

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS FISICAS Y NATURALES
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELECTRICISTA



**DISEÑO DE CALIBRE POST-PROCESS PARA LA MEDICIÓN DIMENSIONAL
DE PIEZAS Y CORRECCIÓN AUTOMÁTICA DE MÁQUINAS
HERRAMIENTAS**

ALUMNO: FRANCO SABBATINI

CARRERA: MECÁNICA ELECTRICISTA

DIRECTOR DEL PROYECTO: ING. LADISLAO MATHÉ

CÓRDOBA

AGOSTO DE 2015

Prólogo

Este trabajo de investigación y desarrollo llevado a cabo por un estudiante de Ingeniería Mecánica Electricista como Proyecto Integrador para concluir los estudios de grado en la Universidad Nacional de Córdoba, tiene por finalidad el diseño de un sistema de control dimensional y de corrección de la máquina herramienta tipo "POST-PROCESS" para ser implementado en procesos de producción masiva donde se requiera bajar costos productivos y mejorar la calidad del producto.

Actualmente ya existen en el mercado sistemas que realizan dicha función, pero debido a la imposibilidad de acceder a los mismos por parte de las pequeñas y medianas empresas por su elevado valor de compra e implementación surge la idea de aprovechar las facilidades de los planes nacionales para poder desarrollar, para su posterior fabricación, un sistema POST-PROCESS que presente la suficiente sencillez como para ser implementado por el usuario final pero que sea funcionalmente similar a los sistemas comerciales costosos.

Este informe cubre, luego de una introducción teórica al tema, todos los aspectos de la fase de diseño:

- Diseño mecánico
- Diseño eléctrico del sistema de control
- Diseño electrónico
- Software de control e interface hombre-máquina

Índice

Prólogo	III
Índice	IV
Agradecimientos	VI
Introducción	8
Objetivos del proyecto	10
Capítulo 1: Conceptos y definiciones en sistemas de medición	12
Capítulo 2: Componentes de un sistema de medición POST-PROCESS	17
2.1 Sistema de carga y descarga del calibre.....	17
2.2 Sistema de accionamiento del transductor.....	18
2.3 Transductores.....	18
2.3.1 Transductor LVDT	18
2.3.2 Transductor HBT.....	21
2.3.3 Sensores de presión	22
2.4 Acondicionadores de señal	23
2.4.1 Acondicionadores de señal para LVDT y HBT.....	23
2.4.1 Acondicionadores de señal para sensores de presión	24
2.5 Sistema SPC	25
Capítulo 3: Diseño del sistema de medición POST-PROCESS	28
3.1 Presentación de las piezas a medir	28
3.2 Diseño mecánico del sistema pick and place para carga y descarga	29
3.3 Diseño mecánico del sistema de lavado de piezas.....	34
3.4 Diseño mecánico del sistema de medición	35
3.4.1 Subsistema de carga de piezas.....	36
3.4.2 Subsistema de medición por LVDT.....	37
3.4.3 Subsistema de medición por presión neumática	42
3.5 Diseño mecánico del sistema de descarte de piezas rechazadas	43
3.5 Diseño eléctrico de control	45
3.6 Diseño electrónico del sistema de medición.....	50
3.6.1 Sistema de procesamiento central.....	50

3.6.2 Esclavos del bus SPI	53
3.6.2.1 Placas de interface con los LVDT y sensores de presión	55
3.6.2.1.1 Placas de interface con los LVDT	55
3.6.2.1.2 Placas de interface para medición pneumoelectrónica	59
3.6.2.2 Placa de entradas y salidas	60
3.7 Modelo de software a utilizar	63
Capítulo 4: Estudio de costos del sistema de medición POST-PROCESS	67
4.1 Costo del equipo electrónico	67
Capítulo 5: Conclusiones	70
Bibliografía:	72
Anexo I: Planos eléctricos	74
Anexo II: Subconjuntos mecánicos	75
Anexo III: Hoja de proceso de pieza	76

Agradecimientos

Finalizar este proyecto conlleva concluir una etapa muy importante de mi vida, un ciclo de aprendizaje y formación, largas horas de estudio y sobre todo compartir aquellos momentos con amistades realizadas durante estos años que, tal vez, duren para toda la vida.

La formación que me ha brindado esta casa de altos estudios permite insertarme en el ámbito laboral y desarrollar mi tarea como profesional respetando las normas éticas y criterios del "buen arte" en toda tarea realizada como ingeniero.

Quiero agradecer a mi familia que me apoyo durante toda la carrera brindándome el apoyo económico y moral para concluir esta etapa de estudiante que requiere mucho esfuerzo y dedicación. A los amigos que me acompañaron en todos los estudios que también son fuente de inspiración pues todos queremos llegar a la meta y, con ayuda mutua, lo hemos alcanzado.

Tampoco puedo dejar de agradecer a todos los profesores por su vocación a la enseñanza y por prestarme su tiempo en los momentos que necesité de ayuda, en especial al Ingeniero Director de la carrera de electrónica y profesor de Teoría de Control, Ladislao Mathé y al Ingeniero Director de la carrera de Mecánica Electricista Eloy Villafañe por su apoyo y ayuda incondicional para poder concluir con este proyecto.

Finalmente quiero agradecer a la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba por la formación que me ha dado y de la cual estoy orgulloso de pertenecer.

Introducción



Introducción

En la actualidad, las exigencias en lo que a calidad se refiere en el proceso de mecanizado de piezas cuya producción es masiva se ha intensificado. Debido a ello, es imposible dejar de lado un control exhaustivo de sus cotas dimensionales y geométricas. Dicho control generalmente es llevado a cabo de forma totalmente manual o en un calibre automático pero fuera de línea (también conocido como *a pie de máquina*) con la consecuente pérdida de producción debido a que es necesario detener la máquina para poder efectuar las correcciones correspondientes.

Este proyecto apunta a diseñar un calibre automático post-process, es decir, ubicado luego del proceso de mecanizado el cual no sólo se encarga de medir la pieza fabricada sino también corregir los ajustes de la máquina en cuestión para que la próxima pieza cumpla con las exigencias de tolerancia. Dicho esto, las ventajas obtenidas son varias, a saber:

- La línea de producción no se detiene para efectuar correcciones en las máquinas
- El control de las piezas se realiza en un 100% y no por muestreo (según indicadores estadísticos del proceso)
- Debido al FIFO (**F**irst **I**n-**F**irst **O**ut) natural del proceso de medición, se puede llevar un control estadístico del proceso y de la máquina (valores relevantes como C_m , C_p , C_{mk} , C_{pk}).
- Automatización del proceso para independizarlo del error humano en el que se puede incurrir en caso de medición manual
- Gran reducción de porcentaje de *scrap* (piezas rechazadas)
- Reducción de costos operativos de la máquina (reducción de personal, costos improductivos, etc.)
- Reducción del valor del producto o potencial incremento en la rentabilidad neta del mismo

Al observar las ventajas en la utilización de un calibre *post-process* en la cadena productiva también es importante mencionar sus desventajas para poder colocar en la balanza si conviene o no su realización:



- Los productos ofrecidos en el mercado para control post-process son de inversión inicial elevada
- Es un capital no productivo por sí mismo (a diferencia de una máquina) por lo que su amortización se debe al prorrateo de su valor en el porcentaje ahorrado de tiempo de ciclo de máquina, scrap, reducción de mano de obra, aumento de productividad, disminución de máquina parada, etc.
- Delicadez del sistema en cuestión



Objetivos del proyecto

El proyecto tiene como objetivo el diseño de un calibre automático *post-process* que pueda ser utilizado en ambientes industriales y sea de bajo costo tanto en su fabricación como en su implementación. Para alcanzar dicho propósito, es necesario lograr los siguientes objetivos específicos:

1. Recopilar información sobre la técnica actual en lo que a medición de piezas se refiere (tipos de sensores, paralelogramos deformables, medición por desplazamiento o por diferencia de presión, etc.)
2. Desarrollar un sistema modular que sea flexible en cuanto a su aplicación (programabilidad por parte del usuario, expansible en cuanto a cantidad de módulos de entradas, salidas, cantidad de sensores y tipos de sensores, todo parametrizable por software)
3. Selección de elementos de calidad acompañado de un buen diseño para reducir la propiedad "delicadez" inherente a los sistemas de medición pero siempre teniendo presente el aspecto económico debido a que las soluciones existentes en el mundo tienen un elevado costo de adquisición y generalmente se necesitan largos períodos de trabajo para su amortización.



FCEFN

Diseño de calibre POST-PROCESS para la medición dimensional y corrección automática de máquinas herramientas

Autor: Sabbatini, Franco

Página 11

Capítulo 1: Conceptos y definiciones en sistemas de medición



Capítulo 1: Conceptos y definiciones en sistemas de medición

En este capítulo se detallan los conceptos relacionados a los sistemas de medición y se dan las definiciones pertinentes a los mismos.

