y Poisson 0,3.

6.3.1.2. Probeta para ensayos preliminares

Con el fin de comprobar el buen funcionamiento del sistema de instrumentación previa utilización del anillo, se precisa de una pieza auxiliar para ser presionada sobre una prensa.

Para este caso se selecciona un descarte de acero F114 de las piezas utilizadas en las prácticas de mecanizado de 30mm de diámetro para mecanizar una probeta cilíndrica maciza cuyas dimensiones finales son de 24.8 mm de diámetro y 34.9mm de longitud.

De igual forma, para el material se estimarán un módulo de Young de $2,1 \cdot 10^{11}$ y Poisson 0,3.



Figura 6-5: Probeta para ensayos preliminares

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

6.3.2. Galgas Extensiométricas

Las galgas extensiométricas utilizadas que se han adquirido en RS pro son de uso específico sobre acero dulce, de 120 ohm, con una longitud de superficie cableada de 5 mm, líneas de orientación para instalación, terminales con cables pre-soldados y placa autoadhesiva para soldadura de terminales.

Los datos que facilita el fabricante son los siguientes:[27]

Longitud	5mm
Deformación medible	2-4%
Rango de temperatura	-30-80°C
Variación del factor de galga	0.015%/°C
Tolerancia de resistencia	0.5%
Factor de galga nominal	2
Tolerancia de factor de galga	1%
Color de la base	Rojo

Tabla 6-1: Características galgas



Figura 6-6: Galga RS para acero dulce

6.3.3. Amplificador de instrumentación RS

El amplificador de instrumentación para galgas ofrecido por RS presenta la principal ventaja de ser de los más económicos en el mercado entre la gama de amplificadores con sus prestaciones.

Dicho amplificador se comercializa como un circuito integrado encapsulado con 24 pines de 32x24x13,5 mm.

6. Determinación de Fuerzas de Amarre



Figura 6-7: Amplificador de instrumentación RS 846-171

El fabricante proporciona los siguientes parámetros nominales del amplificador para una alimentación simétrica de 12V a 25°C.[28]

Tensión de alimentación	$\pm 2\text{-}\pm 20$ V DC
Intensidad de alimentación	4 mA
Offset de entrada	200 μ V
Deriva de offset de entrada con temperatura	0.5 μ V/ $^{\circ}$ C
Deriva offset de entrada con alimentación	3 μ V/V
Deriva offset de entrada con el tiempo	0.3 μ V/mes
Impedancia de entrada	>15Mohm
Ruido de entrada	0.9 μ V
Ancho de banda	450KHz
Corriente de salida	5mA
Rango de tensión de salida	$\pm(V_{cc}-2)$ V
Ganancia de circuito cerrado	3:60000
Ganancia en circuito abierto	>120dB
CMRR	>120dB
Deriva alimentación puente con temperatura	20 μ V/ $^{\circ}$ C
Máxima corriente del puente	12mA
Disipación de potencia	0.5W
Periodo de precalentamiento	5 minutos
Temperatura de funcionamiento	-25 $^{\circ}$ C +85 $^{\circ}$ C

Tabla 6-2: Características CI Amplificador

Este amplificador está preparado para trabajar con un determinado circuito de acondicionamiento, para el cual RS comercializa una placa de circuito impreso.

El esquemático de dicho circuito acondicionador se presenta a continuación, con unos valores típicos de componentes para el funcionamiento del dispositivo con una alimentación de ± 12 V DC

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

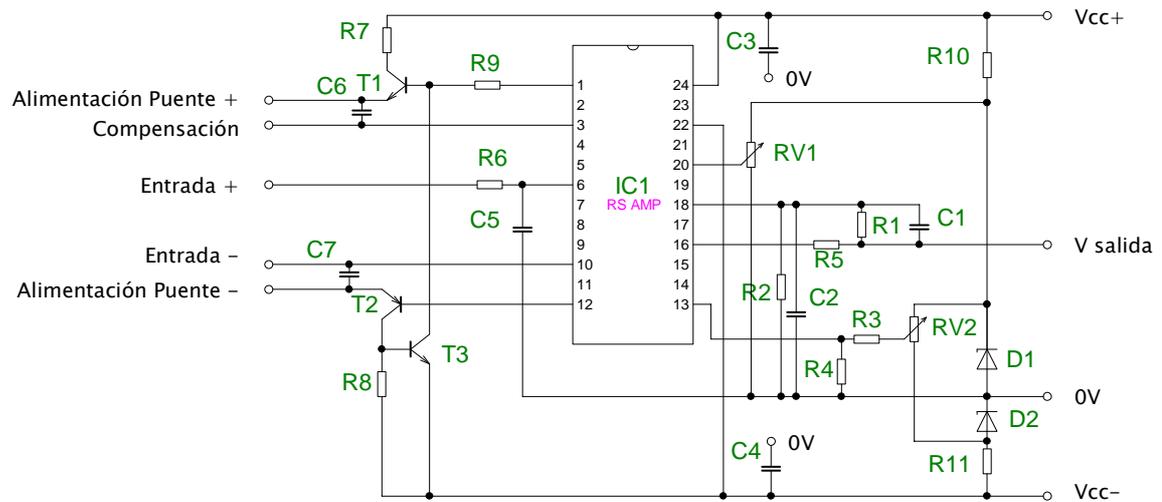


Figura 6-8: Esquemático circuito acondicionador y amplificador RS

R1:100K	R7:47R	C2,C5 10n
R2:100R	R8:10R	C3 C4 10 μ
R3:100K	R9:1K	T1 BD135
R4:68R	R10,R11:680R	T2 BD136
R5:10R	RV1,RV2 10K	T3 BC108
R6:100R	C1,C6,C7 100n	D1,D2 LM4040DIZ-5.0

Tabla 6-3: Componentes del circuito de adecuación

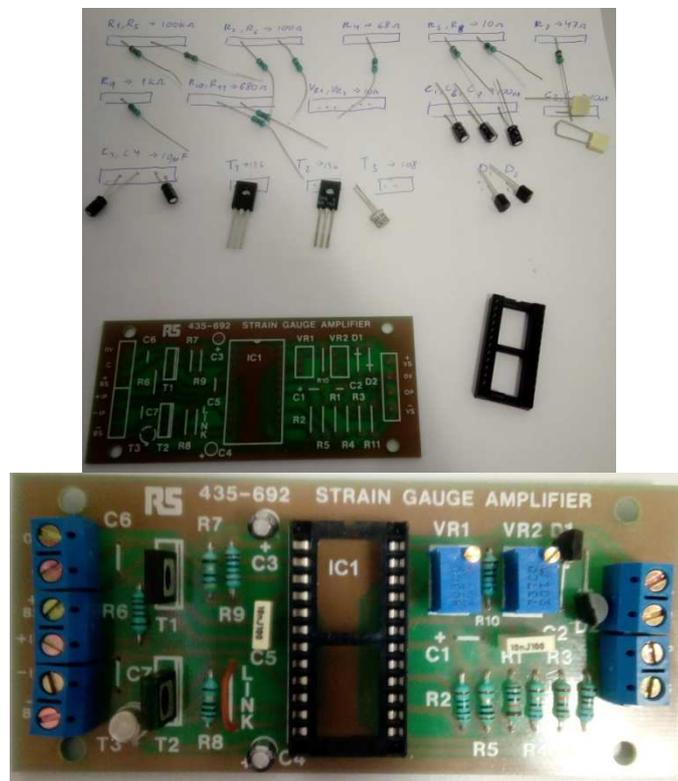


Figura 6-9: Componentes para montaje del circuito y placa terminada

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

El funcionamiento básico del circuito es el siguiente:

Desde la corriente suministrada por los pines 1 y 12 del amplificador, regulada por RV1, se controla la corriente de base de los transistores T1 y T2. En función de esta corriente de base, los transistores variarán la corriente colector-emisor, regulando la tensión de alimentación del puente de galgas.

El transistor T3 estabiliza las variaciones en modo diferencial de la alimentación.

Los diodos Zener D1 y D2 aseguran un voltaje de 5 V desde el 0 al conjunto del amplificador. De esta forma se evitan intercambios de polaridad y al mismo tiempo se estabiliza la tensión de alimentación general.

Las resistencias R1 y R2 definen la ganancia diferencial del amplificador siendo esta:

$$G = \frac{R_1}{R_2}$$

Las resistencias R3 y R4 regulan el rango de ajuste del offset realizado desde RV2. Este rango viene determinado por la ecuación:

$$X = 6.2 \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

El condensador C1 mantiene estable la relación de ganancia actuando como filtro C en la rama de alimentación. Los condensadores C3 y C4 actúan como filtros C para desacoplo de la fuente de alimentación y así evitar la perturbación por el rizado a 50Hz y armónicos. Los condensadores C6 y C7 son filtros C para eliminación de ruido de la señal en caso de que los cables hasta el puente actúen como antena.

Los conjuntos R6,C5 y R5,C2 son filtros RC de tipo paso bajo, los cuales eliminan ruido de la señal de entrada y salida respectivamente a frecuencias superiores de 1.59MHz.

Todas las resistencias usadas tienen una tolerancia del 1% y las resistencias variables son de tipo radial a 30 vueltas.

Para la protección del conjunto se ha incorporado una caja de plástico de 190x110x60 mm, la cual ha sido perforada para incluir conectores tipo banana para realizar las conexiones con la fuente de alimentación y el puente y un

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

interruptor de doble canal para corte de las tensiones positiva y negativa quedando el conjunto de la siguiente forma:



Figura 6-10: Amplificador RS consolidado

6.3.4. Fuente de alimentación

Para ofrecer alimentación al amplificador de galgas, se usa una fuente de alimentación conmutada de corriente continua Phoenix ATX 2.03 P4 de 300W con tensiones de corriente continua de ± 12 , 5 y 3,3 V disponible en los laboratorios del departamento.

Esta fuente cuenta con un conector típico de 20 pines con los cables de encendido y masa conectados a un interruptor para la activación de la fuente. Para obtención de la tensión determinada se han usado los terminales amarillo y azul para ± 12 VCC.

6. Determinación de Fuerzas de Amarre



6-3: Fuente de alimentación y esquemático del conector

6.3.5. Multímetro Analógico/Digital

Para la medición del voltaje a la salida del amplificador de instrumentación se ha utilizado un multímetro analógico digital KAISE MY 60, el cual cuenta con las siguientes características para medida de tensión:

ESCALA	RESOLUCIÓN	PRECISIÓN
200mV	0.1mV	$\pm 0.5\%$ de rgd + 3 dígito
2V	1mV	$\pm 0.8\%$ de rgd + 5 dígito
20V	10mV	
200V	0,1V	
1000V	1V	$\pm 1,0\%$ de rgd + 5 dígitos

Tabla 6-4: Datos del multímetro digital KAISE MY



Figura 6-11: Multímetro KAISE utilizado



6. Determinación de Fuerzas de Amarre

6.3.6. Otros elementos y herramientas

Aunque no se encuentran incluidos por así decirlo en el montaje del medida de deformaciones, para la implementación del montaje ha sido necesaria la utilización de otros elementos de los cuales se ofrece a continuación una breve relación:

- Osciloscopio digital Picoscope usado para el testeo y puesta a punto del amplificador de instrumentación.
- Soldador JBC y Startec de punta curva para el montaje de la placa de circuito impreso y soldadura de cableado.
- Lija para acero, alcohol, cianocrilato y resina de silicona endurecida para la instalación de las galgas.

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

6.4. Implantación de puente Wheatstone

6.4.1. Selección del tipo de puente

Para la selección del tipo de puente óptimo a usar, a partir de los desarrollos descritos en la introducción, se realiza un sencillo estudio comparativo de la adecuación de señal ofrece cada uno de los siguientes puentes:

- Cuarto de puente (Una sola galga)
- Medio puente cruzado
- Puente completo con efecto Poisson
- Puente completo estándar

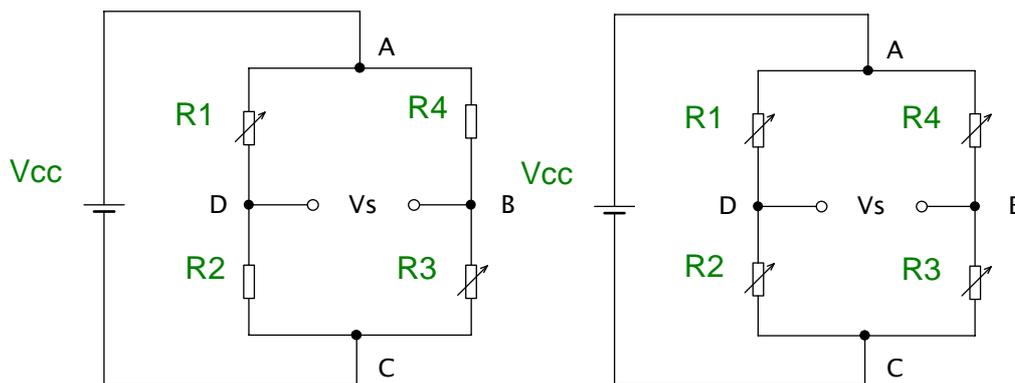


Figura 6-12: Medio puente cruzado y puente completo

6.4.1.1 Cuarto de puente:

Para el uso de este puente se requiere una única galga adherida en el punto a medir. El puente se completa con resistencias de valor nominal igual a la galga incorporada.

Siendo R_0 la resistencia nominal de las galgas se establece la siguiente relación de resistencias del puente:

$$R_1 = R_0(1 + \epsilon k) \quad R_2 = R_3 = R_4 = R_0$$

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

Y calculando los potenciales en los puntos D y B y dividiéndolos por la resistencia nominal:

$$V_{DC} = V_{AC} \cdot \frac{R_0}{R_0(1 + \varepsilon k) + R_0} = V_{AC} \frac{1}{2 + \varepsilon k}$$

$$V_{BC} = V_{AC} \cdot \frac{R_0}{R_0 + R_0} = V_{AC} \frac{1}{2}$$

$$V_0 = V_{AC} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2 + \varepsilon k} \right) = V_{cc} \left(\frac{\varepsilon k}{4 + 2\varepsilon k} \right)$$

Donde:

V_0 es la tensión de salida del puente.

V_{cc} la tensión de alimentación del puente.

k es el factor de galga propio del sensor.

y ε es la deformación sufrida por la galga.

6.4.1.2. Medio puente cruzado

Para el uso de este puente se disponen dos galgas en posiciones opuestas dentro del puente y se completa con resistencias de valor nominal igual a la galga.

$$R_1 = R_3 = R_0(1 + \varepsilon k) \quad R_2 = R_4 = R_0$$

$$V_{DC} = V_{AC} \cdot \frac{R_0}{R_0(1 + \varepsilon k) + R_0} = V_{AC} \frac{1}{2 + \varepsilon k}$$

$$V_{BC} = V_{AC} \cdot \frac{R_0(1 + \varepsilon k)}{R_0(1 + \varepsilon k) + R_0} = V_{AC} \frac{1 + \varepsilon k}{2 + \varepsilon k}$$

$$V_0 = V_{AC} \left(\frac{1 + \varepsilon k}{2 + \varepsilon k} - \frac{1}{2 + \varepsilon k} \right) = V_{cc} \left(\frac{\varepsilon k}{2 + \varepsilon k} \right)$$

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

6.4.1.3. Puente completo con efecto Poisson

En esta configuración se sustituyen las resistencias fijas del puente anterior por galgas situadas en orientación perpendicular a las otras galgas, midiendo la deformación por Poisson del material.

$$R_1 = R_3 = R_0(1 + \varepsilon k) \quad R_2 = R_4 = R_0(1 - \varepsilon k \nu)$$

$$V_{DC} = V_{AC} \cdot \frac{R_0(1 - \varepsilon k \nu)}{R_0(1 + \varepsilon k) + R_0(1 - \varepsilon k \nu)} = V_{AC} \frac{1 - \varepsilon k \nu}{2 + \varepsilon k(1 - \nu)}$$

$$V_{BC} = V_{AC} \cdot \frac{R_0(1 + \varepsilon k)}{R_0(1 + \varepsilon k) + R_0(1 - \varepsilon k \nu)} = V_{AC} \frac{1 + \varepsilon k}{2 + \varepsilon k(1 - \nu)}$$

$$V_0 = V_{AC} \left(\frac{1 + \varepsilon k}{2 + \varepsilon k(1 - \nu)} - \frac{1 - \varepsilon k \nu}{2 + \varepsilon k(1 - \nu)} \right) = V_{cc} \left(\frac{\varepsilon k(1 + \nu)}{2 + \varepsilon k(1 - \nu)} \right)$$

6.4.1.3. Puente completo estándar

En este caso las resistencias 1 y 2 se encuentran a tracción y el resto a compresión. Nótese que para poder usar este puente es condición sinecuanum colocar galgas en ambos lados del material.

$$R_1 = R_3 = (1 + \varepsilon k) \quad R_2 = R_4 = R_0(1 - \varepsilon k)$$

$$V_{DC} = V_{AC} \cdot \frac{R_0(1 - \varepsilon k)}{R_0(1 + \varepsilon k) + R_0(1 - \varepsilon k)} = V_{AC} \frac{1 - \varepsilon k}{2}$$

$$V_{BC} = V_{AC} \cdot \frac{R_0(1 + \varepsilon k)}{R_0(1 + \varepsilon k) + R_0(1 - \varepsilon k)} = V_{AC} \frac{1 + \varepsilon k}{2}$$

$$V_0 = V_{AC} \left(\frac{1 + \varepsilon k}{2} - \frac{1 - \varepsilon k}{2} \right) = V_{cc} \varepsilon k$$

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

6.4.1.5. Criterio de linealidad

Suponiendo un puente formado por galgas con factor de galga igual a 2 y alimentado a 3V, se recoge la salida que ofrece cada puente en mV para deformaciones comprendidas entre 0 y 1:

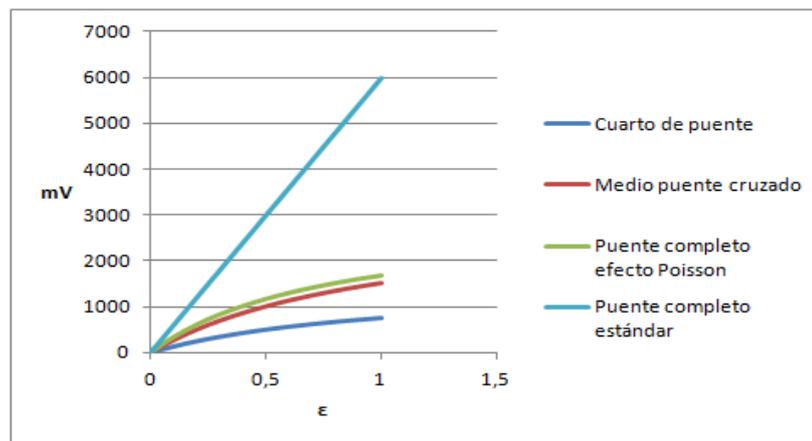


Ilustración 6-4: Efecto de no linealidad en puentes Wheatstone

De esta forma se corrobora la no linealidad apreciada en las ecuaciones de salida de los puentes excepto en el puente completo estándar. No obstante, si toman valores de deformación más realistas, es decir, no superiores a 10^{-2} , dado el reducido valor que adquiere el sumando del denominador dependiente de la deformación en las ecuaciones, se reduce considerablemente el efecto de no linealidad:

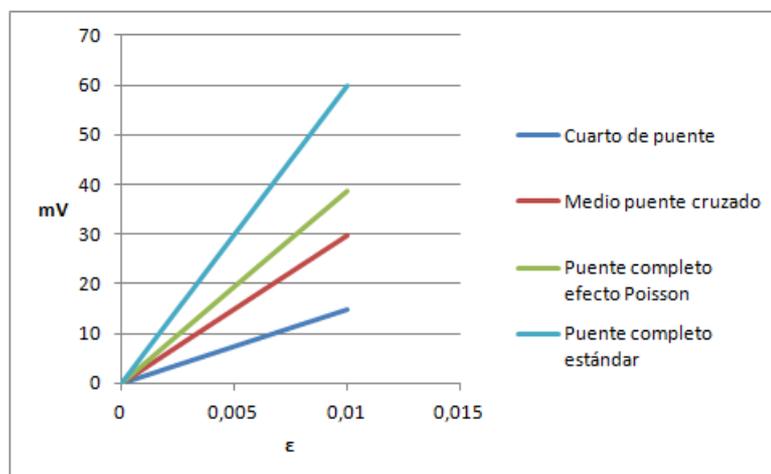


Ilustración 6-5: Linealización por acotación de rango de medida



6. Determinación de Fuerzas de Amarre

Quedando constatado que el factor de linealidad para el rango de deformaciones a medir no es un elemento decisivo entre los puentes considerados.