1.1 Medición

La **medición** es un proceso básico de la ciencia que consiste en **comparar** un patrón seleccionado con el objeto o fenómeno cuya magnitud física se desea medir para ver cuántas veces el patrón está contenido en esa magnitud.¹

En este informe solo analizaremos mediciones dimensionales, término utilizado para la magnitud física **distancia** ó **longitud**. Las unidades utilizadas serán las provenientes del sistema Métrico, es decir, milímetro (mm), centímetro (cm), metro (m), etc.

Existen dos métodos para obtener la dimensión de un objeto:

- **Medición directa:** consiste en utilizar un instrumento capaz de obtener una lectura inmediata de la magnitud distancia del objeto desconocido. Por ejemplo un calibre de mano (fig. 1.1) o un micrómetro en cuyo nonio se aprecia la longitud del objeto. Cabe destacar que en este caso el patrón de la magnitud física es el nonio del instrumento.



Fig. 1.1 - Medición directa de una distancia

¹ Gutiérrez, Carlos (2005). «1». *Introducción a la Metodología Experimental* (1 edición). Editorial Limusa. p. 15.



- **Medición indirecta:** cuando la medición no es posible de ser realizada por comparación directa por el motivo que fuere, se recurre a la medición indirecta, es decir, en este caso, traducir la **distancia** en otro tipo de magnitud física que pueda ser medida directamente, por ejemplo convertir una longitud en una señal eléctrica o una señal de presión.

Toda medición implica errores, algunos de ellos inherentes al proceso de medir y algunos inducidos, a saber:

- **Errores sistemáticos:** son aquellos que se repiten en todas las mediciones, tienen un valor establecido y, por lo tanto, es posible establecerlos y corregirlos a posteriori. Son propios del instrumento o del proceso de medición. Por ejemplo el error de cero de escala.

- **Errores aleatorios:** son aquellos que por su naturaleza aparecen de manera irregular, a veces por exceso y otras veces por defecto, por lo que si se establece su distribución probabilística presentan una distribución normal, por lo que se toma como valor de la medición su media. Como ejemplo se puede mencionar un operador que mide varias veces el objeto con el mismo instrumento; generalmente encuentra longitudes diferentes debido a errores como lectura de escala.

Para tener noción de cuanto es el error, se calcula el error absoluto y el error porcentual:

- **Error absoluto:** es la diferencia entre el valor obtenido de la medida (x) y el valor real de la magnitud (a). Tiene las unidades de la magnitud medida, en este caso, distancia (mm, cm, m).

$$E_a = x - a$$

- **Error relativo:** es la relación entre el error absoluto y el valor obtenido por lo tanto es adimensional y representa el valor porcentual del error.

$$E_r = \frac{E_a}{x} = \frac{x - a}{x}$$

1.2 Transductor

Los transductores son aquellos componentes de una cadena de medición que transforman una magnitud física en una señal eléctrica.



Para la medición dimensional de objetos los transductores más utilizados son los piezoeléctricos y strain gauge que transforman una deformación en un valor de tensión y los LVDT/HBT que convierten un desplazamiento mecánico, también, en un valor de tensión.

1.3 Sistemas de medición para control de procesos

En la actualidad existen cuatro sistemas de control de piezas en una línea de producción:

- **A pie de máquina:** se utilizan para un control esporádico con una frecuencia determinada. Implica mano de obra para su implementación. Las correcciones a efectuar en la máquina deben ser realizadas por un operador.
- ***In-process:*** se incorporan dentro de la máquina y miden en tiempo real a medida que la máquina trabaja, efectuando las correcciones necesarias. Su uso es limitado a procesos de terminación, siendo el caso más común de aplicación en máquinas de rectificado. Son de elevado costo debido a que deben poseer alto grado de protección IP (fig. 1.2).



Fig. 1.2 - Sistema de medición *in-process*

- **A bordo de máquina:** al igual que el sistema anterior, están colocados dentro de la máquina pero realizan las mediciones y correcciones a posteriori de la operación. En centros de mecanizado se utiliza la propia máquina como sistema de medición incorporándole una herramienta adecuada llamada *Touch Probe* (fig. 1.3). La gran desventaja de este sistema es que el tiempo de ciclo de medición se suma al tiempo de ciclo de mecanizado de la pieza, por lo que, nuevamente, las mediciones se hacen por muestreo para que el tiempo promedio por pieza producida sea menor.



- **Post-process:** se ubican fuera de máquina pero sobre la línea de producción. Sus dos principales ventajas con respecto a los sistemas anteriores son el control del 100% de las piezas producidas y no incrementa el tiempo de ciclo de producción ya que es totalmente independiente de la máquina que mecaniza la parte. En este informe se enfocará sobre este tipo de sistema de medición ya que es la tendencia en las industrias y se pueden lograr muy buenos calibres con poca inversión inicial.



Fig. 1.3 - Sistema de medición a bordo de máquina

Capítulo 2:
Componentes de un sistema de medición
POST-PROCESS



Capítulo 2: Componentes de un sistema de medición POST-PROCESS

Los componentes o subsistemas que siempre deben estar presentes en un calibre *post-process* son:

- Sistema de carga y descarga del calibre
- Sistema de accionamiento del transductor
- Transductores
- Acondicionadores de señal
- Sistema SPC (Control de proceso estadístico por sus siglas en inglés)

A los efectos del presente proyecto, se han seleccionado los siguientes componentes:

2.1 Sistema de carga y descarga del calibre

Generalmente consiste de un robot *pick & place* que ubica la pieza en la posición adecuada para ser medida. El pick and place puede ser realizado de diversas maneras, siendo la más común un sistema de dos ejes cartesianos en la disposición X-Y accionados por aire comprimido si se usan cilindros neumáticos o por energía eléctrica en caso de utilizar servomotores.

El sistema de carga debe encargarse, además de posicionar la pieza, de la limpieza de la misma a fin de evitar errores en la medición y/o dañar el calibre en el caso de que, por ejemplo, existan residuos como virutas, suciedad y remanentes de solución de refrigeración.

El sistema de descarga debe poder clasificar las piezas medidas en **aceptadas**, las cuales deben ser ubicadas en la próxima estación de trabajo, y **rechazadas**, las cuales deben ser descartadas del proceso de fabricación reduciendo, así, los costos de trabajar una pieza que finalmente debe ser colocada como scrap. Cabe mencionar que las piezas rechazadas pueden ser clasificadas como **recuperables** o **scrap**, pero para el diseño considerado en este trabajo no se tendrá en cuenta esta última funcionalidad (al menos de ser realizada sin intervención del operador) para mantener un costo bajo del equipo.



2.2 Sistema de accionamiento del transductor

Todo sistema de medición automático siempre posee algún modo de, según sea el caso, acercar y alejar o activar y desactivar el transductor utilizado para controlar la pieza. Si se usan transductores de contacto como LVDT o HBT se debe contar con un mecanismo capaz de desplazar el sensor para realizar el contacto entre el mismo y la pieza; en el caso de sensores de presión, se necesita de una electroválvula y un reductor de presión de línea de aire destinada a la medición para poder controlar el momento en que se desea que el transductor entre en contacto con la pieza.

2.3 Transductores

Existen diversos transductores utilizados en un calibre post-process. Para el desarrollo de este calibre, consideraremos tres tipos de transductores solamente, a saber:

- LVDT
- HBT
- Sensores de presión

2.3.1 Transductor LVDT

El LVDT, por sus siglas en inglés **L**inear **V**ariable **D**ifferential **T**ransformer ó Transformador Diferencial de Variación Lineal, es un transductor de posición absoluto el cual convierte un desplazamiento desde un valor de referencia (conocido como *cero* o *posición nula*) en un valor de tensión proporcional al mismo y de manera unívoca ya que según para que lado del cero se lo desplace, la tensión será positiva o negativa e irá en aumento cuanto mayor sea el corrimiento.

Físicamente consiste de tres bobinados estratégicamente ubicados y conectados de manera diferencial o en *serie opuesta* como se observa en las figuras 2.1 y 2.2. La bobina central recibe el nombre de primario o inductor y las otras dos se conocen como secundarios o inducidos. En el caso de que el LVDT sea de gran desplazamiento (mayor a 5mm de carrera), los secundarios se bobinan encima del primario pero manteniendo simetría (fig. 2.1). Dentro de



dichos arrollamientos se desplaza un núcleo de material ferromagnético de un largo bastante menor que las bobinas el cual es solidario al vástago del transductor, encargado de entrar en contacto con la pieza en caso de medición directa o con el paralelogramo deformable en el caso de medición indirecta.