6.4.1.6. Criterio de sensibilidad

Para facilitar la medida de deformación, la sensibilidad es un factor importante. Este concepto hace referencia a la capacidad de variación a la salida de un instrumento ante una misma entrada.

Por los resultados de la gráfica se observa que el puente completo estándar tiene una sensibilidad de casi el doble que el siguiente puente de efecto Poisson. No obstante como se ha comentado en la descripción del puente, se hace necesario que dos galgas trabajen a tracción y dos a compresión. Esto supone colocar dos de las galgas en la cara interior del anillo, que por problemas con la herramienta de mandrinado no ha quedado suficientemente lisa como para colocar una galga extensiométrica.

Por tanto, por este criterio se propone el uso del puente completo con efecto Poisson, para la medición de deformaciones en el anillo mecanizado, con una sensibilidad alrededor de un 30% superior al medio puente.

Con el fin de ahorrar galgas extensiométricas para la probeta de ensayos preliminares se escogerá el medio puente encontrado.

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

6.4.2. Instalación de galgas

Para la instalación de galgas se han seguido las indicaciones del fabricante y el método propuesto en [29] para optimizar la adherencia de éstas al material y evitar errores en la medida.

En primer lugar, se ha lijado la superficie del material de las piezas a instrumentar en las zonas de instalación de las galgas con grano 250 en primer lugar y acabado de 500, para dejar una rugosidad uniforme y facilitar la adherencia de las galgas. Una vez terminado el lijado, se ha retirado la suciedad de la pieza con un trapo seco.

Seguidamente, con las manos cubiertas por guantes de látex, se ha limpiado la pieza con alcohol de 96 grados aplicado sobre papel de celulosa para eliminar cualquier resto de grasa sobre la superficie y se ha dejado secar.

Una vez terminado el tiempo de secado, con instrumental de dibujo se han realizado las marcas pertinentes para indicar la colocación de las galgas, siempre teniendo en cuenta que las marcas no deben ocupar el lugar de aplicación de la galga.

Realizadas las marcas de posición, se han extraído las galgas de la lámina protectora con sumo cuidado de no flexionarlas, se han adherido por la parte superior con papel celo y se han presentado sobre la superficie de aplicación, quedando adheridas parcialmente por la cinta adhesiva.

A levantar el celo por el extremo opuesto a donde se encuentran los terminales, queda visible la parte de contacto de la galga, sobre la cual se aplica una pequeña cantidad de adhesivo a base de cianocrilato y se vuelve a colocar la galga sobre la pieza suavemente.

Desde la parte de cinta que ha quedado adherida permanentemente a la pieza se ejercen varias pasadas, presionando la galga y asegurándose de que no queden huecos entre la galga y la cinta por donde pueda salir el cianocrilato. Tras cinco minutos de secado, la galga queda completamente adherida y se puede despegar la cinta adhesiva.

Para proteger la galga de golpes y presiones externas, sobre ésta se aplica una capa de resina de silicona y tras 10 minutos de secado queda una lámina protectora sobre los sensores.

El último paso es adherir sobre la pieza las placas de terminales autoadhesivos y soldar los cables de los terminales de la galga a la placa auxiliar,

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

cuidando en todo momento que los cables no queden tensionados para evitar errores en la medida.

Para la realización del puente completo con efecto Poisson, se han distribuido las galgas en dos grupos en puntos del anillo situados a 120° para medida de los puntos de máxima deformación en el ángulo medio entre garras.

Cada grupo consta de dos galgas dispuestas de forma perpendicular en el centro de la altura del anillo.



Figura 6-13: Instalación de galgas sobre anillo

La disposición de galgas en la probeta consta de las dos galgas a 180° orientadas desde la base en vertical.



Figura 6-14: Instalación de galgas sobre probeta para ensayos preliminares

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

6.4.3. Cableado del puente

En primera instancia se realizó el cableado de conexiones internas del puente Wheatstone sobre la misma pieza, con el fin de evitar longitud de cableado expuesto a interferencias. La conexión entre el puente y el amplificador se hizo con cable UTP de cuatro pares, usando pares trenzados para cada terminal.

A la hora de realizar los ensayos, se observó que el movimiento del cableado alteraba notablemente la señal recibida y se tomó la medida de usar cable coaxial conectado a masa del amplificador. Este hecho no mejoró la fluctuación y la rigidez del cable además podía transmitir movimiento a las galgas.



Figura 6-15: Cableado con puente sobre la pieza

Ante la persistencia de la interferencia, se decide realizar la conexión del puente cerca del amplificador, para lo cual se diseña un pequeño circuito sobre una placa pre-estañada con terminales para recoger individualmente cada galga.

El cableado desde las galgas hasta el circuito colector del puente se realiza de nuevo mediante UTP y las salidas con cable paralelo rojo-negro.

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

Este circuito además de solucionar el problema de variación de la señal, facilita el cambio de la configuración del puente sin necesidad de modificar soldaduras.

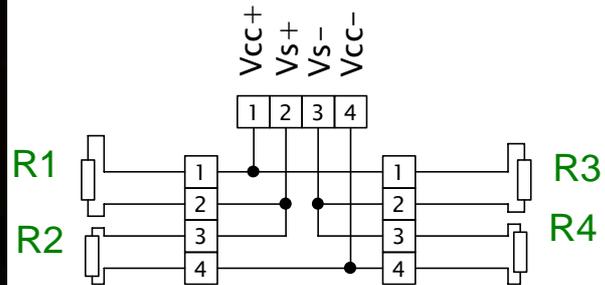
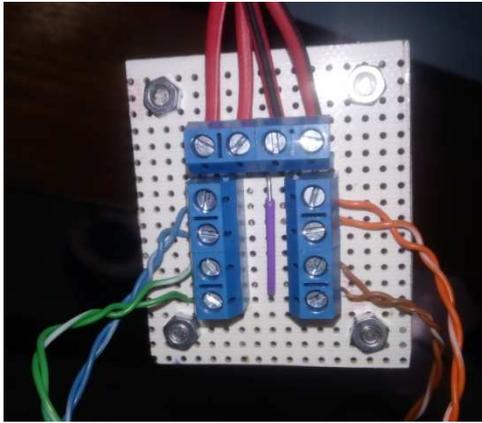


Figura 6-16: Colector de terminales para construcción de puente Wheatstone

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

6.5. Configuración y estabilización del amplificador

6.5.1. Determinación de la ganancia

Con el amplificador montado, se procede a la comprobación de su correcto funcionamiento. Para ello, sobre una placa de prototipo se dispone un divisor de tensión simétrico con una resistencia variable de 10k y dos resistencias de 500k a la entrada del amplificador, para poder controlar la tensión aplicada en los terminales de entrada.

Se toman medidas tanto de la tensión aplicada a la entrada como la disponible a la salida del amplificador para dos configuraciones de ganancia teórica:

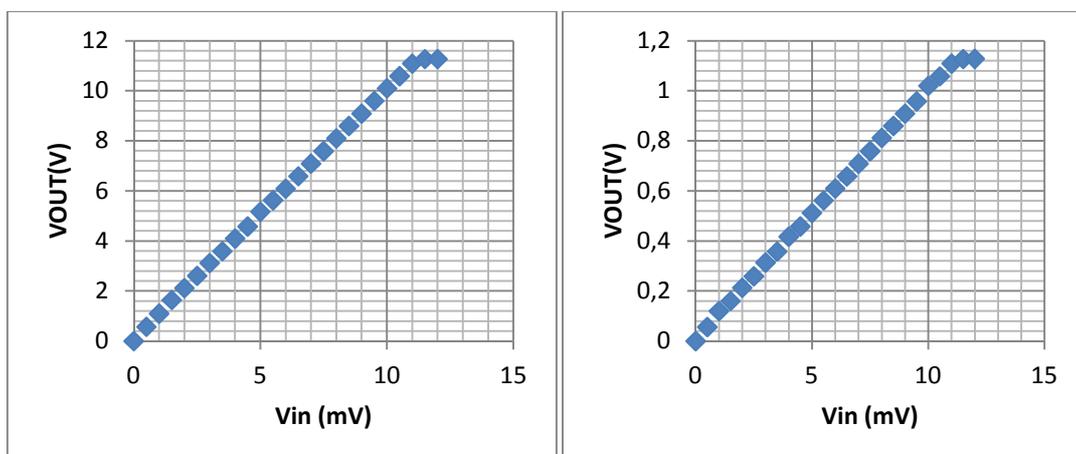
Configuración 1:

$$G_1 = 1 + \frac{R_1}{R_2} = 1 + \frac{100k}{100} = 1001$$

Configuración 2:

$$G_2 = 1 + \frac{R_1}{R_2} = 1 + \frac{100k}{1k} = 101$$

Obteniéndose las siguientes gráficas de respuesta:



Con unas ganancias medias reales de 1005.88 y 103.62 respectivamente.

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

6.5.2. Corrección de offset

Por desequilibrio en el puente, puede aparecer un determinado offset que al ser amplificado hace que la salida queda fuera del rango de operación limitado por la tensión de alimentación.

Al conectar la probeta de prueba, se cuenta con un offset a la entrada de 58 mV, lo que hace imposible encuadrar el valor de salida dentro del rango de medida con la configuración de establecimiento de offset determinado por el fabricante del amplificador.

En previsión de que pueda existir un offset similar en el anillo instrumentado, se toma la medida de aumentar el rango de establecimiento, quedando de la siguiente forma:

$$X = 6 \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot 26.2 \frac{680}{2k + 680} = 1.57V$$

Asegurando la medida con un offset a la entrada en un rango de $\pm 1,57V$. Esto además aporta versatilidad al amplificador, siendo capaz de captar medidas desde otro tipo de sensores.

6.5.3. Estabilización de la señal

Durante las pruebas realizadas con el amplificador, se observa una deriva importante de la señal en el tiempo, generando un nivel inestable como se observa en la gráfica obtenida mediante el osciloscopio digital Microscope:

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

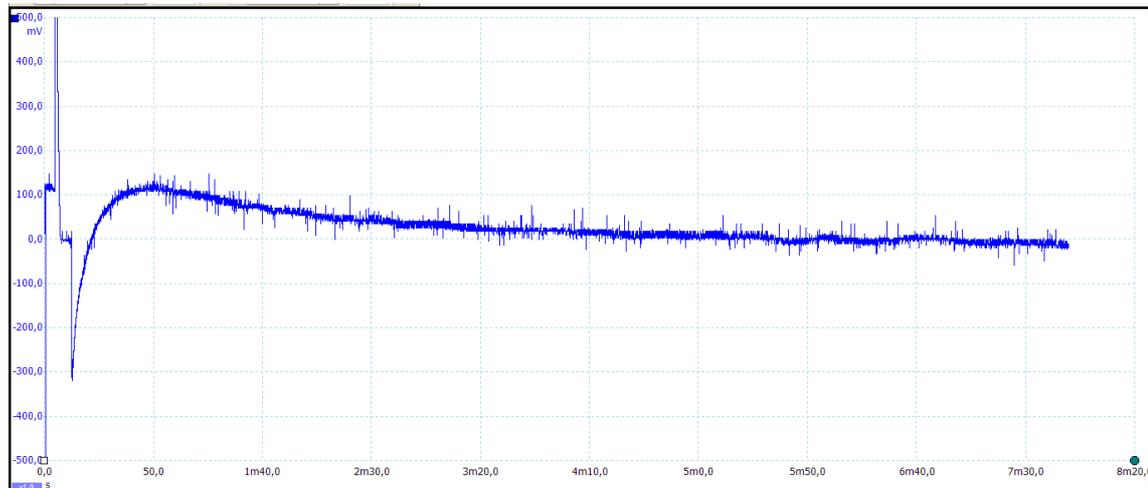


Figura 6-17: Deriva de la señal

Esta deriva hace imposible la toma de valores fidedignos, por lo que se procede a realizar una serie de comprobaciones, sustituyendo los sensores de galgas a la entrada por divisores de intensidad con valores conocidos.

Persistiendo el problema, se analiza el espectro de la señal para observar alguna interferencia de alta frecuencia que pueda acoplar con el sistema, pero como se observa en el gráfico, no se aprecia ninguna irregularidad, estando la mayoría de armónicos por debajo de 80 dB.

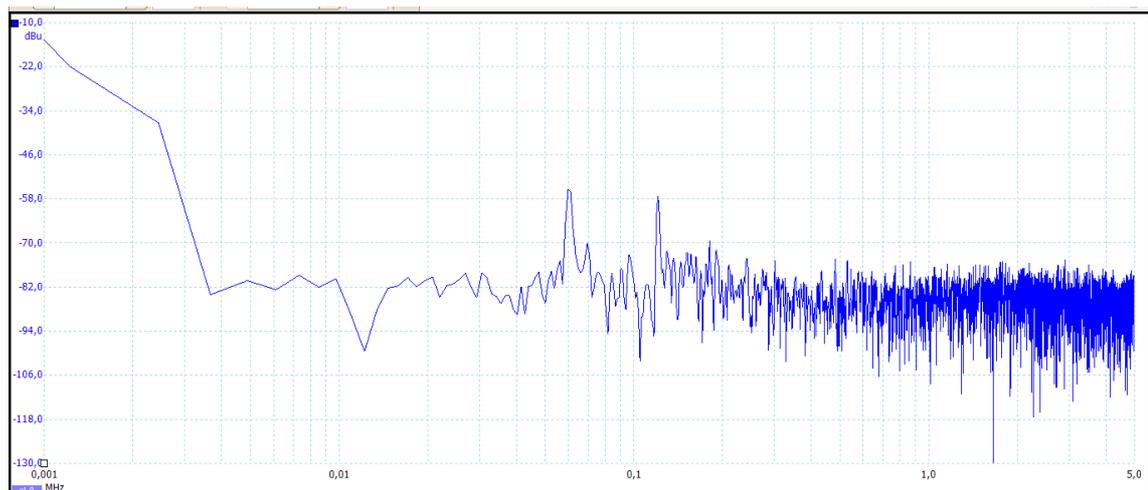


Figura 6-18: Análisis de espectro de frecuencia

Persistiendo el problema se comprueba que los transistores usados para dar alimentación están sobrepasando presumiblemente la temperatura máxima de servicio.

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

Aplicando una corriente de aire sobre estos, se puede apreciar el cambio significativo que se produce en el valor de la señal:

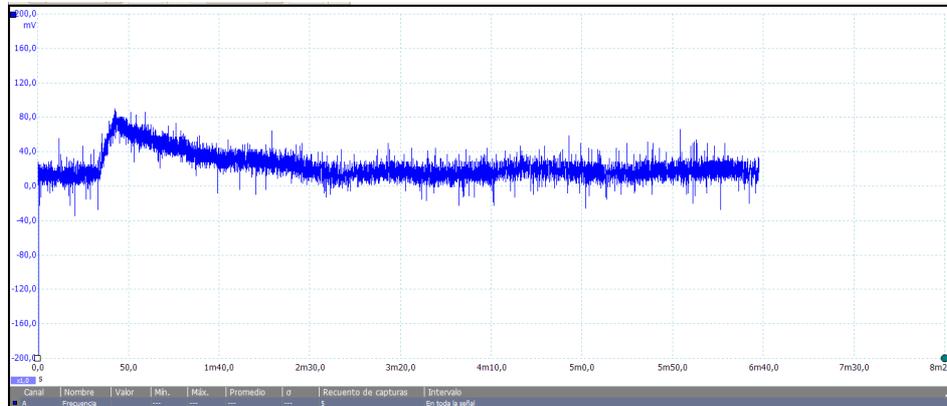


Figura 6-19: Variación de la señal frente a corriente de aire frío

Al no resultar efectiva la instalación de disipadores de aluminio, se procede a analizar los transistores percibiéndose una desviación importante de ganancia en corriente. Sustituyéndolos por dos componentes de igual ganancia comprobada se corrige el problema en parte, pero el calentamiento sigue siendo significativo.