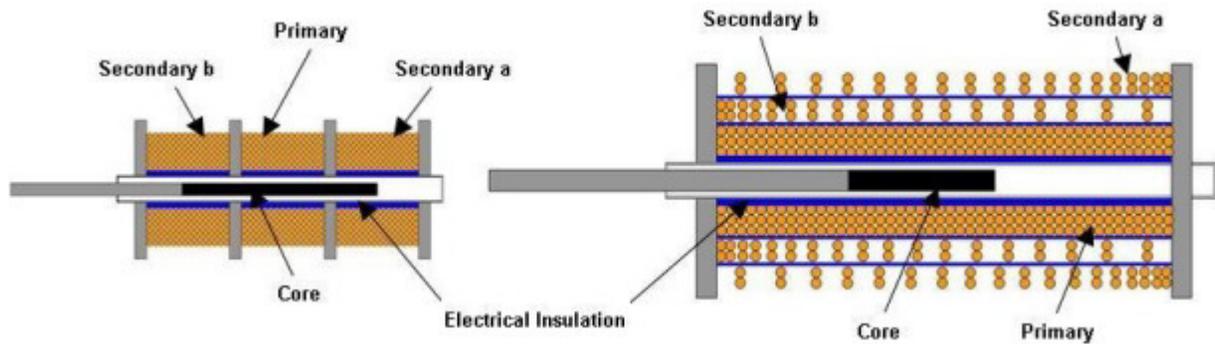


Figura 2.1 - Corte transversal de un LVDT mostrando los tres bobinados y el núcleo magnético. En la izquierda se muestra un LVDT de recorrido corto (<5mm) y en la derecha un LVDT de recorrido largo (>5mm)

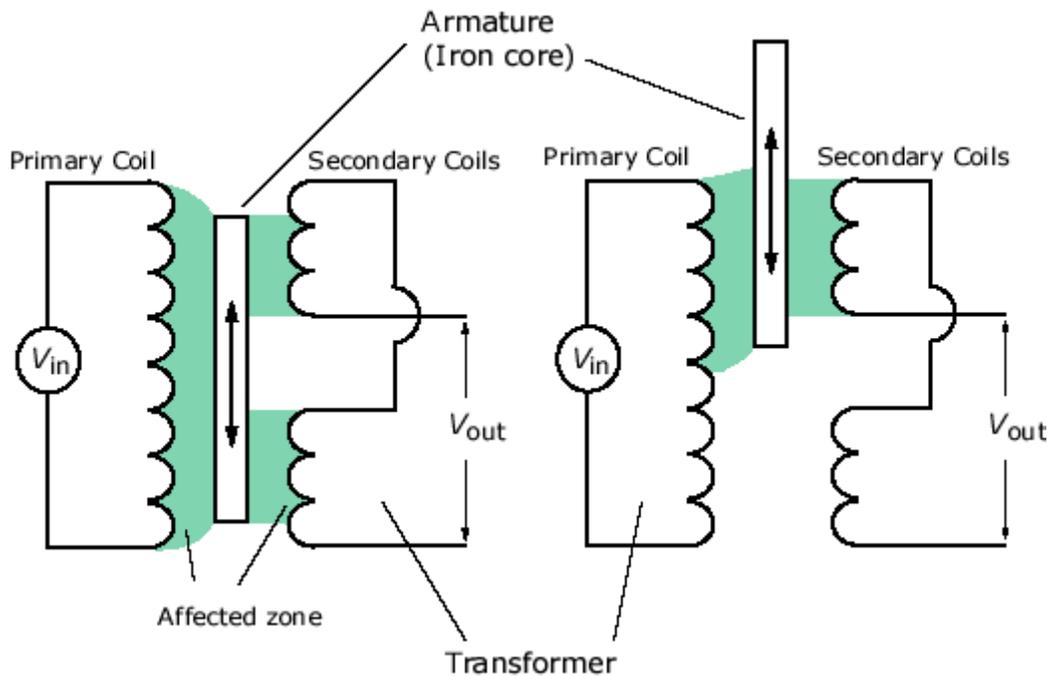


Figura 2.2 - Conexión de un LVDT. En la izquierda, el núcleo se encuentra en la posición *cero* y en la derecha $V_a > V_b$ considerando que V_a es el secundario superior

Su construcción es muy delicada debido a que ambos arrollamientos tienen que tener la misma resistencia y simetría respecto a un plano transversal que pasa por el cero para lograr una salida lineal (fig. 2.3).

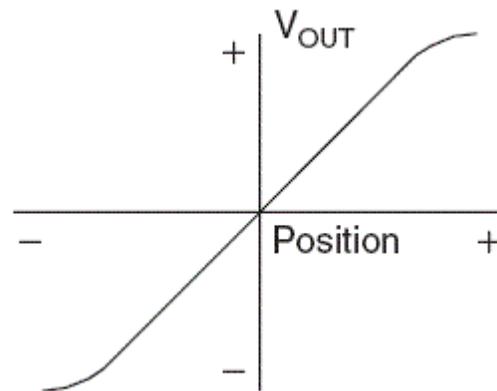


Figura 2.3 - Salida de un LVDT luego de pasar por el demodulador.

Cuando el primario es excitado con una onda sinusoidal (V_{in}), se produce una corriente en el primario del LVDT generando un flujo de campo magnético, el cual, canalizado por la alta permeabilidad del material ferromagnético del núcleo, induce en los secundarios una tensión sinusoidal de la misma frecuencia (V_a y V_b). Según la posición del núcleo, puede ocurrir que:

$$V_a > V_b$$

$$V_a = V_b \text{ cero o posición nula}$$

$$V_a < V_b$$

Constructivamente se debe lograr que $V_a + V_b = \text{constante}$ en todo el rango de trabajo del transductor para poder utilizarlo en modo radiométrico y con ello lograr que la medición sea independiente de la variación térmica. La formula radiométrica es:

$$R = \frac{V_a - V_b}{V_a + V_b}$$

Si se toma el valor de tensión del secundario es proporcional a la temperatura y C_a y C_b son los coeficientes de variación térmica de V_a y V_b respectivamente, se tiene que:

$$V_a(t) = V_{a(20^\circ C)} * (1 + C_a)$$

$$V_b(t) = V_{b(20^\circ C)} * (1 + C_b)$$



Si se supone que los coeficientes de variación térmica son iguales debido a la manera de construcción (mismos materiales, misma resistencia de las bobinas, etc.), entonces la relación radiométrica es independiente de la temperatura:

$$R = \frac{V_a - V_b}{V_a + V_b}$$

$$R(t) = \frac{V_{a(20^\circ C)} * (1 + C_a) - V_{b(20^\circ C)} * (1 + C_b)}{V_{a(20^\circ C)} * (1 + C_a) + V_{b(20^\circ C)} * (1 + C_b)}$$

$$R(t) = \frac{V_{a(20^\circ C)} * C - V_{b(20^\circ C)} * C}{V_{a(20^\circ C)} * C + V_{b(20^\circ C)} * C}$$

$$R(t) = \frac{V_{a(20^\circ C)} - V_{b(20^\circ C)}}{V_{a(20^\circ C)} + V_{b(20^\circ C)}}$$

$$R(t) = R_{20^\circ C}$$

2.3.2 Transductor HBT

El HBT, por sus siglas en inglés **Half Bridge Transducer** ó Transductor de Puente Medio, es, al igual que el LVDT, un transductor de posición absoluto el cual convierte un desplazamiento desde un valor de referencia (conocido como *cero* o *posición nula*) en un valor de tensión proporcional al mismo y de manera unívoca ya que según para que lado del cero se lo desplace, la tensión será positiva o negativa e irá en aumento cuanto mayor sea el corrimiento. Constructivamente, como se observa en la figura 2.4 solo posee dos bobinas las cuales están conectadas en serie.

El principio de operación es en lo que difiere con respecto a un LVDT ya que al HBT se lo hace formar parte de puente de Wheatstone por lo que un desplazamiento del núcleo produce un cambio de inductancia relativa entre las dos bobinas y así $V_a \neq V_b$ produciendo un desequilibrio del puente. Nuevamente se utiliza la formula radiométrica para evitar que la variación térmica tenga influencia en la medición.



En lo que respecta a rendimiento, un LVDT presenta una linealidad mucho mayor en todo el recorrido del transductor pero en muchas aplicaciones el HBT satisface los requerimientos y su menor costo lo justifica.