Finalmente se decide limitar la alimentación del puente a 3V para reducir la carga de los transistores, quedando la señal estabilizada como se muestra en la gráfica:

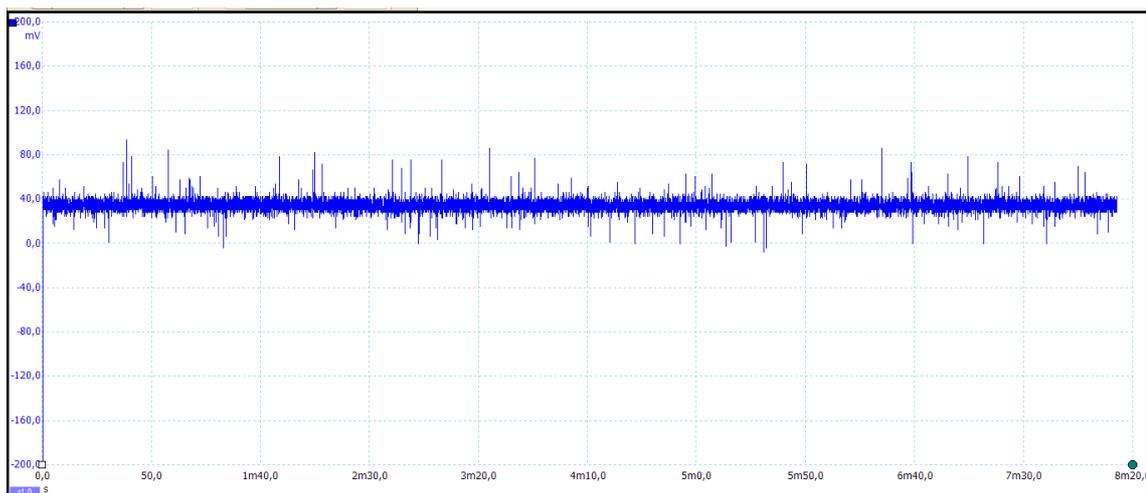


Figura 6-20: Ensayo de 8 minutos de duración con desviación de 0.5mV

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

6.6. Ensayo de comprobación sobre prensa

Para comprobar que tanto el procedimiento de instalación de galgas se ha hecho correctamente, como que el montaje completo funciona de forma satisfactoria, se realiza un ensayo previo con la probeta cilíndrica sobre la prensa neumática/hidráulica MEGA 50.

Colocando la probeta en posición vertical, se realizan dos series de 10 compresiones a 3500 y 7000 kg, siendo la fuerza resultante de 34300 y 68600 Newton respectivamente.



Figura 6-21: Disposición de la probeta en prensa

La probeta cuenta con un diámetro de 24,8 mm, por tanto su área es de $4.83 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$, creándose una tensión axial σ sobre la pieza de $7.1 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ y $7.1 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ y $1.42 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$

El amplificador se encuentra configurado con una ganancia de 103.62 y el puente alimentado a 6.85V.

Para cada toma de datos se anota el valor de offset antes de la medida, de tal forma que la medida real viene determinada por:

$$V = V_{medida} - V_{offset}$$

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

A partir de la ecuación de tensión de salida del medio puente, se obtiene la deformación como:

$$\varepsilon = \frac{2V_0}{k(V_{cc} - V_0)}$$

Siendo $V_0 = V/\text{Ganancia}$, la ecuación quedaría como:

$$\varepsilon = \frac{2V}{k(V_{cc}G - V)}$$

En este punto, se pueden relacionar la deformación y tensiones axiales sobre la pieza para determinar el módulo de Young:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Que para el acero F114 se trata de un valor estimado en 2.1×10^{11} .

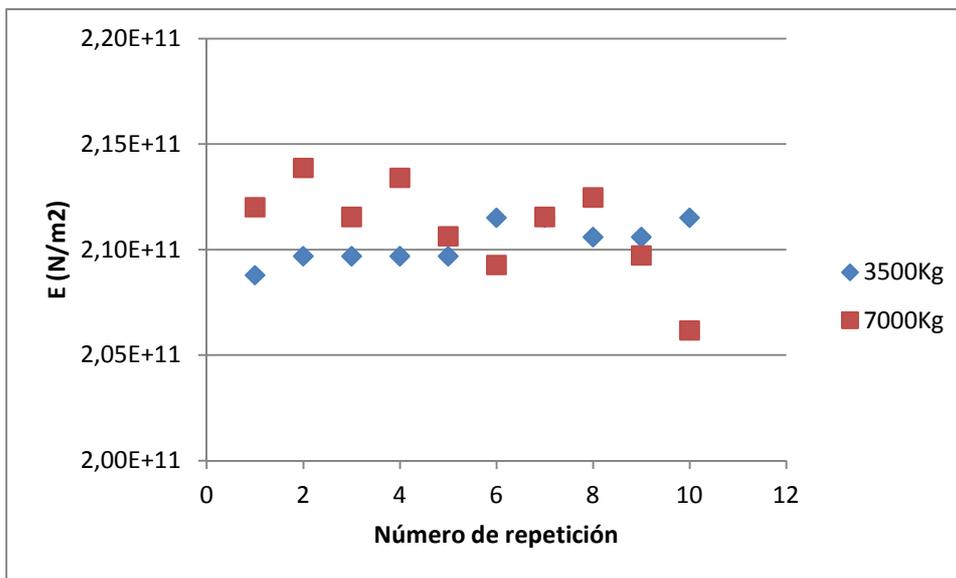


Figura 6-22: Resultados de las pruebas en la prensa

La desviación se debe principalmente a la fluctuación del offset durante la medida, debido a que en el momento de realización del ensayo, aún no se habían tomado las medidas correctoras explicadas en los puntos anteriores. No obstante, dados los valores obtenidos, se puede hacer una primera evaluación positiva del sistema.

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

6.7. Caracterización de presión/fuerza de amarre en Danumeric NI-650

6.7.1. Realización del ensayo. Obtención de valores de tensión

En primer lugar se establece el rango de presiones a considerar entre 4 y 12 bar. Pese a que la presión mínima de funcionamiento del cilindro es de 8 bar, es a partir de 4 bar cuando las garras comienzan a realizar el juego de amarre, por lo que puede resultar interesante la caracterización a presiones inferiores para mecanizado de anillos con espesor muy reducido.

Para evitar presionar la válvula selectora de rama hidráulica y correr el riesgo de falsear la medida, se conecta el latiguillo de muestreo de la rama de amarre directamente a la entrada del manómetro.

Con la máquina encendida y el plato en posición cerrada, se accede al portón del sistema hidráulico y se regula la presión mediante la válvula reductora del circuito de amarre a una presión de 4 bar reflejada en el manómetro.



Figura 6-23: Regulación de presión de amarre a 4 bar

Una vez realizadas las conexiones pertinentes entre amplificador-puente y puente-anillo sensorizado, se abre el plato de garras y se coloca el anillo sobre éste, con la configuración de amarre que se expone en el capítulo 5. Se usan unas marcas a 120° para comprobar que el ángulo de posicionamiento del anillo es correcto.

6. Determinación de Fuerzas de Amarre



Figura 6-24: Anillo sobre el plato de garras y comprobación de posición

En este momento se reduce el valor de offset desde el amplificador (RV2) intentando reducirlo lo máximo posible. y se anota el valor que queda sin corregir. El sistema queda listo para comenzar la toma de valores de tensión.

Para tomar el primer valor se cierra el plato con el hidráulico configurado como se ha comentado anteriormente a 2 bar y se anota el valor ofrecido por el multímetro A/D.



Figura 6-25: Conjunto del sistema

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

Para obtener el resto de medidas se accede de nuevo al sistema hidráulico y se regula la presión al resto de valores determinados, que para este caso serán 4, 8, 10 y 12 y se anota el valor e tensión ofrecido para cada presión establecida.

Una vez realizada la última medida, se abre el plato y se da por finalizado el ensayo. Para comprobar la repetitividad del ensayo se han realizado 4 series. En una de ellas se ha monitorizado en tiempo real la salida del amplificador con el osciloscopio digital Picoscope, donde se puede apreciar la dinámica del ensayo realizado, reflejando los escalones de tensión que se producen durante el ajuste de presión y además que la tensión inicial es muy similar a la de finalización del ensayo, denotando que no se ha deformado el anillo.

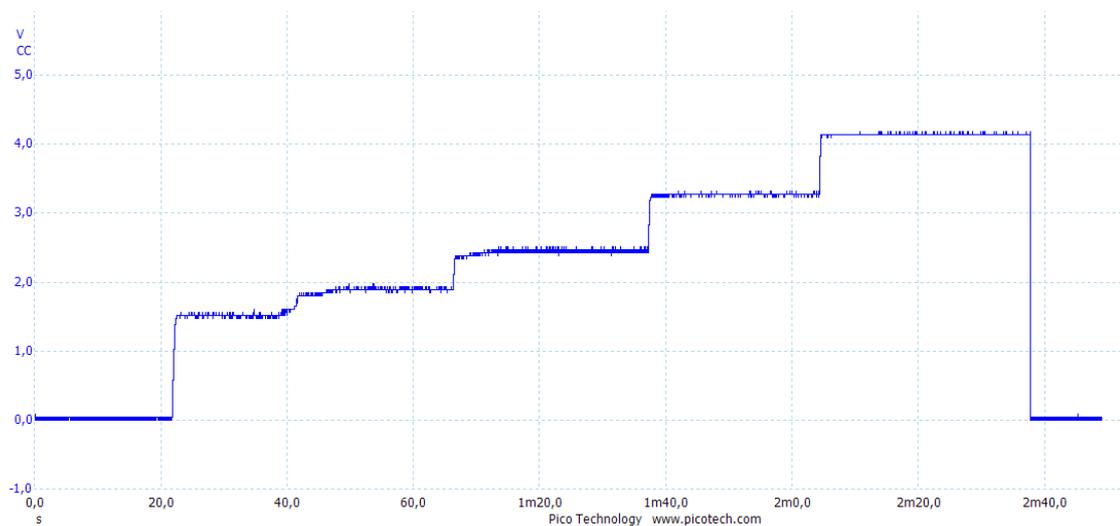


Figura 6-26: Monitorización de ensayo con Picoscope

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

6.7.2. Cálculo de deformaciones y fuerzas de amarre

Partiendo de la ecuación obtenida para la salida de un puente Wheatstone completo por efecto Poisson:

$$V_0 = V_{cc} \left(\frac{\varepsilon k(1 + \nu)}{2 + \varepsilon k(1 - \nu)} \right)$$

Puede desarrollarse para la determinación de la deformación quedando la ecuación de la siguiente forma:

$$\varepsilon = \frac{2V_0}{k[(1 + \nu)V_{cc} - (1 - \nu)V_0]}$$

Sabiendo que para la tensión a la salida del amplificador se cumple que $V = V_0 \times G$ se tiene que:

$$\varepsilon = \frac{2V}{k[(1 + \nu)V_{cc}G - (1 - \nu)V]}$$

Siendo:

$$V = V_{medida} - V_{offset}$$

Para el cálculo de la deformación de este anillo se tienen los siguientes datos:

- Tensión de alimentación del puente: $V_{cc} = 3020$ mV
- Factor de galga: $k = 2$
- Módulo de Poisson del material: $\nu = 0.3$
- $G = 1005.88$

Para el primer ensayo, el valor medido de offset es de:

- $V_{offset} = -29.9$ mV

Y en dicho ensayo, para la primera presión de 2 bar se obtiene una tensión de:

- $V_{medida} = 1328$ mV

De tal forma que la tensión a considerar V es:

$$V = V_{medida} - V_{offset} = 1328 - (-29.9) = 1357.9$$

6. Determinación de Fuerzas de Amarre

Y el valor de la deformación obtenida es:

$$\varepsilon = \frac{2V}{k[(1 + \nu)V_{cc}G - (1 - \nu)V]} = \frac{2 \cdot 1357.9}{2[(1 + 0.3)3020 \cdot 1005.88 - (1 - 0.3)1357.9]} = 3.46 \cdot 10^{-4}$$

Para comprobar que no se sobrepasa el límite elástico se realiza el cálculo de las tensiones en el punto de medida:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = 2 \cdot 10^{11} \cdot 3.46 \cdot 10^{-4} = 72.65 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

En este punto se recurre a la herramienta facilitada por Manuel Estrems para cálculo de deformaciones en platos de amarre de tres garras, descrita en [26] y [1] donde para las características geométricas y constantes de material del anillo usado, frente a una fuerza de amarre de 1N, en la posición donde se encuentran las galgas se obtiene una deformación: $\varepsilon_{1N} = 1,4362 \cdot 10^{-7}$

De tal forma que estableciendo una relación lineal entre fuerza y deformación [30] se obtiene una fuerza de amarre:

$$P_0 = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{1N}} = \frac{3.46 \cdot 10^{-4}}{1,4362 \cdot 10^{-7}} = 3276,08815 \text{ N}$$

De forma análoga se realizan los cálculos para el resto de valores de tensión y para las repeticiones realizadas.

A continuación se muestran tablas con los cálculos realizados para cada ensayo.

Nº Ensayo	Vcc (mV)	V offset(mV)	Offset final (mV)		
1	3020	-29.9	-30		
Presión (BAR)	V _{SALIDA} (mV)	V (mV)	ε	σ (MPa)	P0 (N)
4	1328	1357,9	0,000345957	72,65	2408,7465
6	1755	1784,9	0,00045478	95,50	3166,43278
8	2230	2259,9	0,000575856	120,93	4009,42782
10	2990	3019,9	0,00076962	161,62	5358,51705
12	3890	3919,9	0,000999145	209,82	6956,5959

Tabla 6-5: Cálculos ensayo 1



6. Determinación de Fuerzas de Amarre

Nº Ensayo	Vcc (mV)	V offset(mV)	Offset final (mV)		
2	3020	-32	-33		
Presión (BAR)	V _{SALIDA} (mV)	V (mV)	ϵ	σ (MPa)	P0 (N)
4	1282	1314	0,00033477	70,30	2330,85509
6	1803	1835	0,00046755	98,19	3255,33983
8	2240	2272	0,000578941	121,58	4030,90387
10	2970	3002	0,000765055	160,66	5326,73824
12	3910	3942	0,001004782	211,00	6995,84407

Tabla 6-6: Cálculos ensayo 2

Nº Ensayo	Vcc (mV)	V offset(mV)	Offset final (mV)		
3	3020	-30	-31		
Presión (BAR)	V _{SALIDA} (mV)	V (mV)	ϵ	σ (MPa)	P0 (N)
4	1320	1350	0,000343944	72,23	2394,72951
6	1766	1796	0,00045761	96,10	3186,13061
8	2290	2320	0,000591177	124,15	4116,09906
10	3010	3040	0,000774745	162,70	5394,20187
12	3900	3930	0,001001721	210,36	6974,53281

Tabla 6-7: Cálculos ensayo 3

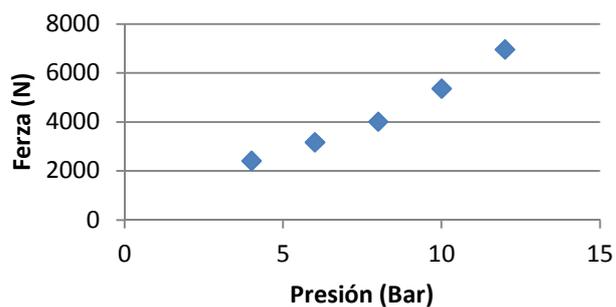
6. Determinación de Fuerzas de Amarre

6.7.3. Presentación de resultados

A continuación se presentan las curvas de fuerza de amarre frente a presión del grupo hidráulico:

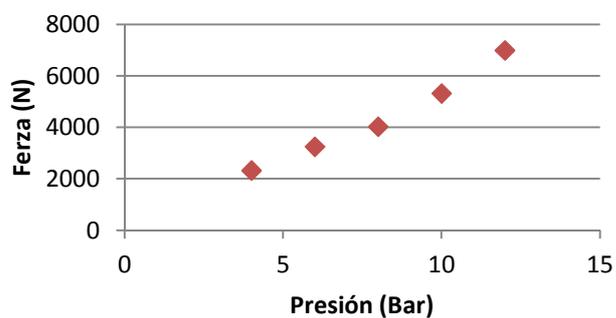
Nº Ensayo	
1	
Presión (BAR)	P0 (N)
4	2408,74
6	3166,43
8	4009,42
10	5358,51
12	6956,59

Ensayo 1



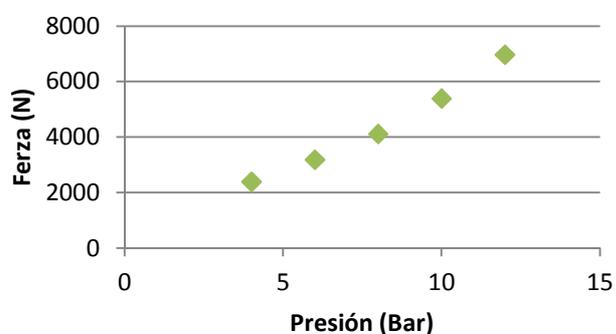
Nº Ensayo	
2	
Presión (BAR)	P0 (N)
4	2330,85
6	3255,33
8	4030,90
10	5326,73
12	6995,84

Ensayo 2



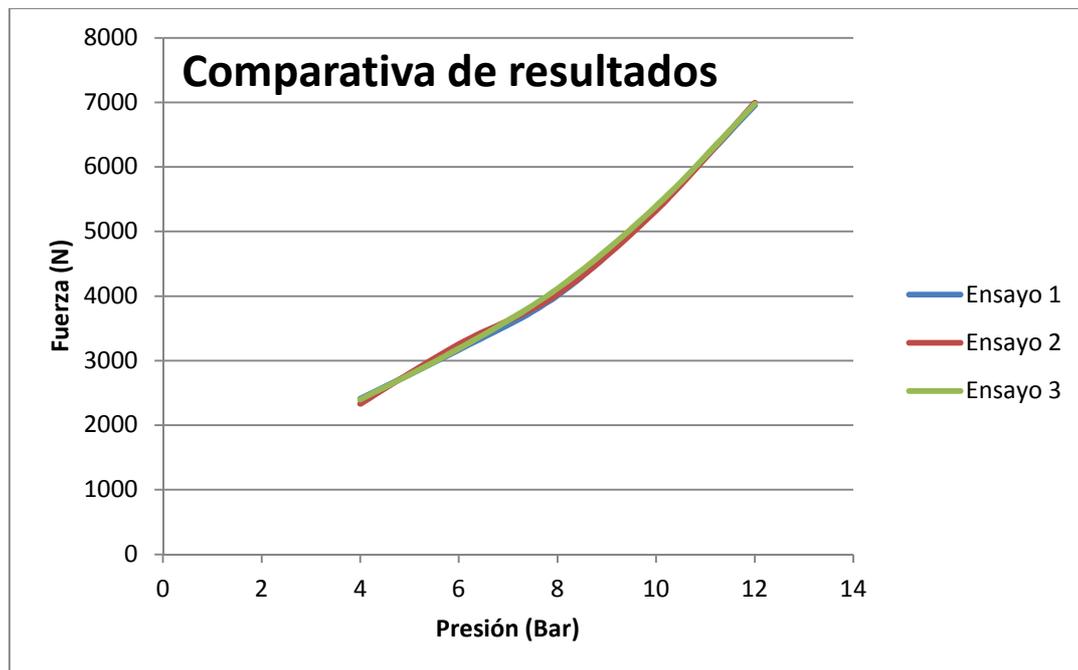
Nº Ensayo	
3	
Presión (BAR)	P0 (N)
4	2394,73
6	3186,13
8	4116,10
10	5394,20
12	6974,53

Ensayo 3



Uniando las dispersiones en un solo gráfico se aprecia la repetitividad de los ensayos:

6. Determinación de Fuerzas de Amarre



A la vista de los resultados de estas gráficas, en los tres ensayos se contempla un ligero codo de la curva a partir de los 8 bares. Este fenómeno puede haberse producido al alcanzar la presión mínima del cilindro.