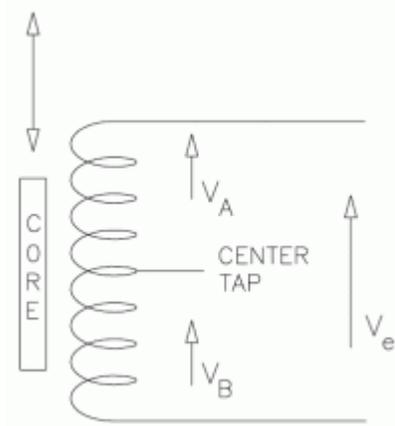


Figura 2.4 - Conexión de un HBT

2.3.3 Sensores de presión

Estos sensores son pequeños dispositivos electromecánicos que transforman una presión en un valor de tensión. Se utilizan para medir presión diferencial o presión absoluta.

Consisten de una delgada lámina conocida como **diafragma** la cual está dotada de un *strain gauge* el cual forma parte de un puente de Wheatstone. Al aplicar una presión, el diafragma se deforma lo que hace variar la resistencia del *strain gauge* y, como consecuencia, el puente queda desbalanceado pudiéndose medir un valor de tensión en los bornes del sensor. En la figura 2.5 se observa un corte transversal de un sensor de presión diferencial típico y la linealidad de su salida.

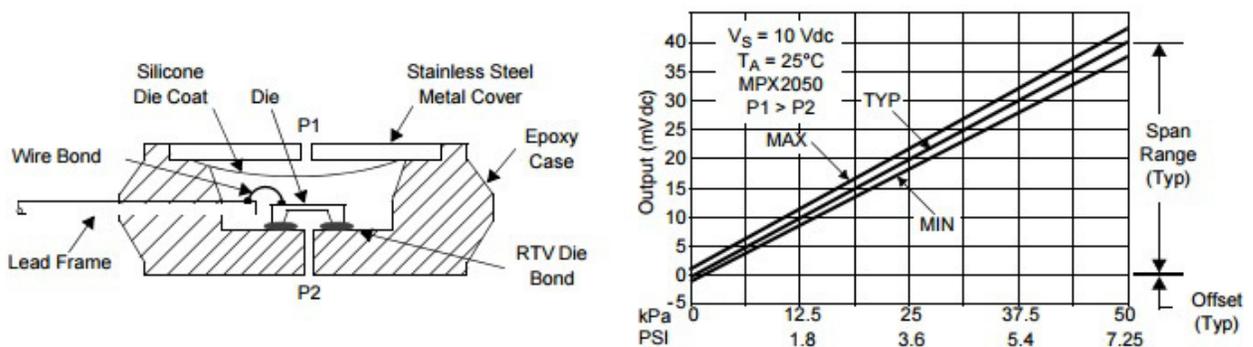


Figura 2.5 - Izquierda: Corte transversal de un sensor de presión diferencial. Derecha: Linealidad de la salida



2.4 Acondicionadores de señal

El acondicionamiento de señal varía según el tipo de sensor empleado. Aquí se tratan los adecuados para los transductores mencionados en el apartado anterior.

2.4.1 Acondicionadores de señal para LVDT y HBT

El acondicionamiento de señal de un LVDT y un HBT se lleva a cabo utilizando la decodificación radiométrica explicada en el apartado 2.3.1. El circuito integrado que realiza lo dicho es fabricado por la empresa Analog Devices y lleva el nombre de AD598. En la figura 2.6 se muestra el pinout y un diagrama en bloques de su funcionamiento.

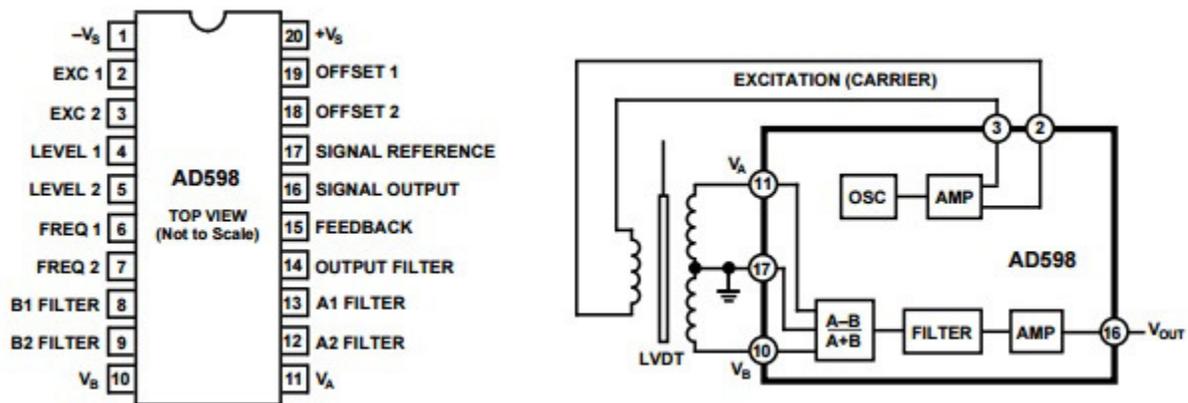


Figura 2.6 - Izquierda: Pinout del integrado AD598. Derecha: Diagrama de bloques de su funcionamiento

En la figura se observa que el integrado posee un oscilador sinusoidal de baja distorsión cuya frecuencia (desde 50Hz a 20kHz) es establecida por un capacitor y su amplitud (desde 2V_{rms} hasta 24V_{rms}) por una resistencia. Esta onda, luego de ser amplificada, se la inyecta al primario del LVDT. Las tensiones V_a y V_b del secundario son decodificadas de manera radiométrica. El valor resultante se lo filtra por un pasa bajos y, finalmente, se amplifica de manera de obtener la tensión adecuada para el circuito posterior. También es posible añadirle una corrección del offset a la salida.

La conexión de un LVDT y un HBT se muestran en la figura 2.7, la cual fue extraída de la hoja de datos del AD598. El HBT con este circuito posee un rendimiento degradado pero, aún así, aplicable en muchas situaciones donde precisión sub-micrón no sea necesaria.

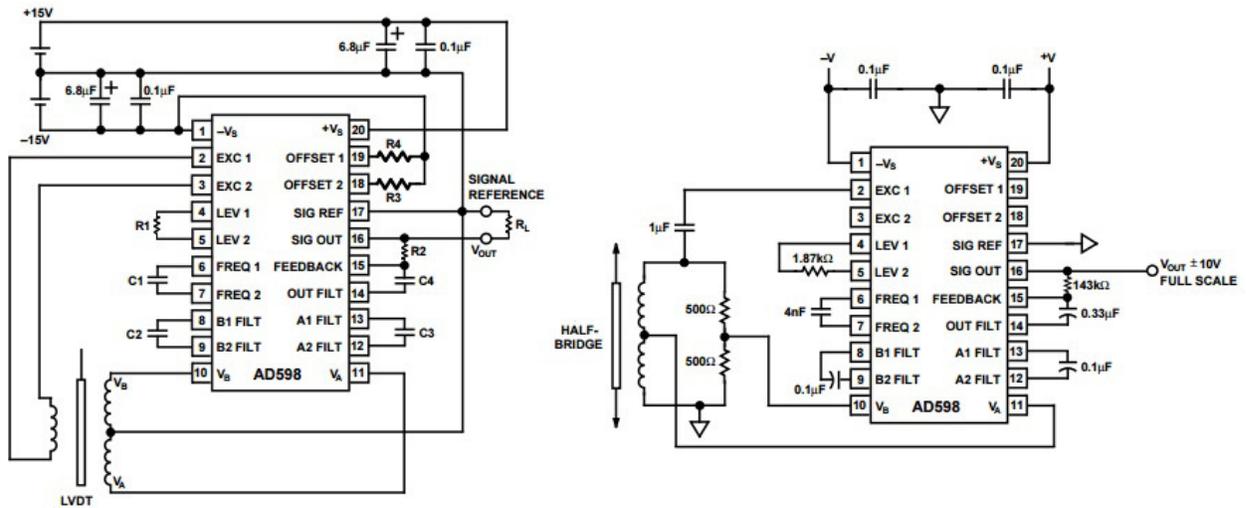


Figura 2.7 - Izquierda: Conexión de un LVDT al integrado AD598. Derecha: Conexión de un HBT al integrado AD598

2.4.1 Acondicionadores de señal para sensores de presión

El acondicionamiento de la señal entregada por un sensor de presión se basa en su amplificación a través de un *amplificador operacional de instrumentación*. Se utiliza este tipo de integrado ya que el sensor entrega una señal diferencial y se quiere tener un gran rechazo al ruido en modo común ya que la señal a amplificar tiene solamente 40mV a escala máxima.

En la figura 2.8 se muestra el pinout del amplificador operacional AD620 de la empresa Analog Devices. Dicho Op-Amp tiene la posibilidad de regular la ganancia desde 1 a 10000 con solo una resistencia externa, alta linealidad en su salida, un desplazamiento de $0.6\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. En la misma figura se puede observar el conexionado de un sensor de presión a dicho integrado.