En todo caso, tras la barrera de los 8 bar, se sigue apreciando una ligera variación gradual de la pendiente, mostrando un comportamiento no lineal. Pese a que la amplificación teórica de este tipo de sistemas suele ser lineal, las fuerzas de rozamiento pueden producir variaciones.

Dado que el sistema de amarre ha estado años sin recibir lubricación, la respuesta obtenida podría justificarse de este modo. Este hecho, además implicaría una reducción de fuerzas de amarre respecto de la nominal de la máquina.

Respecto a las tensiones mecánicas obtenidas en el punto de medida, se encuentran cerca del límite elástico del material, pudiéndose estimar este en 235 MPa. No obstante, al obtener valores de offset inicial y final con una diferencia bastante reducida, dentro del rango de deriva habitual en el amplificador, tal y como se adelantó en el apartado de realización del ensayo, no hay motivos para pensar que el anillo ha alcanzado el régimen de plasticidad.

7. Conclusiones

7. Conclusiones

7.1. Conclusiones

En este trabajo se ha realizado un proceso de documentación extensiva, llevando a cabo la recopilación de información técnica de los elementos que componen cada uno de los subsistemas del torno de CN Danobat Danumeric NI-650.

Dada la importancia que supone conocer las fuerzas de amarre en los procesos de mecanizado de anillos de precisión, durante el trabajo de documentación se ha hecho especial hincapié en el sistema hidráulico, desde el cual se pueden regular dichas fuerzas. A partir de la documentación obtenida de cada elemento del subsistema, se ha podido dar una visión cualitativa global del circuito hidráulico y su funcionamiento.

Además, durante la realización del proyecto se ha intentado dar solución a la calibración de herramientas y proponer un método práctico y sencillo de recuperación de la máquina ante la pérdida de información del PLC ocurrida en más de una ocasión.

Abarcando el otro gran campo del TFG, se han propuesto soluciones para ejecutar con seguridad y precisión el amarre de anillos en el plato instalado, desde dos puntos de vista diferentes.

Por un lado, el modelo realizado en SolidWorks del plato de amarre, aporta una herramienta para facilitar el proceso de mecanizado de garras blandas para realizar un amarre sólido de los anillos mediante las configuraciones propuestas.

Por otro lado, se ha podido realizar con éxito la medición de fuerzas de amarre por medio de un dispositivo relativamente económico en comparación con otro tipo de equipos comerciales.

7. Conclusiones

7.2. Mejoras futuras

De este trabajo se espera que pueda servir como base para encauzar futuras publicaciones relativas a la puesta a punto del Danumeric NI-650 o a sistemas de medición de fuerzas de amarre en general, así como un documento que pueda usarse con fines docentes. A tal efecto se exponen una serie de propuestas de mejora:

- Copias de seguridad de la memoria de forma más frecuente

Es recomendable realizar copias de seguridad de las tablas y programas cada vez que se modifiquen, para evitar contratiempos ante una pérdida de memoria. Aunque se han reparado las conexiones de la batería de alimentación de la RAM del control Fagor, ésta puede descargarse.

- Mejora de la calibración

Aunque se ha intentado realizar la calibración de las herramientas instaladas, dado el descentrado de las garras no se ha llegado a calibrar con precisión mayor a una décima de milímetro. A partir del mecanizado de nuevas garras podría hacerse una calibración más precisa. Usar el método de calibración con palpador facilitaría la calibración.

- Habilitar el sistema de refrigeración

Las pruebas de mecanizado se han realizado en seco ya que se han usado profundidades de corte reducidas, pero resulta necesaria la puesta a punto del sistema para poder realizar todo tipo de operaciones.

- Mantenimiento de la máquina

Es preciso un mayor mantenimiento de la máquina, especialmente del plato de amarre, ya que la lubricación de éste no se realiza mediante la central de engrase.



7. Conclusiones

- Uso de puente Wheatstone completo

La utilización del puente completo elimina errores de linealidad y por posibles variaciones de la deformación transversal recogida en el puente completo por efecto Poisson. Este puente precisa de la instalación de galgas en la cara interior y exterior del anillo. Para esto se hace necesario que el anillo sensorizado sea mecanizado con un acabado aceptable por sus caras exterior e interior.

- Implementación de sistema capaz de medir fuerzas durante el giro

Un desarrollo interesante sería la posibilidad de realizar la medida de deformaciones desde un anillo que tuviese anclados el amplificador y un dispositivo que pudiese o bien establecer comunicación bluetooth para transmitir la salida del amplificador o una memoria interna capaz de guardar los valores para su posterior volcado, como puede ser Arduino Mini o algún otro PIC de plataforma libre.

Sin duda el mayor reto en esta idea sería conseguir un sistema lo suficientemente compacto y robusto como para aguantar las fuerzas centrífugas sin alterar la medida de deformaciones. No obstante, en caso de conseguirse, se podría competir con productos comerciales de precio muy elevado.

8. Bibliografía

Bibliografía

- [1] M. A. W. E. C. A. L. M. Estrems, *Measurement of clamping forces in a 3 jaw chuck through an*, 2015.
- [2] G. A. A. A. P.X. Aristimuño Osoro, *Determinación de fuentes de incertidumbre en la sujeción de piezas en el torno*.
- [3] Secretariat Range Commanders Council US Army White Sands Missile Range New Mexico, *INSTRUMENTATION ENGINEERS HANDBOOK*, 2013.
- [4] D. Warne, *Newnes Electrical Power Engineer's Handbook*, Newnes, 2005.
- [5] J. M. D. Moyano, *Instrumentación electrónica de comunicaciones*, Santander, 2005.
- [6] Danobat, *Datos técnicos y características de máquina*.
- [7] Platos Galvez, *Catálogo general*, 2013.
- [8] Siemens Manuals, *AC main spindle drives*, 1990.
- [9] S. Manuals, *Simodrive 660 transistor PWM converters for ac main spindle drives*, 1993.
- [10] Balluf, «<https://www.balluff.com/local/es/productfinder/#/ca/A0001/cg/G0113/product/F01308>,» [En línea].
- [11] S. Manuals, *SIMODRIVE 611 digital, Manual de configuración*, 2007.
- [12] Siemens , *Simodrive AC Motors for feed and main spindle drives planning guide*, 2000.
- [13] Diplomatic Automation, *BSV-N series 25 Electromechanical turrets*, 2008.
- [14] Intza, *GE01,GE02,GE03 Central de engrase para aceite*, 2011.
- [15] Bosch Rexroth Group, *Variable vane pumps, pilot operated*, 2007.



Bibliografía

- [16] B. R. Group, *Directional valves solenoid operated*, 2016.
- [17] Bosch Rexroth Group, *Válvula reductora de presión, de mando directo, tipo ZDR 6 D*, 2003.
- [18] Bosch Rexroth Group, *Hydro-electric pressure switch, type hed 8*, 2016.
- [19] Fagor Automation, *Fagor 8050 manual de instalación*.
- [20] Fagor Automation, *Fagor 8050T manual de operación*.
- [21] «ecommerce.unceta.es/,» [En línea].
- [22] «www.rohmiberica.com,» [En línea].
- [23] M. R. K. P. Adam Patalas, *Studies of thin-walled parts deformation by gripping force during turning process on an example of bearing ring*, 2018.
- [24] «www.hainbuch.com,» [En línea].
- [25] Rohm, *Operating Manual F-Senso*.
- [26] M. A. A. J. Z. A. G. M. Estrems, *Numerical Method to Calculate the Deformation of Thin Rings*, 2015.
- [27] RSpro, *RS PRO Foil Strain Gauges Datasheet*.
- [28] RSpro, *RS 846-171 STRAIN GAUGE AMPLIFIER DATA SHEET*.
- [29] D. I. R. R. L. Ascencio, *IMPLANTACIÓN DE GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS*.
- [30] S. Timoshenko, *Resistencia de materiales primera y segunda parte*, Madrid: Espasa-Calpe, 1957.
- [31] R. Datasheet, *Strain gauges and load cell*, 1996.
- [32] Agilent Technologies, *PRACTICAL STRAIN GAGE MEASUREMENT*, 1999.

Índice de figuras

FIGURA 2-1: AMPLIFICADOR DIFERENCIAL[5].....	20
FIGURA 2-2: AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN[5]	22
FIGURA 2-3: VISHAY P3 Y AD 522SD	23
FIGURA 3-1 DANOBAT DANUMERIC NI-650	25
FIGURA 3-2: VISTA TRASERA. PORTONES	27
FIGURA 3-3: PLATO HUSL 200 INSTALADO Y FOTOGRAFÍA DE CATÁLOGO	29
FIGURA 3-4: CILINDRO: CORREAS DE TRACCIÓN, PLACA DE CARACTERÍSTICAS Y SENSORES.....	30
FIGURA 3-5: MOTOR PRINCIPAL. CAJA DE CONEXIONES Y ESQUEMA DE CONEXIONES DEL ENCODER	31
FIGURA 3-6: DIAGRAMA DE CONTROL DE MOTOR MEDIANTE SIMODRIVE 660.....	32
FIGURA 3-7: SIMODRIVE 660 INSTALADO.....	32
FIGURA 3-8: CONTRAPUNTO	33
FIGURA 3-9: HUSILLO DE BOLAS Y FINAL DE CARRERA BALLUF, (DISPOSITIVO E INSTALACIÓN)	34
FIGURA 3-10: INTERIOR DE LA MÁQUINA. SERVOMOTOR EJE X Y FINAL DE CARRERA DE EJE Z	35
FIGURA 3-11: SERVOMOTOR 1FT5074	36
FIGURA 3-12: SIMODRIVE 611. CONEXIÓN 600V CC EN MÓDULOS DE VIGILANCIA Y RESISTENCIAS	37
3-13: TORRETA Y DISCO PORTAHERRAMIENTAS	38
FIGURA 3-14: BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE REFRIGERANTE VOGUEL.....	39
FIGURA 3-15: CINTA EN LA CÁMARA DE MECANIZADO Y BRAZO DE EXTRACCIÓN	40
FIGURA 3-16: SALIDA DEL EXTRACTOR DE VIRUTA.....	40
FIGURA 3-17: CENTRAL DE ENGRASE Y PLACA DE CARACTERÍSTICAS DEL ACEITE	42
FIGURA 3-18: PRESIÓN DE ACEITE Y DISTRIBUIDOR.....	42
FIGURA 3-19: GRUPO HIDRÁULICO	43
FIGURA 3-20: SITUACIÓN DE LA BOMBA Y MOTOR	43
FIGURA 3-21: REGULADORES DE PRESIÓN Y CAUDAL	44
FIGURA 3-22: ELECTROVÁLVULAS SECCIONADORAS	44
FIGURA 3-23: VÁLVULAS REDUCTORAS.....	45
FIGURA 3-24: SWITCH POR PRESIÓN HED8	45
FIGURA 3-25: MANÓMETRO Y VÁLVULA SELECTORA	46
FIGURA 3-26: ESQUEMA HIDRÁULICO	46
FIGURA 3-27: CAJA AUXILIAR DE CONEXIONES X600.....	52
FIGURA 3-28: TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTACIÓN, ALIMENTACIÓN MONOFÁSICA, CONTACTOR PRINCIPAL Y FUSIBLES	52
FIGURA 3-29: MAGNETOTÉRMICOS (QM) Y CONTACTORES (KM).....	53
FIGURA 3-30: CONTACTORES AUXILIARES DE INSTRUMENTACIÓN Y ACCIONAMIENTOS OMRON	53
FIGURA 3-31: REGLETA GENERAL Y AUXILIARES I/O XT109 Y 110	54
FIGURA 3-32: CONTACTOR DEL REGULADOR PRINCIPAL	54
FIGURA 3-33: FILTROS RC TRIFÁSICOS	55
FIGURA 3-34: CONTROL FAGOR. PANEL, MÓDULOS Y UBICACIÓN DE LA BATERÍA	57
FIGURA 3-35: ESQUEMA DE CONEXIÓN RS232[19]	62
FIGURA 3-36: CONFIGURACIÓN WINDNC	62
FIGURA 3-37: MÁQUINAS CREADAS	63

Índice de figuras

FIGURA 3-38: FICHEROS DE TABLAS. A LA IZQUIERDA, DIRECTORIO DE TRABAJO DEL PC. A LA DERECHA TABLAS GUARDADAS EN EL CNC.....	63
FIGURA 3-39: PANTALLA DE EDICIÓN DE FICHEROS	64
FIGURA 4-1: PANTALLA DE GEOMETRÍA DE HERRAMIENTA	68
FIGURA 4-2: HERRAMIENTA T3	70
FIGURA 4-3: PROBETA MECANIZADA.....	71
FIGURA 4-4: MEDIDA DE DESCENTRADO CON RELOJ COMPARADOR.....	72
FIGURA5-5-1: GARRA GB-16	78
FIGURA 5-5-2: BASE DEL PLATO.....	78
FIGURA5-5-3: CORREDERA. PASO NORMALIZADO 1/16'	79
FIGURA5-5-4: TUERCA T16	79
FIGURA 5-5: PLATO ENSAMBLADO. POSICIONES DE APERTURA Y CIERRE	80
FIGURA 5-6: ANILLO PARA ENSAYOS	81
FIGURA 5-7: GARRA MECANIZADA PARA AMARRE EXTERIOR	83
FIGURA 5-8: CONFIGURACIÓN DE AMARRE EXTERIOR	83
FIGURA 5-9: DIÁMETRO DE AMARRE EXTERIOR Y DIÁMETRO DE PIEZA MÁRTIR.....	84
FIGURA 5-10: GARRA MECANIZADA PARA AMARRE INTERIOR.....	84
FIGURA 5-11: CONJUNTO DE AMARRE INTERIOR	85
FIGURA 5-12: DIÁMETRO INTERIOR Y DIÁMETRO DE PIEZA MÁRTIR.....	85
FIGURA 5-13: CONFIGURACIÓN PARA GRANDES DIÁMETROS 1.....	86
FIGURA 5-14: CONFIGURACIÓN PARA GRANDES DIÁMETROS 2	86
FIGURA 5-15: CONFIGURACIÓN DE AMARRE PARA LOS ENSAYOS DE FUERZA.....	87
FIGURA 6-1: DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES Y DEFORMADA EN UN ANILLO AMARRADO POR PLATO DE 3 GARRAS. AMARRE PUNTUAL.....	89
FIGURA 6-2: DEFORMACIONES PRODUCIDAS POR AMARRE CON TRES GARRAS[23].....	90
FIGURA 6-3: ESQUEMA DEL SISTEMA	92
FIGURA 6-4: HOJAS DE RESULTADOS DEL TEST DE REDONDEZ A 15 Y 20 MM DE ALTURA.....	95
FIGURA 6-5: PROBETA PARA ENSAYOS PRELIMINARES.....	96
FIGURA 6-6: GALGA RS PARA ACERO DULCE	97
FIGURA 6-7: AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN RS 846-171	98
FIGURA 6-8: ESQUEMÁTICO CIRCUITO ACONDICIONADOR Y AMPLIFICADOR RS.....	99
FIGURA 6-9: COMPONENTES PARA MONTAJE DEL CIRCUITO Y PLACA TERMINADA.....	99
FIGURA 6-10: AMPLIFICADOR RS CONSOLIDADO.....	101
FIGURA 6-11: MULTÍMETRO KAISE UTILIZADO.....	102
FIGURA 6-12: MEDIO PUENTE CRUZADO Y PUENTE COMPLETO.....	104
FIGURA 6-13: INSTALACIÓN DE GALGAS SOBRE ANILLO	110
FIGURA 6-14: INSTALACIÓN DE GALGAS SOBRE PROBETA PARA ENSAYOS PRELIMINARES	110
FIGURA 6-15: CABLEADO CON PUENTE SOBRE LA PIEZA	111
FIGURA 6-16: COLECTOR DE TERMINALES PARA CONSTRUCCIÓN DE PUENTE WHEATSTONE.....	112
FIGURA 6-17: DERIVA DE LA SEÑAL.....	115
FIGURA 6-18: ANÁLISIS DE ESPECTRO DE FRECUENCIA	115
FIGURA 6-19: VARIACIÓN DE LA SEÑAL FRENTE A CORRIENTE DE AIRE FRÍO	116
FIGURA 6-20: ENSAYO DE 8 MINUTOS DE DURACIÓN CON DESVIACIÓN DE 0.5mV	116
FIGURA 6-21: DISPOSICIÓN DE LA PROBETA EN PRENSA	117
FIGURA 6-22: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN LA PRENSA.....	118
FIGURA 6-23: REGULACIÓN DE PRESIÓN DE AMARRE A 4 BAR	119
FIGURA 6-24: ANILLO SOBRE EL PLATO DE GARRAS Y COMPROBACIÓN DE POSICIÓN	120
FIGURA 6-25: CONJUNTO DEL SISTEMA	120