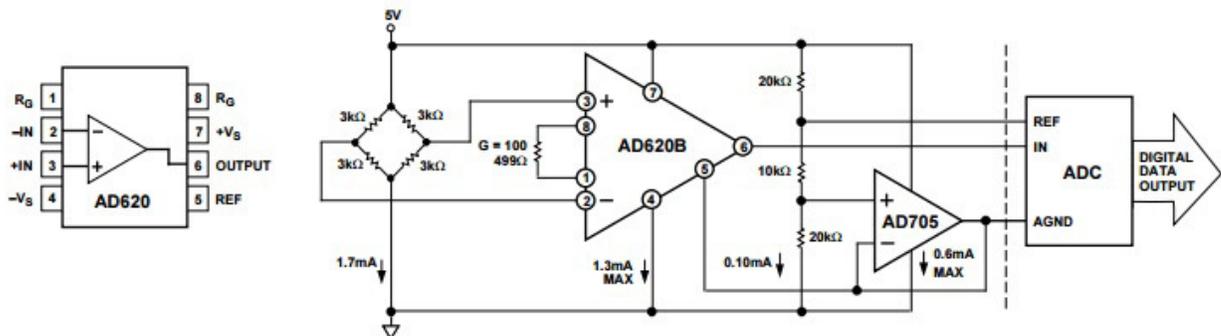


Figura 2.8 - Izquierda: Pinout AD620. Derecha: Conexión de un sensor de presión



2.5 Sistema SPC

El Control Estadístico de Procesos (**S**tatistical **P**rocess **C**ontrol por sus siglas en inglés) es un método de control de calidad que utiliza métodos estadísticos para monitorear un proceso y verificar que siempre trabaje a su máximo potencial, es decir, producir la mayor cantidad de piezas que cumplan con los requisitos de calidad y, a su vez, disminuir los rechazos y piezas a retrabajar.

La principal herramienta utilizada se conoce como Gráfico de Límites de Control que consiste de una Línea Central ó Línea de Control (LC) que representa el valor medio de la dimensión a controlar. Luego se trazan dos líneas más que representan el Límite de Control Superior (LCS) y el Límite de Control Inferior (LCI):

$$LCS = \mu + \frac{3}{\sqrt{n}}\sigma$$

$$LC = \mu$$

$$LCI = \mu - \frac{3}{\sqrt{n}}\sigma$$

μ : valor medio, n : número de muestra, σ : desviación estandar

Se realiza un gráfico para cada cota a controlar, se toman muestras a una frecuencia determinada y se coloca un punto correspondiente al valor de cada medición. Un ejemplo se muestra en la figura 2.9. Este tipo de gráfico se utiliza para predecir el comportamiento y estabilidad de un proceso.

Otros índices que se calculan con los datos obtenidos de las mediciones son el C_p y el C_{pk} siendo el *Índice de Capacidad del Proceso* (que tan disperso es el proceso) y el *Índice de Capacidad del Proceso Centrado* (que tan disperso es el proceso y donde se ubica la media respecto al valor nominal), respectivamente.

$$C_p = \frac{LCS - LCI}{6\sigma}$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{LCS - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LCI}{3\sigma}\right)$$



El proceso se califica como sigue:

- Si $C_p > 1$, se dice que proceso es "capaz de satisfacer las necesidades de calidad" ya que prácticamente todos los productos mecanizados estarán dentro de las tolerancias especificadas. Cuanto mayor a 1 sea el valor, más "capaz" el proceso.
- Si $C_p = 1$, el proceso es inestable, es decir, muy sensible a cualquier cambio de variable
- Si $C_p < 1$, el proceso no es "capaz" de satisfacer las necesidades de calidad.

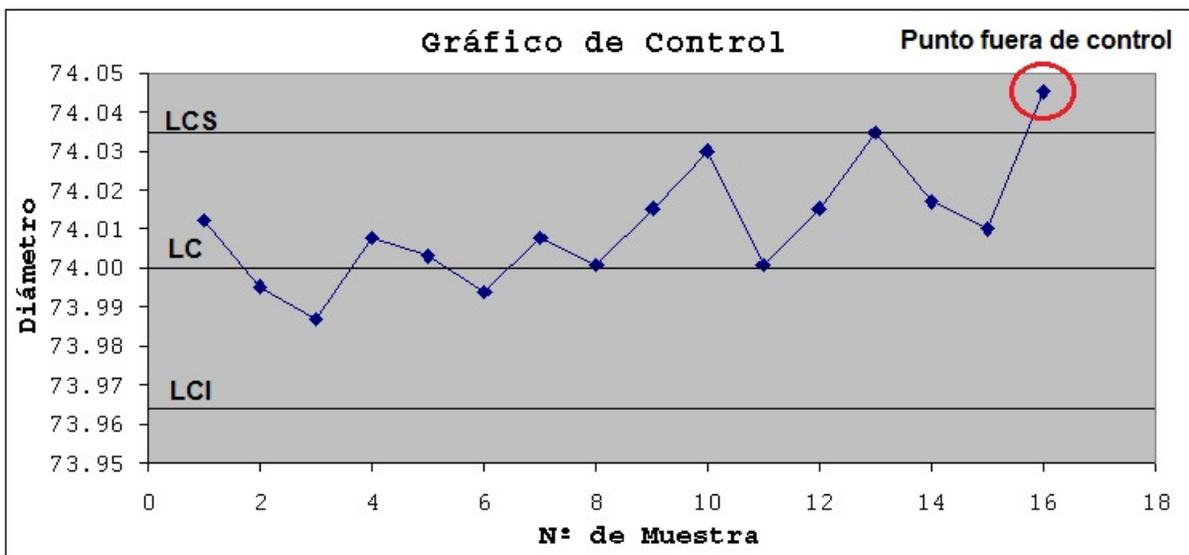


Figura 2.9 - Ejemplo de un gráfico de control de medición de una cota cuyo valor nominal es 74 mm

Capítulo 3:
Diseño del sistema de medición
POST-PROCESS



Capítulo 3: Diseño del sistema de medición POST-PROCESS

Luego de haber descripto la idea del Proyecto y los distintos componentes que intervendrán en el sistema de medición, en este capítulo se describe el diseño de los distintos subsistemas que integrarán luego al puesto de medición.

Las etapas en el diseño del sistema de medición POST-PROCESS se enumeran a continuación y se cubrirá cada una en un apartado:

- Presentación de las piezas a medir.
- Diseño mecánico del sistema pick and place para carga y descarga
- Diseño mecánico del sistema de lavado de piezas
- Diseño mecánico del sistema de medición
- Diseño mecánico del sistema de descarte de piezas rechazadas
- Diseño eléctrico del sistema de control
- Diseño electrónico del sistema de medición
- Modelo de software a utilizar

3.1 Presentación de las piezas a medir

A pesar que el sistema de medición propuesto puede ser utilizado para cualquier tipo de piezas, el diseño de todo el sistema tratado en este informe se realiza para tres modelos de la misma pieza. Esta pieza de la industria autopartista se conoce como **cuerpo acople o cono de sincronización** y va inserto en la caja de velocidades de los automóviles.

La función de la pieza a medir es la de elevar la velocidad del engranaje móvil para equipararla a la del engranaje fijo logrando, con esto, un acople de marchas suave ya que la velocidad relativa entre los engranajes a sincronizar es nula. Esta pieza va clavada por su diámetro interior en un eje y luego se sueldan por láser por lo que las dimensiones críticas y que deben ser controladas al 100% son el diámetro interior y el cono de sincronización:

- Si el diámetro interior está defectuoso en exceso del límite superior, es decir más grande de lo especificado, entrará con huelgo en el eje, la soldadora láser tendrá problemas para unir ambas piezas y el torque, en caso de poderse soldar, será transmitido por la soldadura solamente



2. Estación de lavado
3. Estación de medición
4. Estación de descarga de piezas, el cual acepta o rechaza las mismas

En la figura 3.2 se observa una vista isométrica del pick and place diseñado detallando cada una de los subsistemas los cuales se analizan a posteriori.

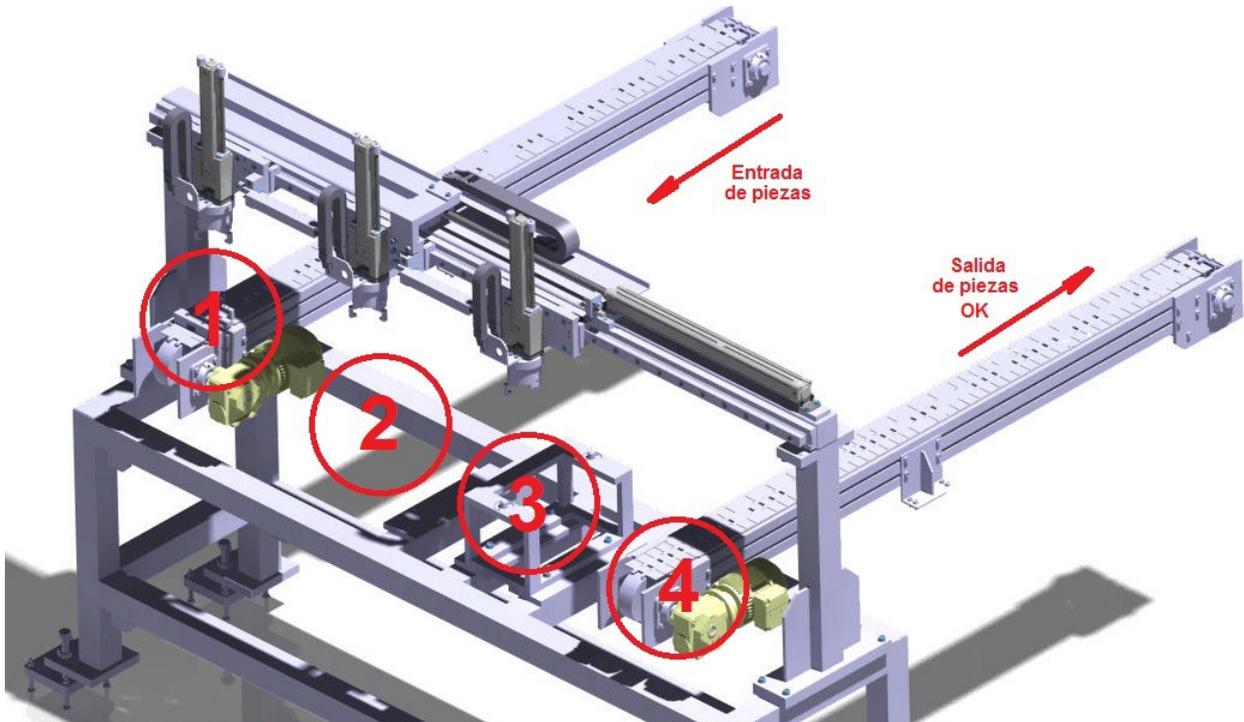


Figura 3.2 - Vista isométrica del sistema pick and place. Se muestran las cuatro estaciones

Como se observa en la figura 3.2, el sistema consta de tres manipuladores los cuales en el eje vertical son independientes y en el eje horizontal son desplazados en conjunto por un cilindro neumático. Cada manipulador en su extremo inferior posee una plato autocentrante de tres mordazas encargado de tomar las piezas de cada estación. Los tres manipuladores se colocan equidistantes a 570mm lo que se corresponde al entre centro de cada una de las estaciones y, a su vez, al recorrido del carro horizontal.

La secuencia de trabajo y su detallado se da a continuación:

1. Una pieza corre por la cadena de entrada y hace tope en una "V" la cual se encarga de posicionarla de modo que el plato y el componente a medir queden concéntricos. En la figura 3.3 se observa en detalle la estación de carga.



2. Una vez posicionada la pieza, los ejes verticales bajan accionados por una única válvula neumática, haciendo coincidir el primer manipulador con la pieza a ser cargada, el segundo con la estación de lavado y el tercero con la estación de medición. En la figura 3.2 están solamente los soportes de estas dos últimas ya que son sistemas descritos posteriormente y no forman parte del pick and place.
3. Se cierran los tres platos accionados neumáticamente por una segunda válvula tomando las tres piezas (o aire en su defecto si es que alguna estación se encontrara vacía, por ejemplo, antes de entrar en régimen el ciclo de producción)
4. Una vez tomadas las piezas, los cilindros verticales se retraen
5. El cilindro horizontal se retrae logrando que las piezas avancen un paso (570mm), es decir la pieza de carga pasa a la estación de lavado, la de lavado a la de medición y la de medición a la de aprobación.
6. Los manipuladores descienden al invertir el flujo de aire en los cilindros verticales.
7. Los tres platos abren simultáneamente
8. Los manipuladores se elevan
9. El cilindro horizontal se expande para llevar el carro a posición inicial y repetir el ciclo

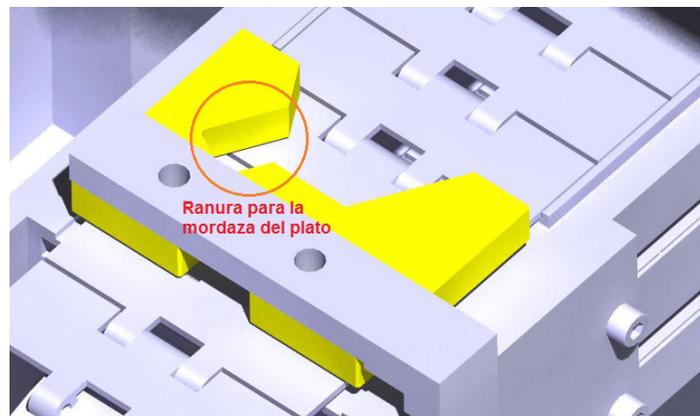


Figura 3.3 - Vista en detalle del tope de pieza en la estación de carga

Los platos son autocentrantes de tres mordazas distribuidos en 360°, por lo que se encuentran a 120° entre sí. El principio de funcionamiento de estos platos autocentrantes consiste de un plano inclinado de 40° respecto al eje es desplazado por un cilindro neumático cuyo émbolo tiene un diámetro de 50mm y un eje de diámetro igual a 14mm, su carrera es de 9,5mm (ver figura 3.4). Al moverse, el plano inclinado arrastra las tres mordazas, es decir, cuando el vástago empuja, el plato cierra y cuando el vástago tira, el plato abre. La fuerza de agarre del plato, suponiendo una presión de aire de 6 bar, es de 129,3 kgf, más que suficiente para agarrar la pieza pero no tan elevada como para deformarla:



$$F = P \times A \times \cos(40)$$

$$F = P \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \frac{1}{\operatorname{tg}(40)} = 60 \frac{N}{\text{cm}^2} \frac{\pi((5\text{cm})^2 - (1.4\text{cm})^2)}{4} \frac{1}{\operatorname{tg}(40)} = 1293N = 129.3\text{kgf}$$

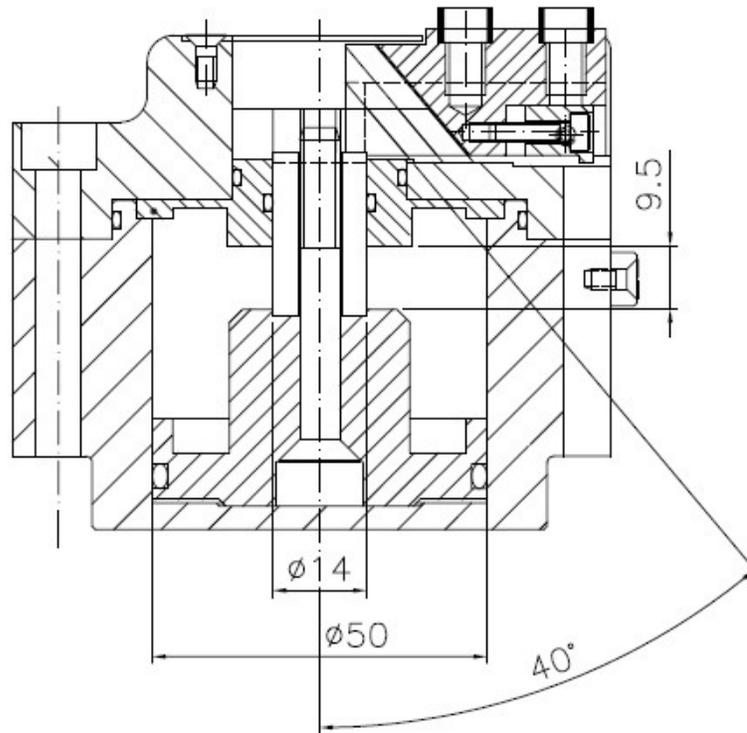


Figura 3.4 - Vista en corte de plato expansor

El manipulador posee tres sistemas idénticos, uno por plato, para poder elevar la pieza y quitarla de una estación y, luego, posicionarla en la próxima estación. En la figura 3.4.1 se muestra el conjunto de dicho sistema. Como se observa, posee un cilindro neumático marca FESTO modelo DNC-32-250, es decir tienen un émbolo de 32mm diámetro y 250mm de carrera. El vástago, según el manual tiene un diámetro de 6mm. La fuerza ascendente del cilindro suponiendo 6 bar de presión neumática es de

$$F = P \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = 60 \frac{N}{\text{cm}^2} \frac{\pi(3.2\text{cm}^2 - 0.6\text{cm}^2)}{4} = 465N = 46.5\text{kgf}$$



El plato tiene un peso de 2.97kgf y el soporte y guías cilíndricas pesan 1.8kgf por lo que el conjunto total pesa aproximadamente 5kgf (sumándole la pieza de 0.3kgf), por lo que la fuerza de elevación es suficiente ya que $5\text{kgf} < 46.5\text{kgf}$.