Índice de figuras

FIGURA 6-26: MONITORIZACIÓN DE ENSAYO CON PICOSCOPE	121
---	-----



Índice de tablas

Índice de tablas

TABLA 3-1: CARACTERÍSTICAS GENERALES DANUMERIC NI-650	28
TABLA 3-2: CARACTERÍSTICAS HUSL 200	29
TABLA 3-3: CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR PRINCIPAL	30
TABLA 3-4: CARACTERÍSTICAS MOTOR EJE X.....	35
TABLA 3-5: CARACTERÍSTICAS MOTOR EJE Z	36
TABLA 3-6: CARACTERÍSTICAS TORRETA DUPLOMATIC	38
TABLA 3-7: CARACTERÍSTICAS DE CENTRAL DE ENGRASE	41
TABLA 3-8: CARACTERÍSTICAS BOMBA DEL SISTEMA HIDRÁULICO	49
TABLA 3-9: CARACTERÍSTICAS ELECTROVÁLVULAS DE MANDO	50
TABLA 3-10: CARACTERÍSTICAS VÁLVULAS REDUCTORAS	50
TABLA 3-11: CARACTERÍSTICAS SWITCH DE PRESIÓN	51
TABLA 3-12: SALIDAS PLC.....	59
TABLA 3-13: ENTRADAS PLC	60
TABLA 3-14: PARÁMETROS PARA ESTABLECIMIENTO DE COMUNICACIÓN RS232	61
TABLA 3-15: FUNCIONES M CODIFICADAS EN EL TORNO	66
TABLA 4-1: TABLA DE CALIBRACIÓN DE HERRAMIENTAS	70
TABLA 4-2: PROGRAMA PARA CALIBRACIÓN	71
TABLA 4-3: DATOS DESCENTRADO DE GARRAS	73
TABLA 6-1: CARACTERÍSTICAS GALGAS.....	97
TABLA 6-2: CARACTERÍSTICAS CI AMPLIFICADOR.....	98
TABLA 6-3: COMPONENTES DEL CIRCUITO DE ADECUACIÓN	99
TABLA 6-4: DATOS DEL MULTÍMETRO DIGITAL KAISE MY.....	102
TABLA 6-5: CÁLCULOS ENSAYO 1	123
TABLA 6-6: CÁLCULOS ENSAYO 2	124
TABLA 6-7: CÁLCULOS ENSAYO 3	124

Anexos

A) Memoria Económica

B) Planos

ANEXO A) MEMORIA ECONÓMICA

RS COMPONENTES

DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	SUBTOTAL
Amplificador de galga	59,47 €	1	59,47 €
Placa para amplificador de galga	4,79 €	1	4,79 €
Galga de deformación, 120Ω	8,76 €	4	35,04 €
Caja de ABS, 190 x 110 x 60mm	7,56 €	1	7,56 €
Interruptor de balancín	3,13 €	1	3,13 €
LM4040DIZ-5.0/NOPB	3,08 €	2	6,16 €
Condensador electrolítico 10μF	0,16 €	2	0,31 €
Condensador de poliéster 100nF	0,15 €	2	0,30 €
Condensador de poliéster 10nF	0,15 €	3	0,46 €
Potenciómetro para PCB 10kΩ	2,62 €	2	5,24 €
Resistencia , 100kΩ, ±1%	0,14 €	2	0,27 €
Resistencia, 100Ω, ±1%	0,10 €	2	0,20 €
Resistencia,68Ω, ±1%	0,13 €	2	0,26 €
Resistencia , 10Ω, ±1%	0,09 €	2	0,18 €
Resistencia, 47Ω, ±1%	0,13 €	2	0,26 €
Resistencia, 1kΩ, ±1%, 0,6W	0,09 €	2	0,18 €
Resistencia, 680Ω, ±1%	0,13 €	2	0,26 €
Conectores Banana Macho	0,43 €	10	4,30 €
Conectores Banana Hembra	0,32 €	10	3,20 €
Recubrimiento Galgas	5,70 €	1	5,70 €

BASE IMPONIBLE	139,87 €
IVA	29,37 €
TOTAL	161,24 €

RAYTE

DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	SUBTOTAL
Transistor BD135 NPN	0,55 €	1	0,55 €
Transistor BD136 PNP	0,55 €	1	0,55 €
Transistor BC108 NPN	0,63 €	1	0,63 €
Resistencia120Ω, ±1%	0.20	2	0.40
Resistencia,2KΩ, ±1%	0.20	1	0.20

IVA	Incluido
TOTAL	2.33 €

UNCETA

DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	SUBTOTAL
Garras GB16	74.25€	1	74.25€

IVA	Incluido
TOTAL	74.25€

RESUMEN

PROVEEDOR	SUBTOTAL
RS	161.24€
RAYTE	2.33 €
UNCETA	74.25€

TOTAL	232.82€
-------	---------

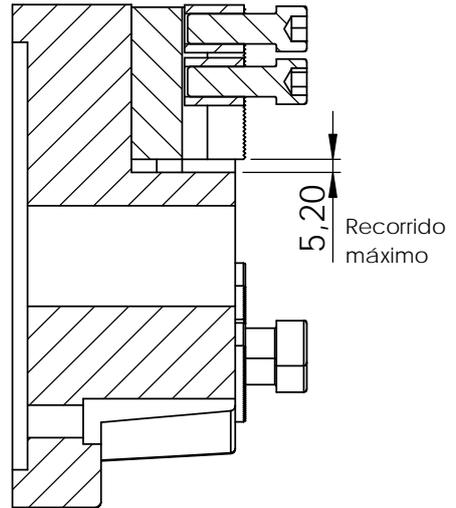
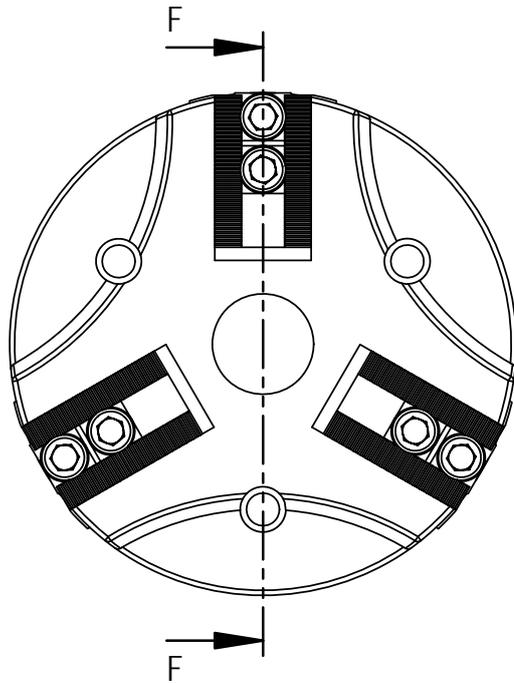
ANEXO B) PLANOS

1. CONUNTO PLATO AMARRE
 - 1A. BASE
 - 1B. CORREDERA
 - 1C. TUERCA
 - 1D. TORNILLOS

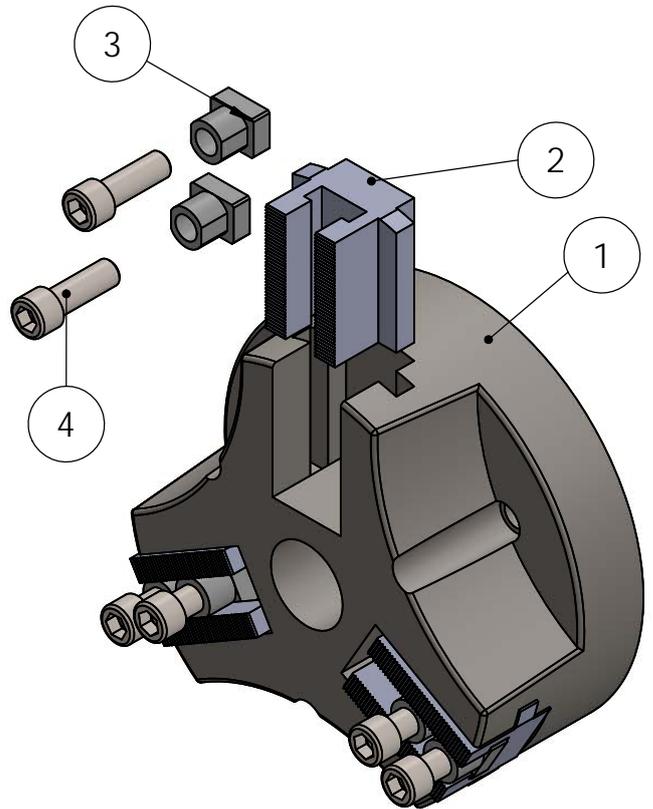
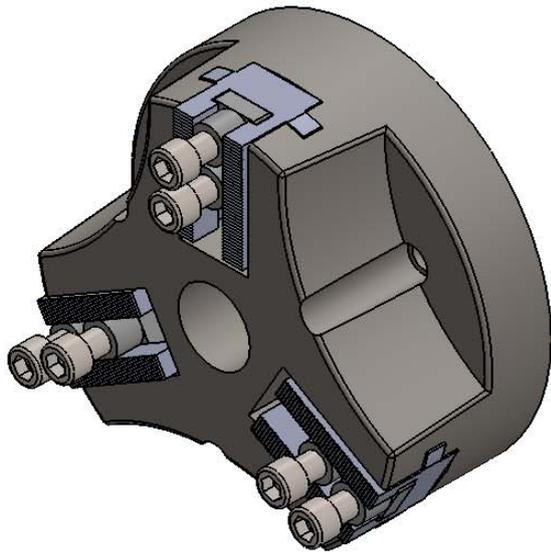
2. ANILLO INSTRUMENTADO

3. GARRA GB-16
 - 2A. MODIFICACIÓN GB-16 AMARRE EXTERIOR
 - 2B. MODIFICACIÓN GB-16 AMARRE INTERIOR
 - 2C. MODIFICACIÓN GB-16 DIÁMETROS SUPERIORES

4. ESQUEMA GENERAL DE CONEXIONES
 - 4A. PUENTE WHEATSTONE
 - 4B. ESQUEMÁTICO PLACA AMPLIFICADOR



F-F (1 : 3)



ITEM NO.	DESCRIPCIÓN	QTY.
1	BASE	1
2	CORREDERA	3
3	TUERCA	6
4	TORNILLO M12	6



UNIVERSIDAD POLITECNICA
DE CARTAGENA

TFG: Adaptación de torno de control numérico para la
fagricación de anillos de alta precisión

TÍTULO:

CONJUNTO PLATO DE AMARRE

ANEXO

A

FORMATO
A4V

COMENTARIOS:
Simplificación. Modelado
orientado a comportamiento
de garras

ALUMNO:

JOSÉ ANTONIO GONZÁLVEZ MARTÍNEZ

NUMERO
PLANO

1

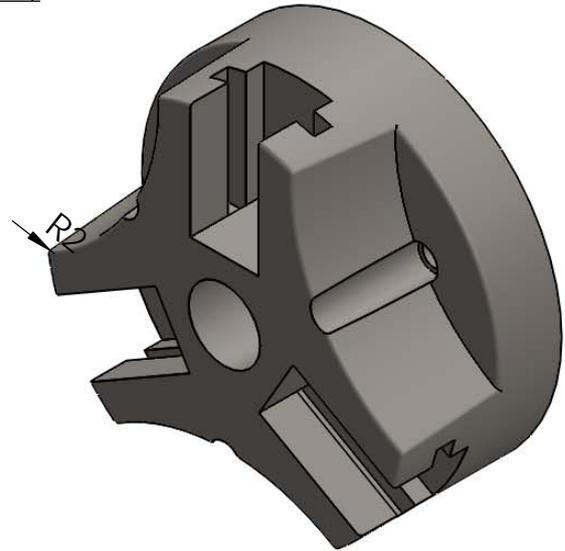
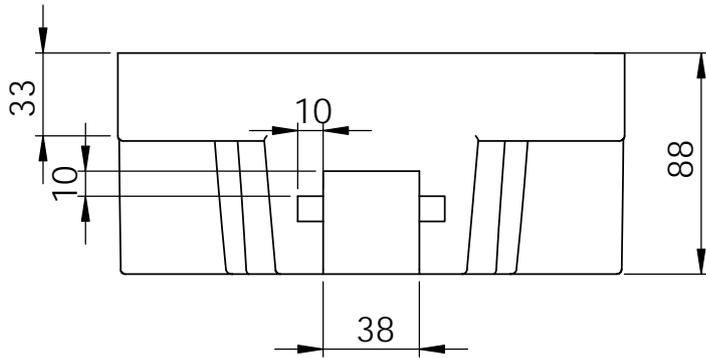
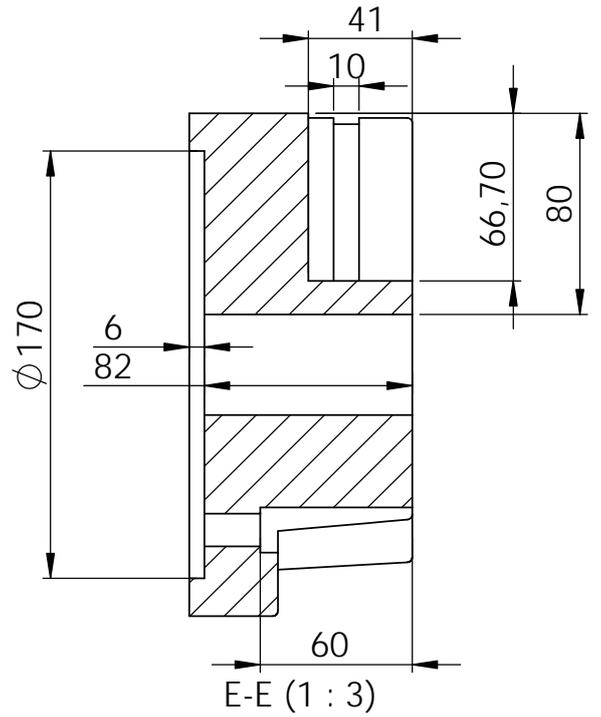
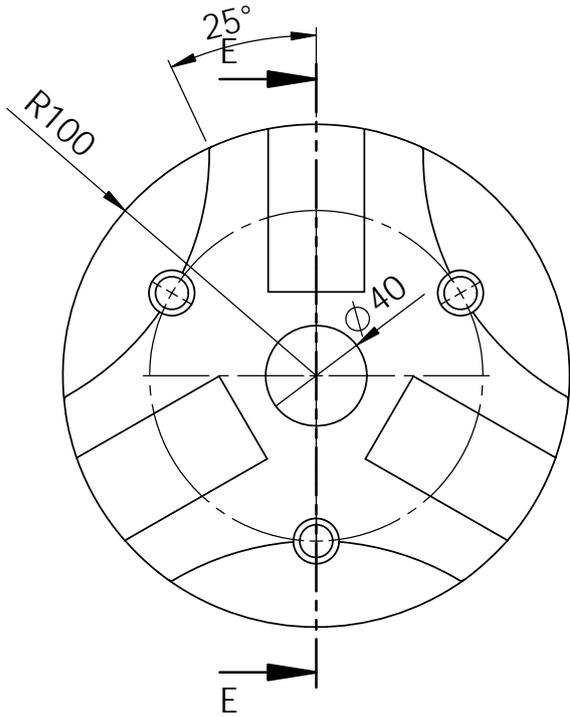
FECHA:

OCTUBRE 2019

ESCALA:

1:3

TITULACIÓN:
GIE



UNIVERSIDAD POLITECNICA
DE CARTAGENA

TFG: Adaptación de torno de control numérico para la
fagricación de anillos de alta precisión

TITULO:

BASE

ANEXO

A

FORMATO
A4V

COMENTARIOS:

ALUMNO:

JOSÉ ANTONIO GONZÁLVEZ MARTÍNEZ

NUMERO
PLANO

1A

FECHA:

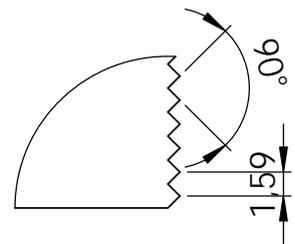
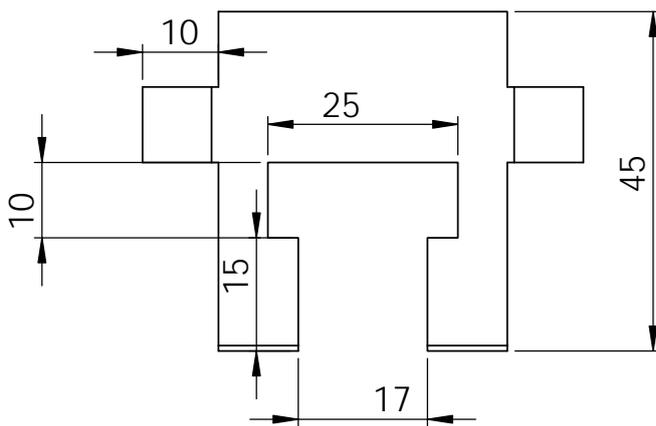
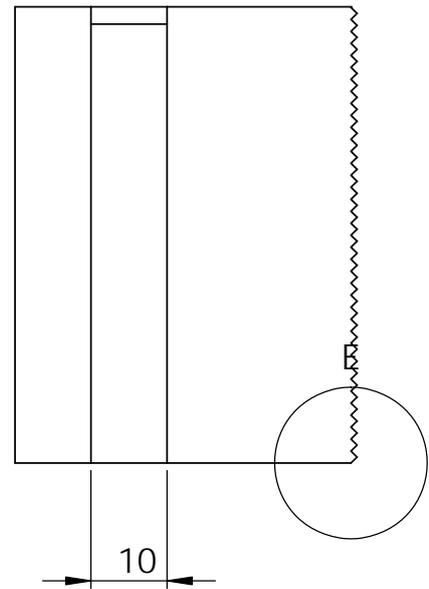
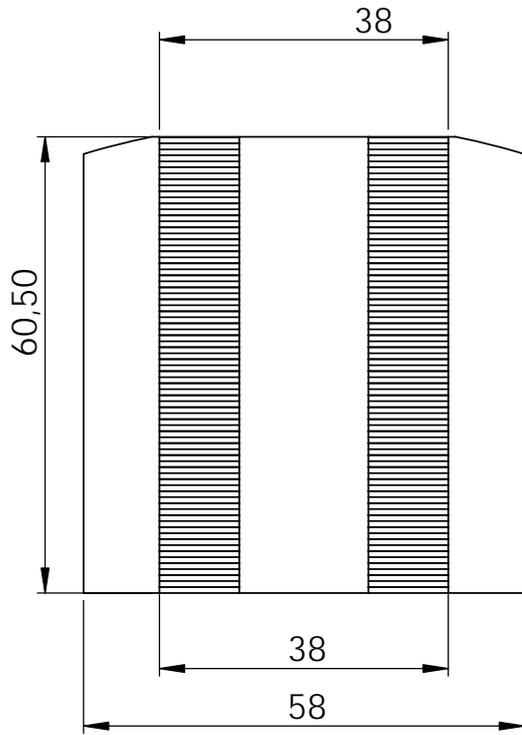
OCTUBRE 2019

ESCALA:

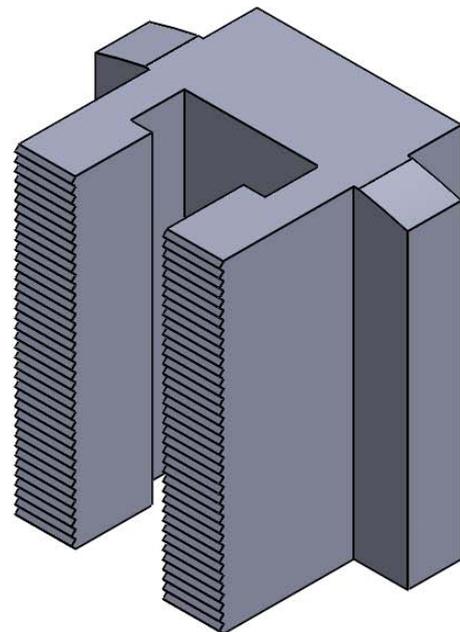
1:3

TITULACIÓN:

GIE



E (2 : 1)



UNIVERSIDAD POLITECNICA
DE CARTAGENA

TFG: Adaptación de torno de control numérico para la
fagricación de anillos de alta precisión

TÍTULO:

CORREDERA

ANEXO

A

FORMATO
A4V

COMENTARIOS:

ALUMNO:

JOSÉ ANTONIO GONZÁLVEZ MARTÍNEZ

NUMERO
PLANO

1B

FECHA:

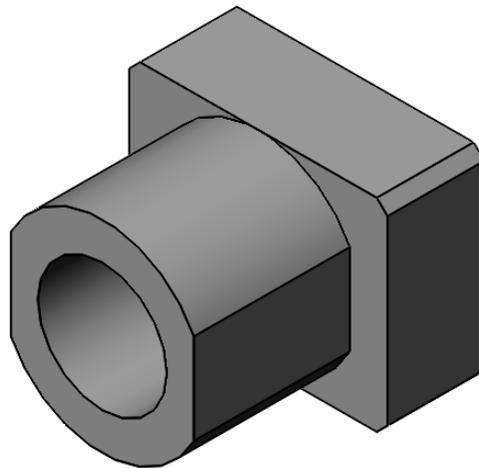
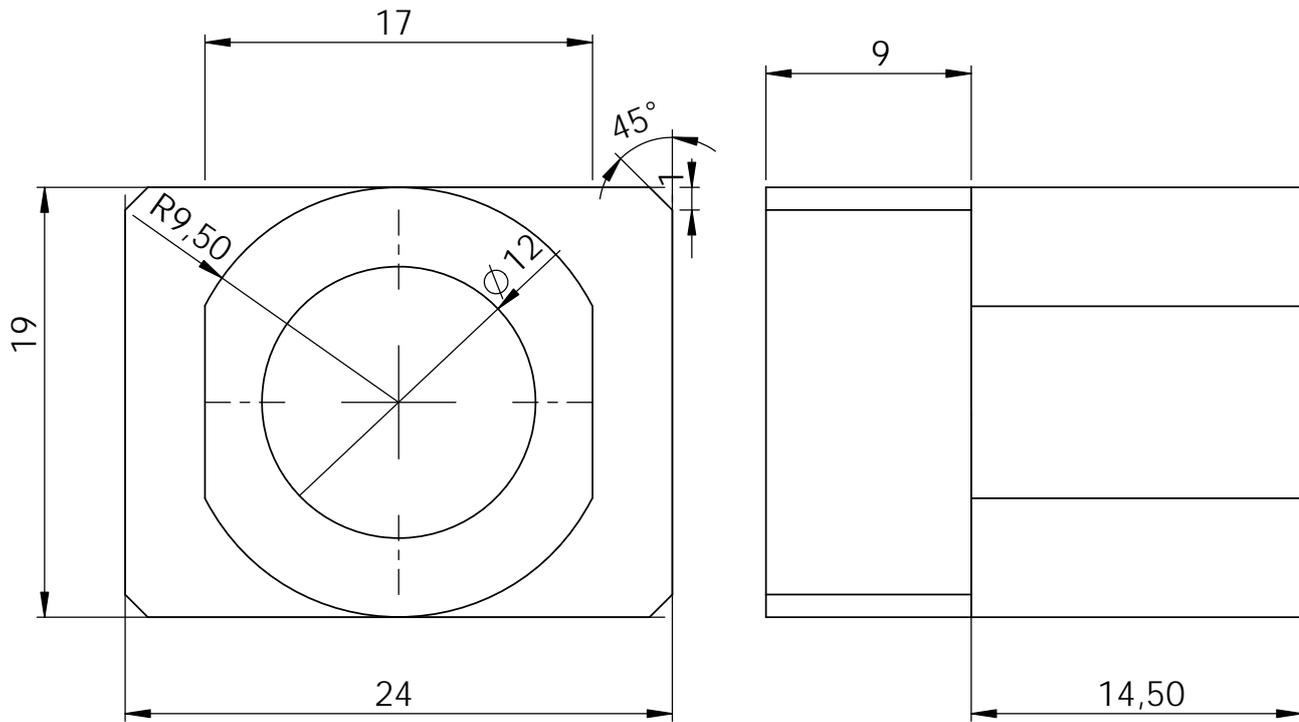
OCTUBRE 2019

ESCALA:

1:1

TITULACIÓN:

GIE



UNIVERSIDAD POLITECNICA
DE CARTAGENA

TFG: Adaptación de torno de control numérico para la
fagricación de anillos de alta precisión

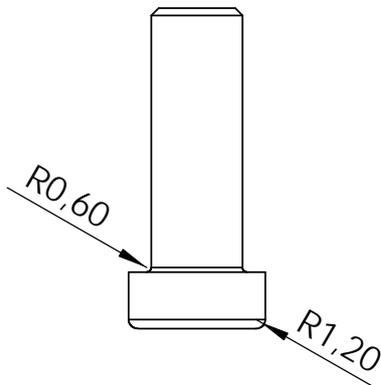
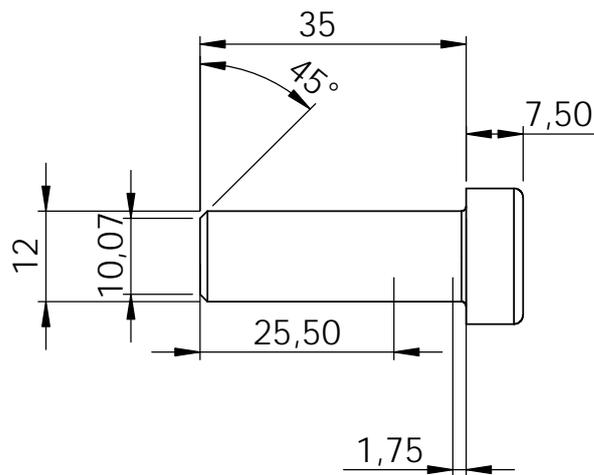
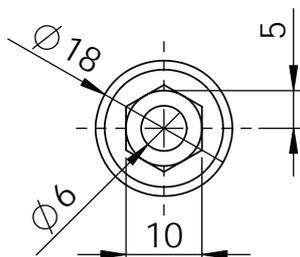
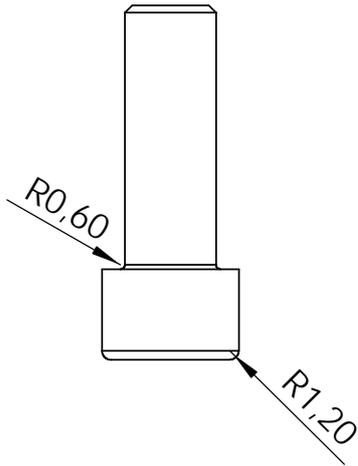
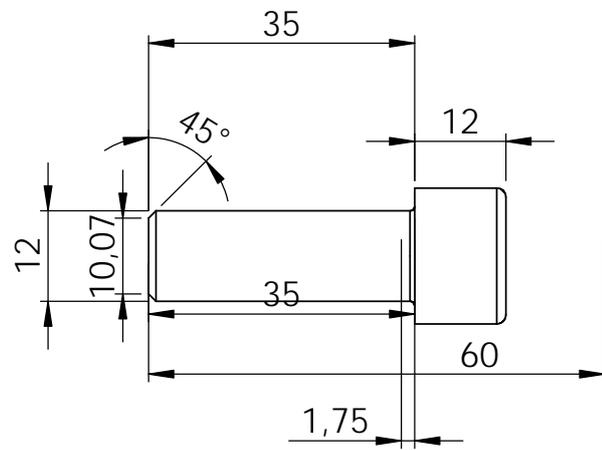
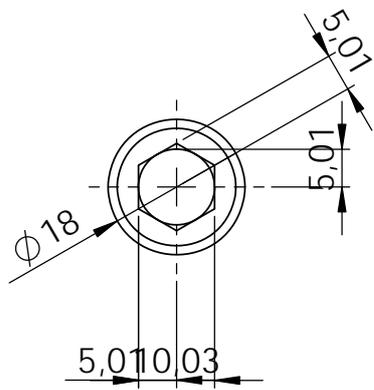
TÍTULO:	TUERCA	ANEXO	A
---------	--------	-------	---

ALUMNO:	JOSÉ ANTONIO GONZÁLVIZ MARTÍNEZ	NUMERO PLANO	1C
---------	---------------------------------	--------------	----

FECHA:	OCTUBRE 2019	ESCALA:	1:1	TITULACIÓN:	GIE
--------	--------------	---------	-----	-------------	-----

FORMATO
A4V

COMENTARIOS:



UNIVERSIDAD POLITECNICA
DE CARTAGENA

TFG: Adaptación de torno de control numérico para la
fabricación de anillos de alta precisión

TÍTULO:

TORNILLOS DIN 912 Y 6912

ANEXO

A

FORMATO
A4V

COMENTARIOS:
Modelos de Toolbox de
SolidWorks

ALUMNO:

JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ MARTÍNEZ

NUMERO
PLANO

1D

FECHA:

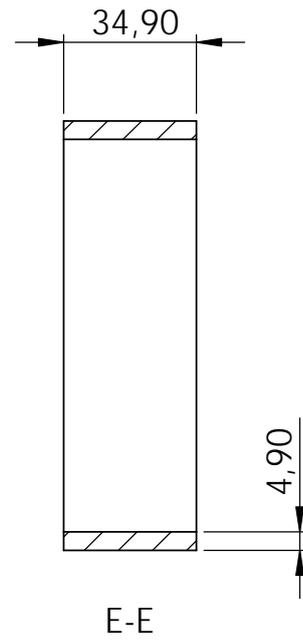
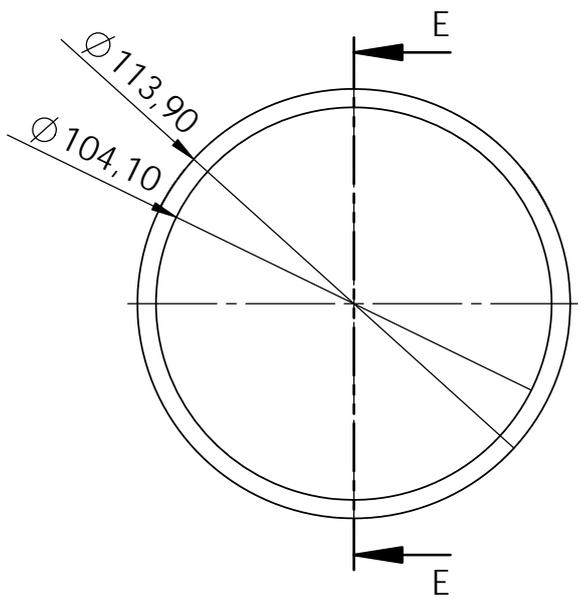
OCTUBRE 2019

ESCALA:

1:1

TITULACIÓN:

GIE



UNIVERSIDAD POLITECNICA
DE CARTAGENA

TFG: Adaptación de torno de control numérico para la
fagricación de anillos de alta precisión

TITULO:

ANILLO INSTRUMENTADO

ANEXO

A

FORMATO

A4V

COMENTARIOS:

ALUMNO:

JOSÉ ANTONIO GONZÁLVEZ

NUMERO
PLANO

2

FECHA:

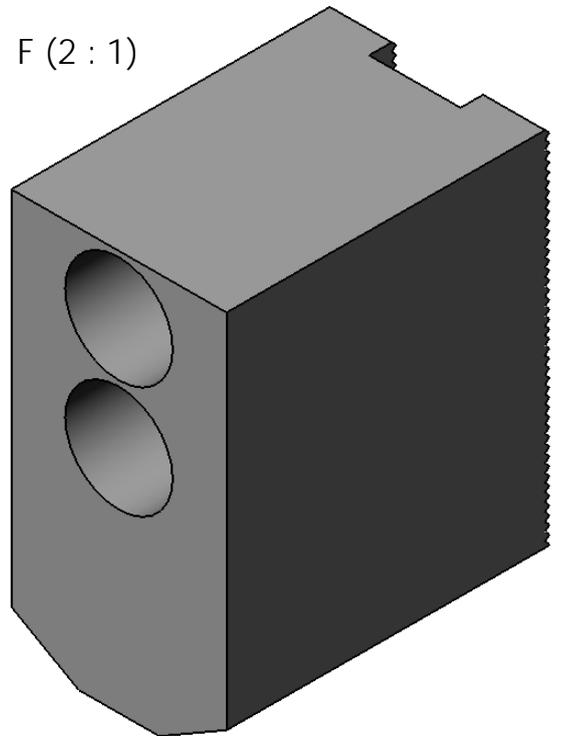
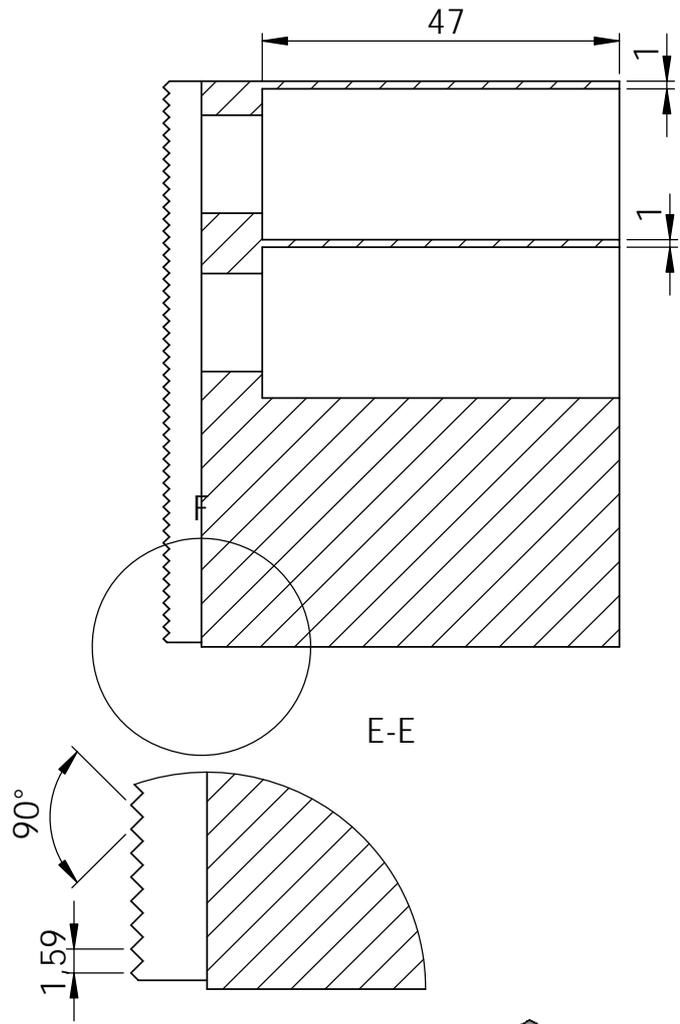
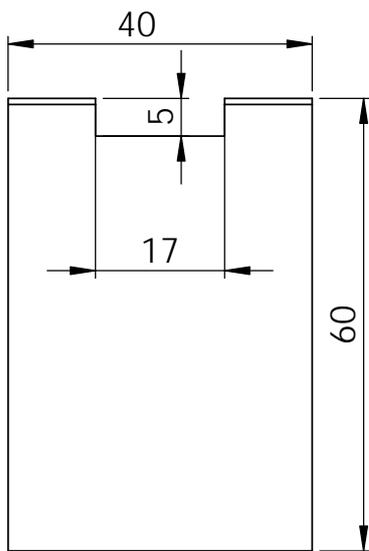
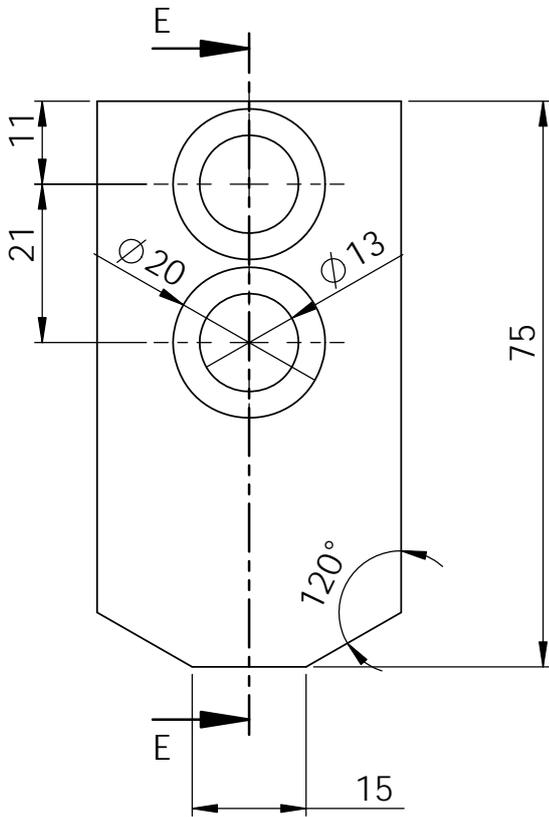
OCTUBRE 2019