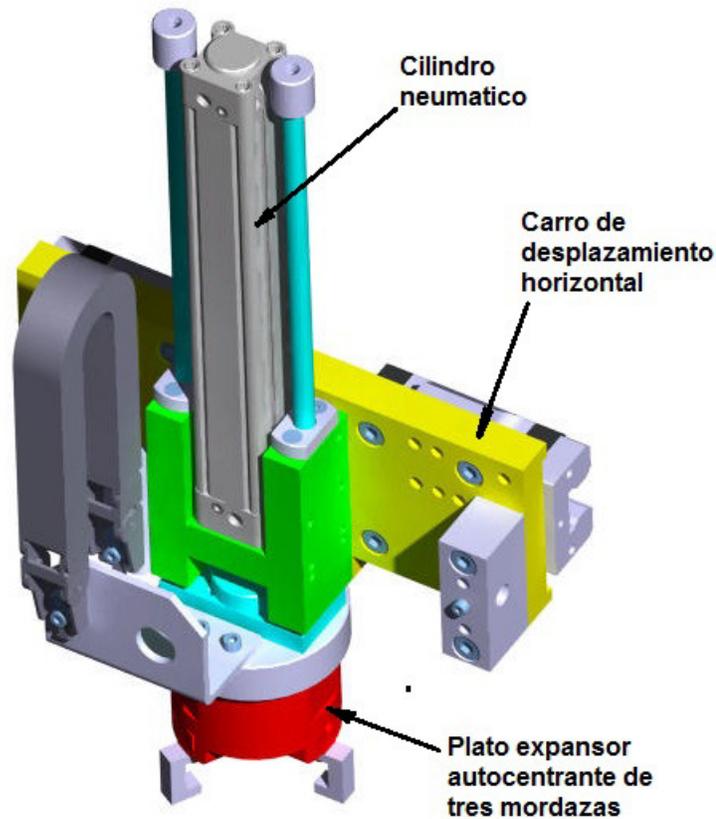


Figura 3.4.1 - Sistema de elevación y descenso de piezas

En la figura 3.2 se observa el soporte de la estación de medición. Un detalle se muestra en la figura 3.5 y se ve que posee dos pernos de localización los cuales hacen de cambio rápido, es decir, según el modelo de pieza a producir el calibre se desmonta de manera rápida y sencilla y se monta el adecuado quedando en la posición correcta.

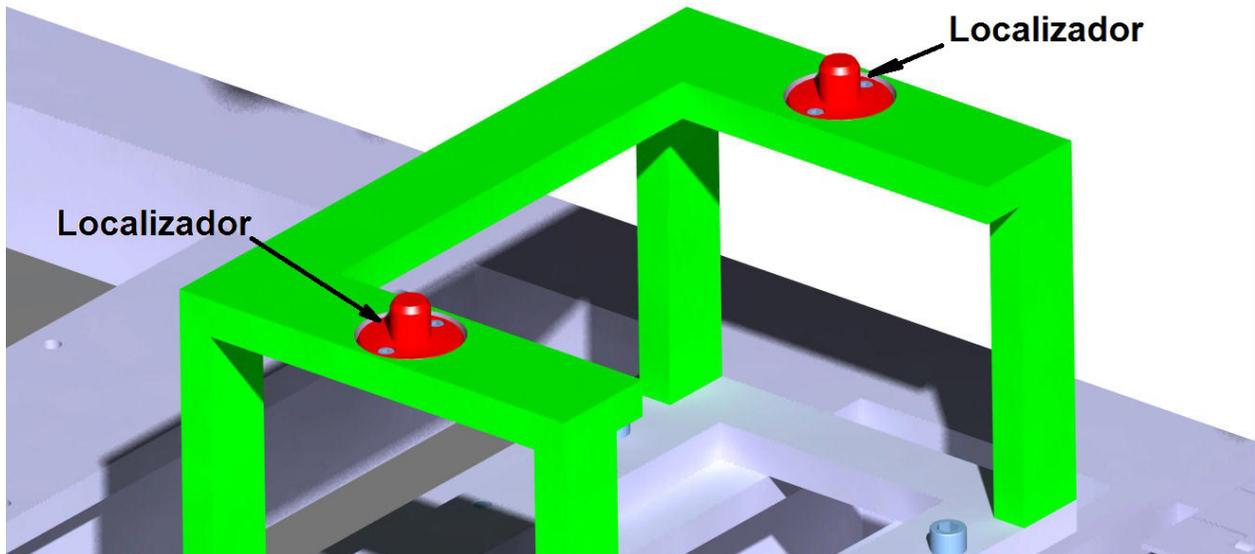


Figura 3.5 - Vista en detalle del sistema de localización de la estación de medición

3.3 Diseño mecánico del sistema de lavado de piezas

Las piezas a medir antes de entrar a la estación de control deben estar totalmente libres de impurezas como virutas y restos de líquido de refrigeración de herramientas. Mediante prueba y error se descubrió que soplándolas con aire a presión en zonas estratégicas es la mejor forma de deshacerse de estos residuos.

En la figura 3.6 se muestra una vista isométrica del sistema de lavado y su funcionamiento es como sigue:

1. La puerta de la estación está abierta a la espera de una pieza o, en su defecto, de que la pieza del ciclo anterior sea removida.
2. El pick and place hace lo suyo colocando una parte nueva y se retira.
3. La puerta se cierra gracias al cilindro neumático y provee un sello para evitar que al soplar los residuos escapen al exterior



4. Se activa una válvula neumática del tipo 3/2 (actúa como una llave de paso) enviando aire comprimido por los agujeros de la estación y, mediante aspersores, la pieza es limpiada.

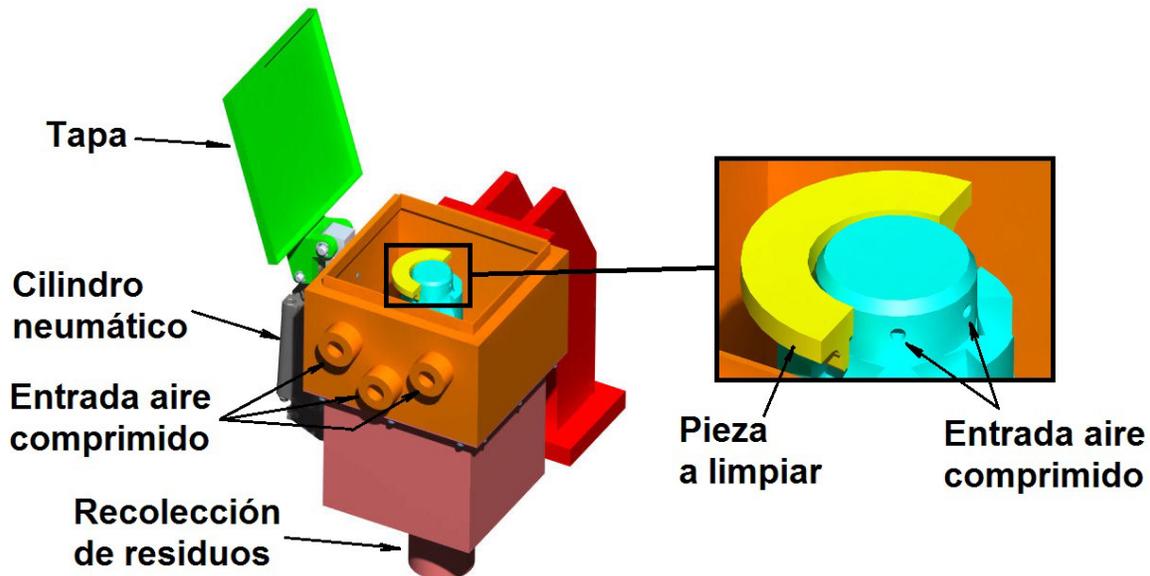


Figura 3.6 - Vista en detalle de la estación de limpieza de piezas

3.4 Diseño mecánico del sistema de medición

El sistema de medición es algo complejo por lo que se hará un análisis detallado de cada una de las partes. Para comenzar, en la figura 3.7 se muestra el calibre terminado.