ESCALA:

1:2

TITULACIÓN:

GIE



UNIVERSIDAD POLITECNICA
DE CARTAGENA

TFG: Adaptación de torno de control numérico para la
fabricación de anillos de alta precisión

TITULO:

GARRA GB-16

ANEXO

A

FORMATO

A4V

COMENTARIOS:

ALUMNO:

JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ MARTÍNEZ

NUMERO
PLANO

3

FECHA:

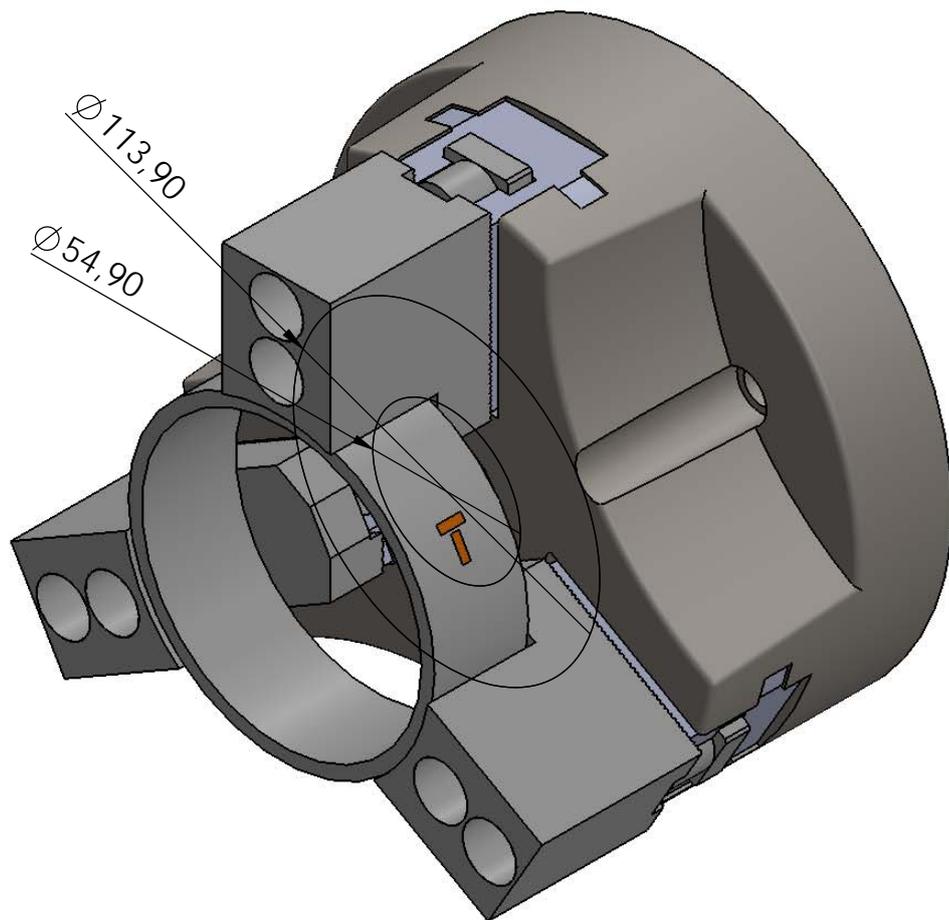
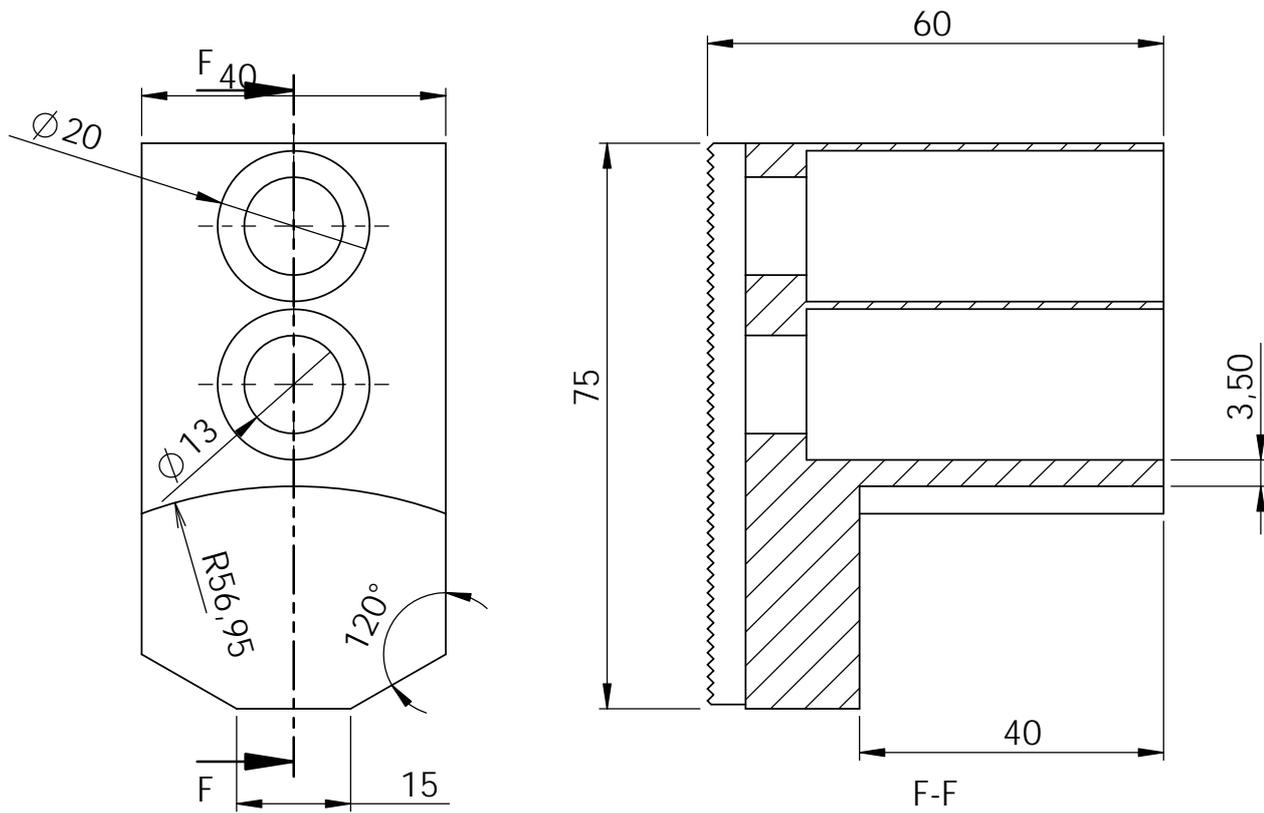
OCTUBRE 2019

ESCALA:

1:1

TITULACIÓN:

GIE



UNIVERSIDAD POLITECNICA
DE CARTAGENA

TFG: Adaptación de torno de control numérico para la
fagricación de anillos de alta precisión

TÍTULO: MODIFICACIÓN GB-16 AMARRE EXTERIOR

ANEXO A

FORMATO
A4V

COMENTARIOS:

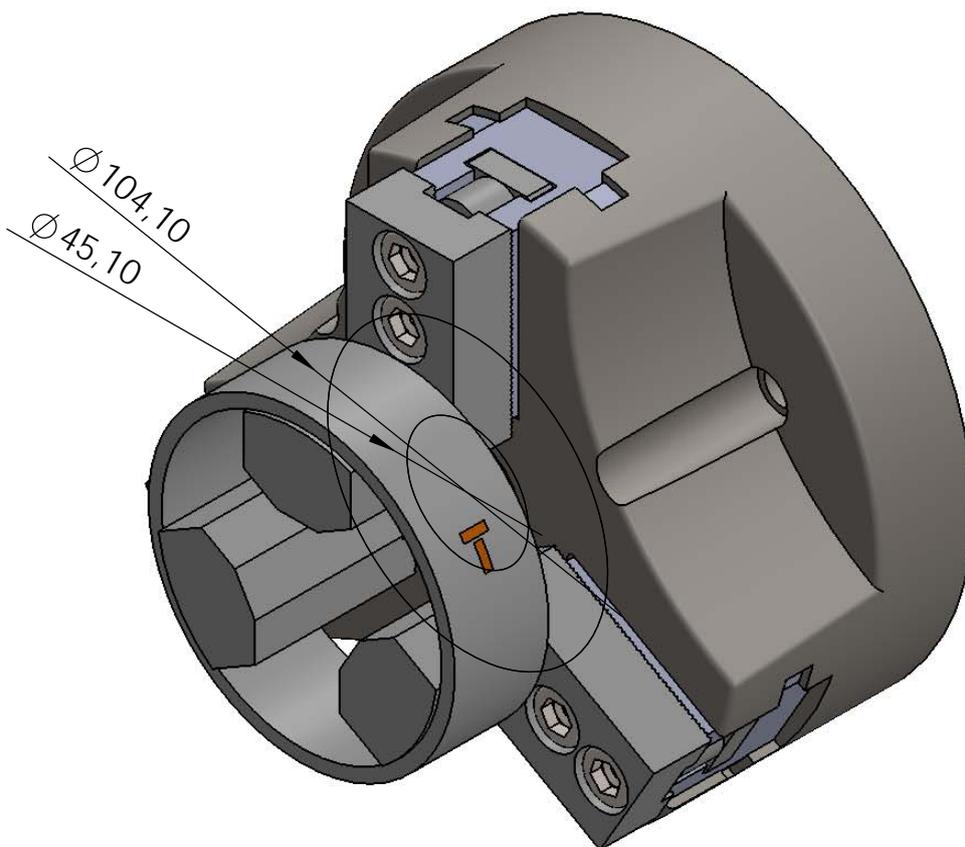
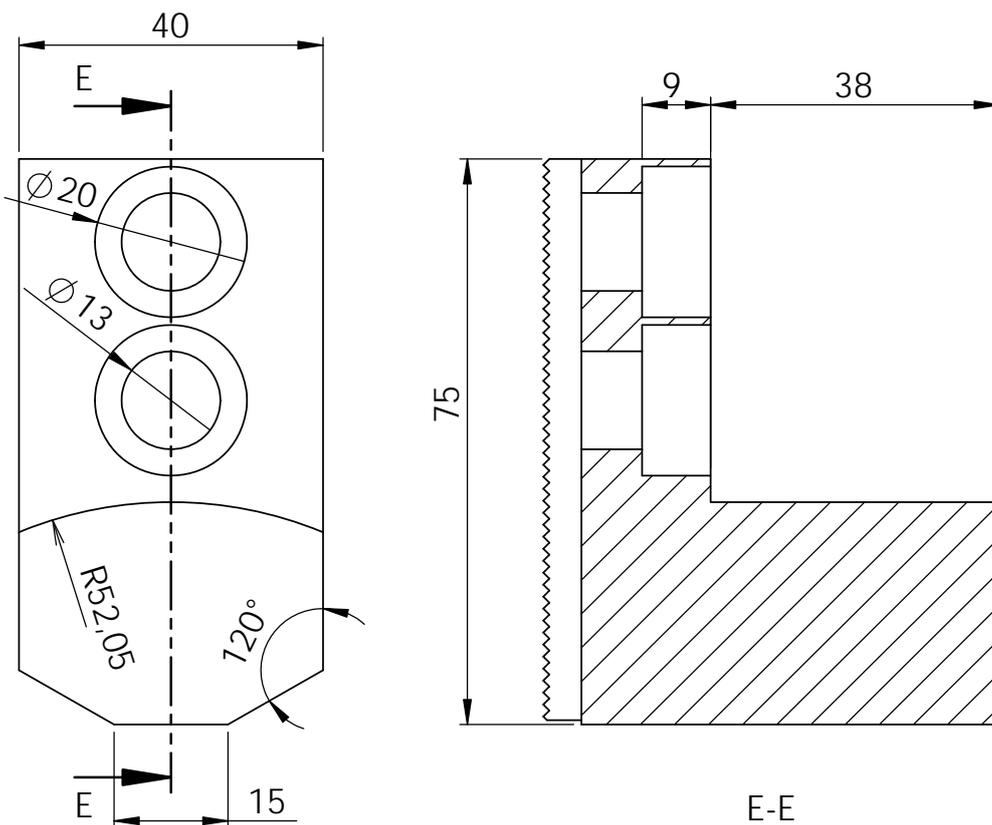
ALUMNO: JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ MARTÍNEZ

NUMERO
PLANO 3A

FECHA: OCTUBRE 2019

ESCALA: VARIAS

TITULACIÓN:
GIE



UNIVERSIDAD POLITECNICA
DE CARTAGENA

TFG: Adaptación de torno de control numérico para la
fagricación de anillos de alta precisión

TÍTULO: MODIFICACIÓN GB-16 AMARRE INTERIOR

ANEXO

A

FORMATO
A4V

COMENTARIOS:

ALUMNO: JOSÉ ANTONIO GONZÁLVIZ MARTÍNEZ

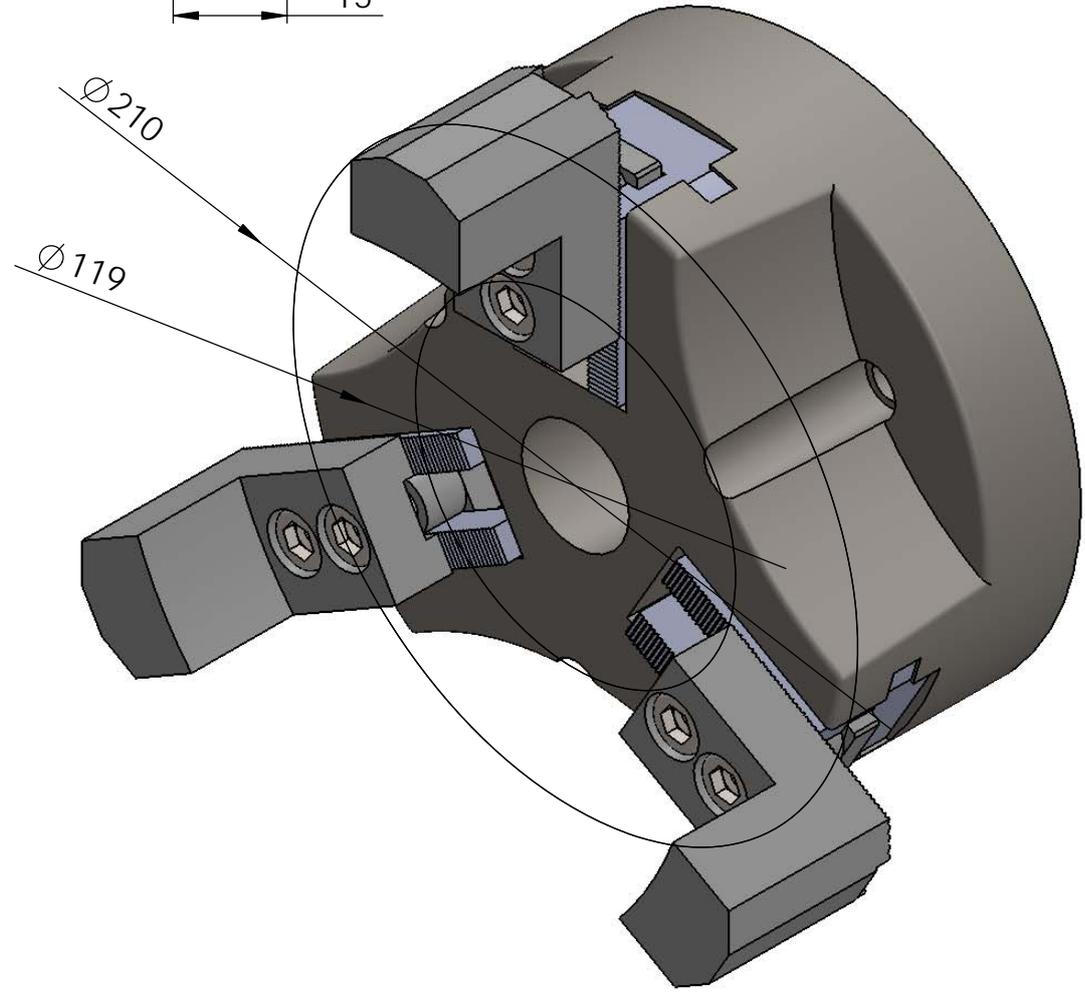
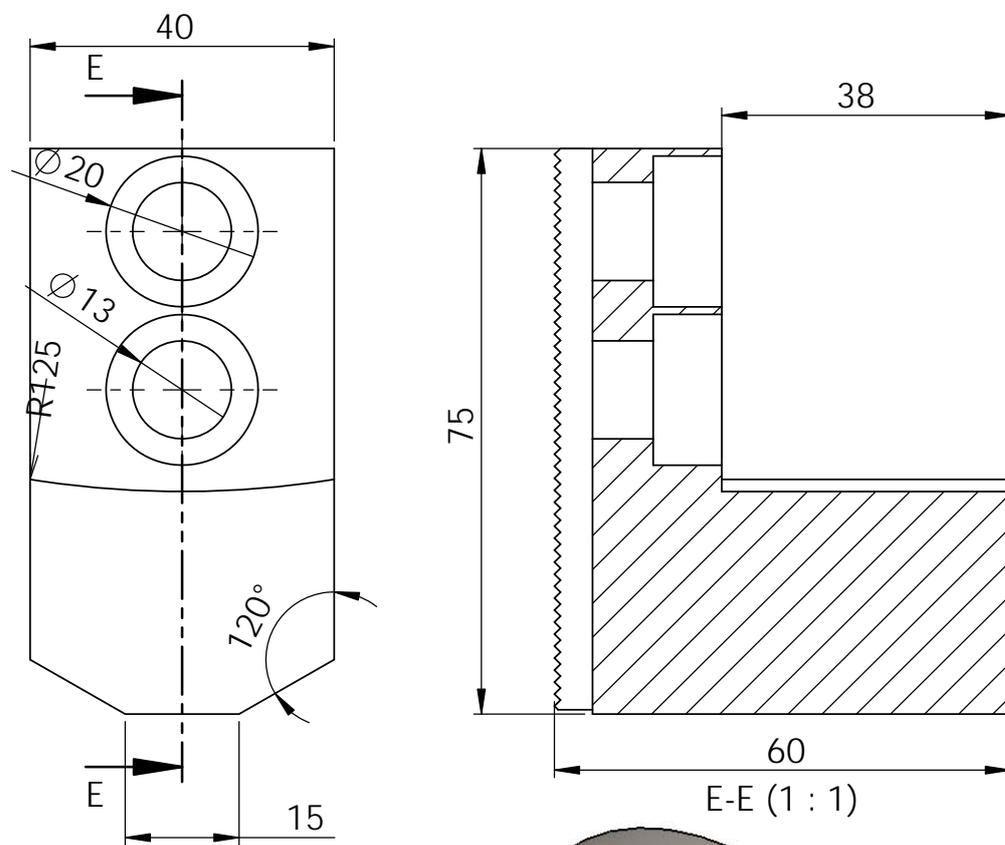
NUMERO
PLANO

3B

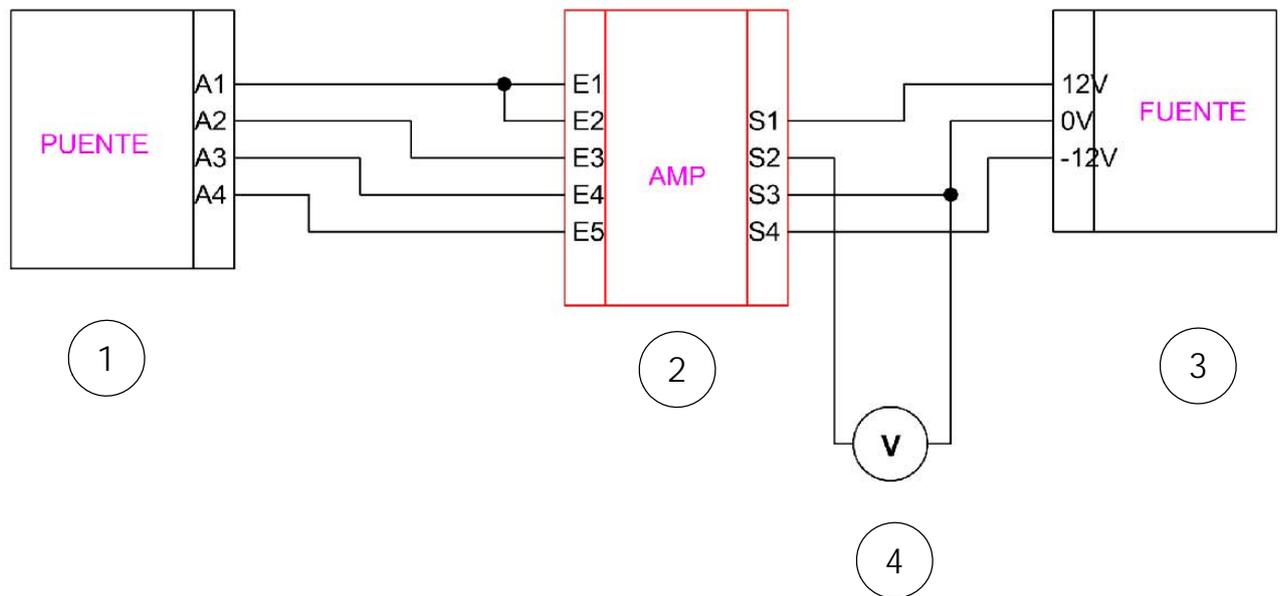
FECHA: OCTUBRE 2019

ESCALA: VARIAS

TITULACIÓN:
GIE



	UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA	TFG: Adaptación de torno de control numérico para la fabricación de anillos de alta precisión		
		TÍTULO: MODIFICACIÓN GB-16 AMARRE GRANDES DIÁMETROS	ANEXO	A
FORMATO A4V	COMENTARIOS:	ALUMNO: JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ MARTÍNEZ	NUMERO PLANO	3C
		FECHA: OCTUBRE 2019	ESCALA: VARIAS	TITULACIÓN: GIE



ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
1	Placa con puente Wheatstone
2	Dispositivo de amplificación
3	Fuente de alimentación CC
4	Voltímetro A/D



UNIVERSIDAD POLITECNICA
DE CARTAGENA

TFG: Adaptación de torno de control numérico para la
fabricación de anillos de alta precisión

TÍTULO:

ESQUEMA GENERAL DE CONEXIONES

ANEXO

A

FORMATO

A4V

COMENTARIOS:

ALUMNO:

JOSÉ ANTONIO GONZÁLVEZ MARTÍNEZ

NUMERO
PLANO

4

FECHA:

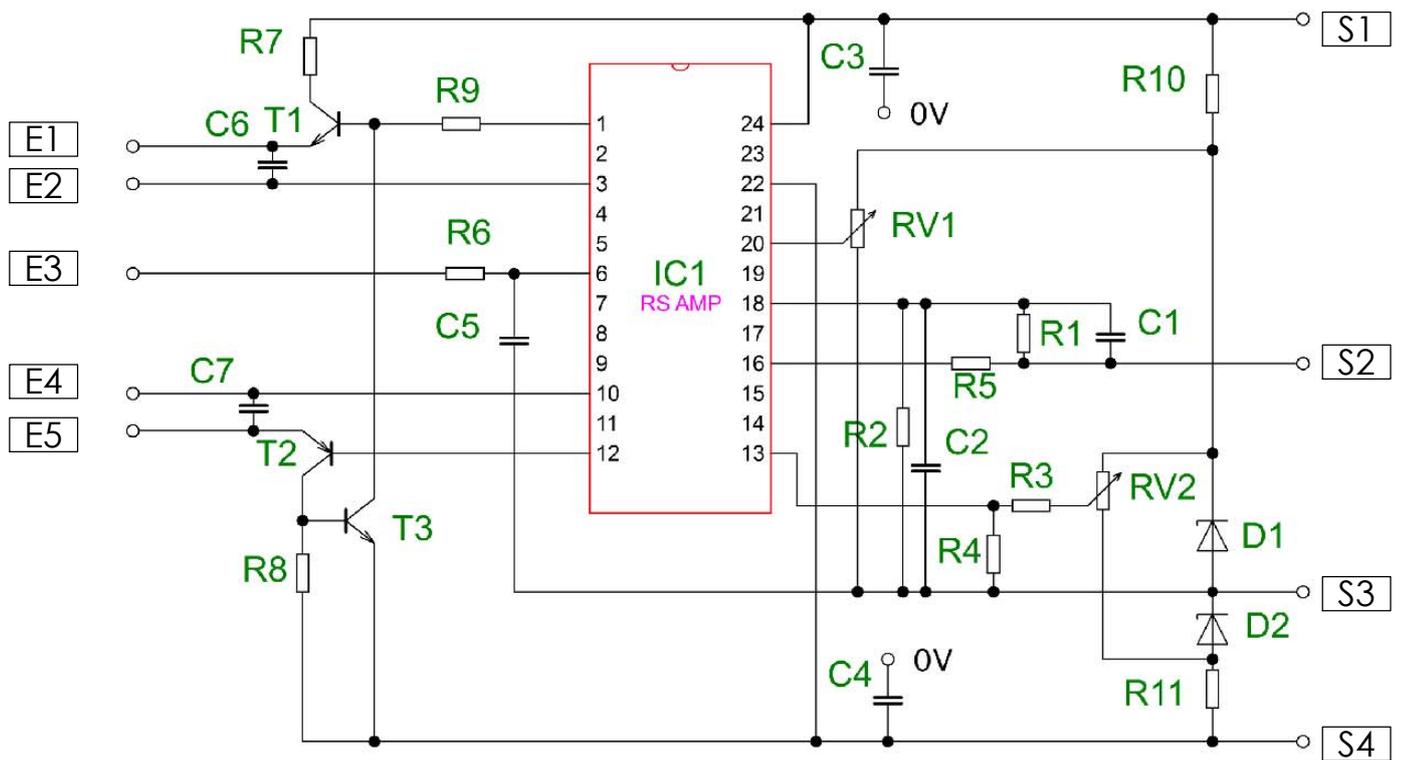
OCTUBRE 2019

ESCALA:

-

TITULACIÓN:

GIE



TERMINALES	
E1	Alimentación puente +
E2	Compensación
E3	V Entrada +
E4	V Entrada -
E5	Alimentación puente -
S1	+12V
S2	V Salida
S3	0V
S4	-12V

COMPONENTES		
R1:100K	R7:47R	C2,C5 10n
R2:100R	R8:10R	C3 C4 10μ
R3:100K	R9:1K	T1 BD135
R4:68R	R10,R11:680R	T2 BD136
R5:10R	RV1,RV2 10K	T3 BC108
R6:100R	C1,C6,C7 100n	D1,D2 LM4040DIZ-5.0
IC1: RS AMP 846-171		



UNIVERSIDAD POLITECNICA
DE CARTAGENA

TFG: Adaptación de torno de control numérico para la
fabricación de anillos de alta precisión

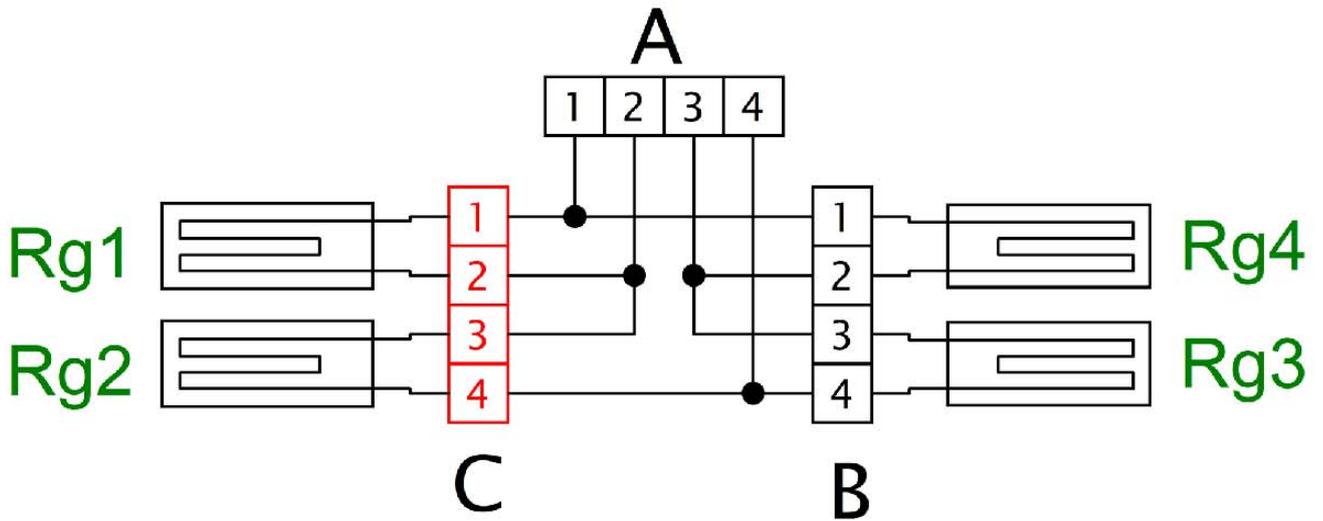
TÍTULO:	ESQUEMÁTICO PLACA AMPLIFICADOR	ANEXO	A
---------	--------------------------------	-------	---

ALUMNO:	JOSÉ ANTONIO GONZÁLVEZ MARTÍNEZ	NUMERO PLANO	4B
---------	---------------------------------	--------------	----

FECHA:	OCTUBRE 2019	ESCALA:	-	TITULACIÓN:	GIE
--------	--------------	---------	---	-------------	-----

FORMATO
A4V

COMENTARIOS:



TERMINALES	
A1	Vcc
A2	Vs+
A3	Vs-
A4	Vcc

COMPONENTES	
Rg1,Rg3	Galga 120 ohm a tracción
Rg2,Rg4	Galga 120 ohm a compresión Poisson



UNIVERSIDAD POLITECNICA
DE CARTAGENA

TFG: Adaptación de torno de control numérico para la
fagricación de anillos de alta precisión

TITULO:

PUENTE WHEATSTONE

ANEXO

A

FORMATO

A4V

COMENTARIOS:

ALUMNO:

JOSÉ ANTONIO GONZÁLVEZ MARTÍNEZ

NUMERO
PLANO

4A

FECHA:

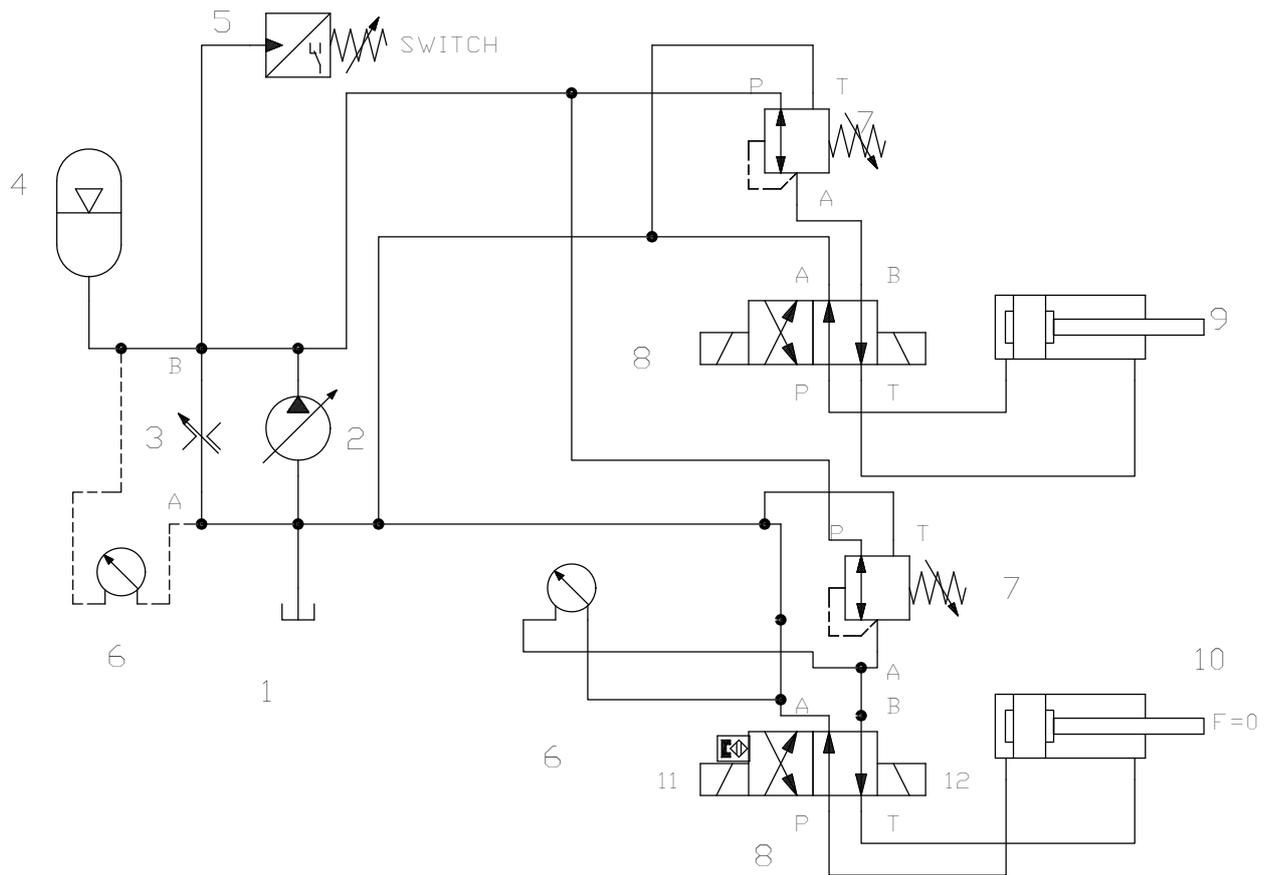
OCTUBRE 2019

ESCALA:

-

TITULACIÓN:

GIE



INDICADOR	DESCRIPCIÓN
1	Depósito
2	Bomba
3	Válvula Bypass
4	Acumulador
5	Switch p. min.
6	Manómetro
7	Válvula reductora
8	E. Válvula de paso
9	Contrapunto
10	Husillo



UNIVERSIDAD POLITECNICA
DE CARTAGENA

TFG: Adaptación de torno de control numérico para la
fabricación de anillos de alta precisión

TÍTULO:

ESQUEMA HIDRÁULICO

ANEXO

A

FORMATO

A4V

COMENTARIOS:

ALUMNO:

JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ MARTÍNEZ

NUMERO
PLANO

5

FECHA:

OCTUBRE 2019

ESCALA:

-

TITULACIÓN:

GIE