Si se quita la protección (fig. 3.7), queda al descubierto toda la mecánica necesaria para controlar la pieza. Los subsistemas se enumeran a continuación y son indicados en la figura 3.8:

1. Subsistema de carga de piezas
2. Subsistema de medición por LVDT
3. Subsistema de medición por presión neumática

A continuación se estudia cada sistema en detalle

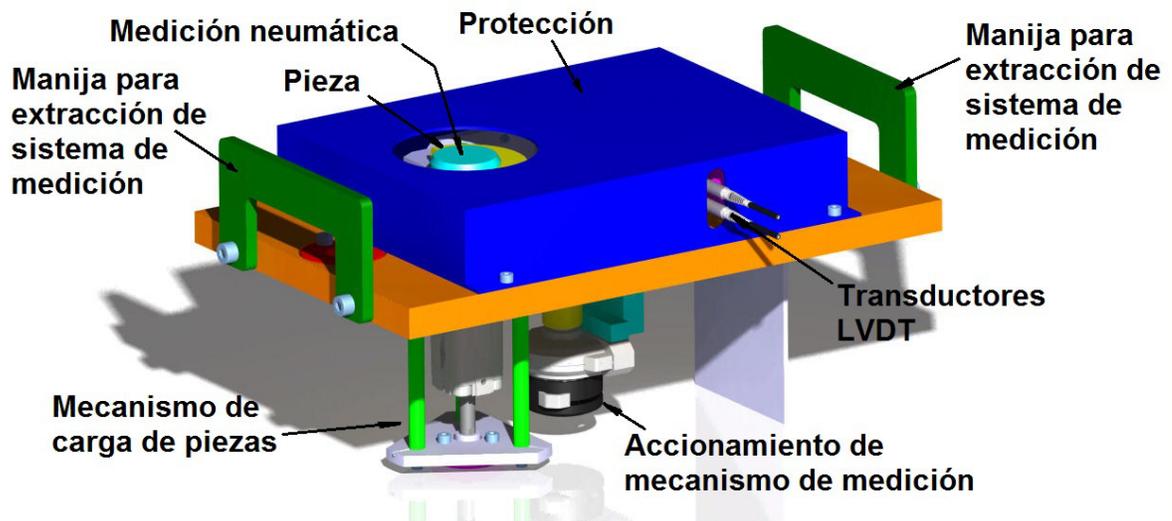


Figura 3.7 - Vista general del sistema de medición

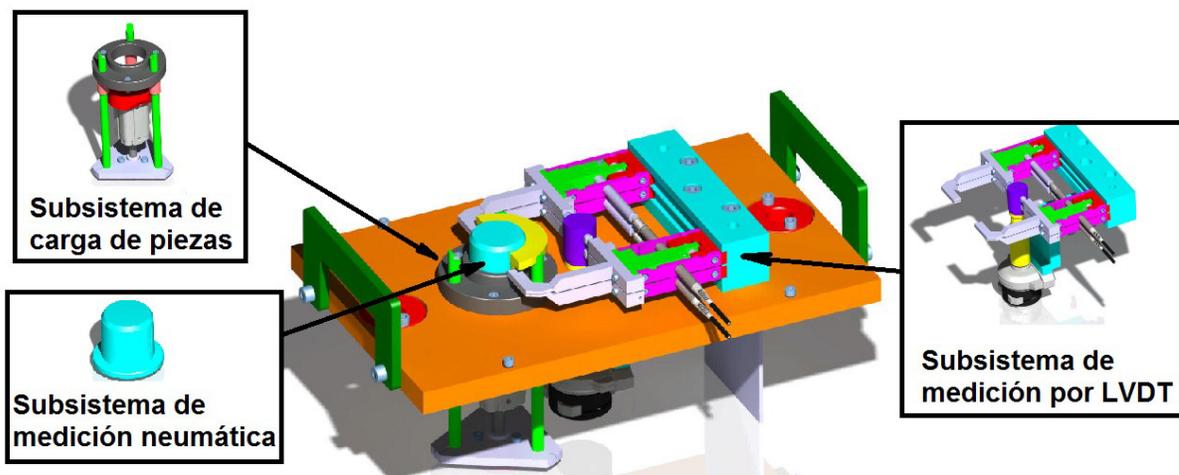


Figura 3.8 - Sistema de medición y sus tres subsistemas

3.4.1 Subsistema de carga de piezas

El primer subsistema con el que se encuentra la pieza a ser controlada es el "Subsistema de carga de piezas". Éste cuenta con un cilindro neumático el cual se utiliza para llevar la pieza hasta el subsistema de medición neumática y por LVDT al expandirse. Cuenta con un sensor que indica cuando la pieza está en correcta posición. Una vez verificada, el cilindro se retrae elevando la pieza para que el manipulador pueda tomarla y quitarla del calibre. En la figura 3.9 se ve en detalle lo descrito.

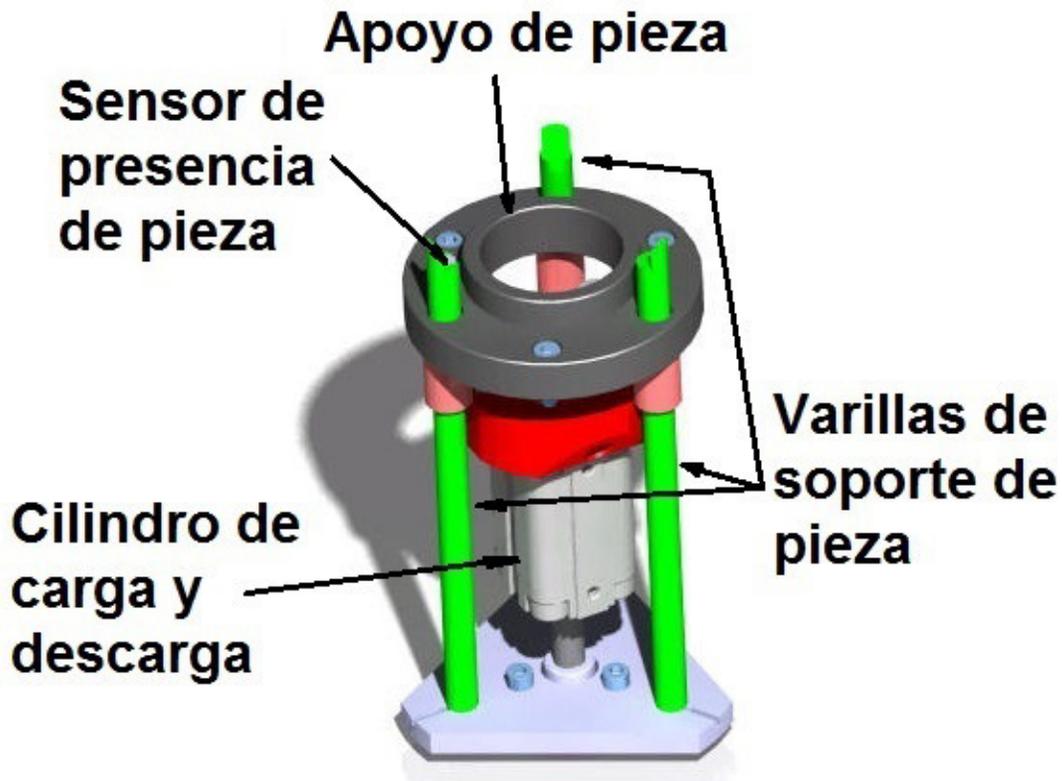


Figura 3.9 - Subsistema de carga y descarga de piezas del sistema de medición

3.4.2 Subsistema de medición por LVDT

Este subsistema es el más complejo de los tres. Se compone de cuatro paralelogramos deformables y una leva rotativa. Si se toma como "estado origen" la posición en la que el calibre está a la espera de una nueva pieza, la leva está deformando elásticamente los paralelogramos haciendo que los palpadores no estén retraídos, es decir, a un diámetro algo mayor que el valor máximo de una pieza buena.

Al ingresar una pieza, la leva gira 90° haciendo que los paralelogramos vuelvan a su estado sin deformación elástica y, de esta manera, se logra que los palpadores entren en contacto con la pieza. En este estado, los LVDT "miden" de manera indirecta el diámetro de la pieza. En la figura 3.12 se muestra este subsistema en detalle.

Según el plano de pieza mostrado anteriormente se debe medir un diámetro definido a una distancia X desde el frente y el ángulo del cono de la misma como se observa en la figura 3.10. Es por este motivo que existen dos LVDT en el calibre: se toman dos diámetros y



conociendo la distancia entre los palpadores superiores e inferiores (L) y la distancia desde el inferior al frente de la pieza (A), se puede calcular el ángulo, el diámetro D_x a una distancia X desde el apoyo y la distancia X a la que aparecería un diámetro D_x con las fórmulas desarrolladas a continuación:

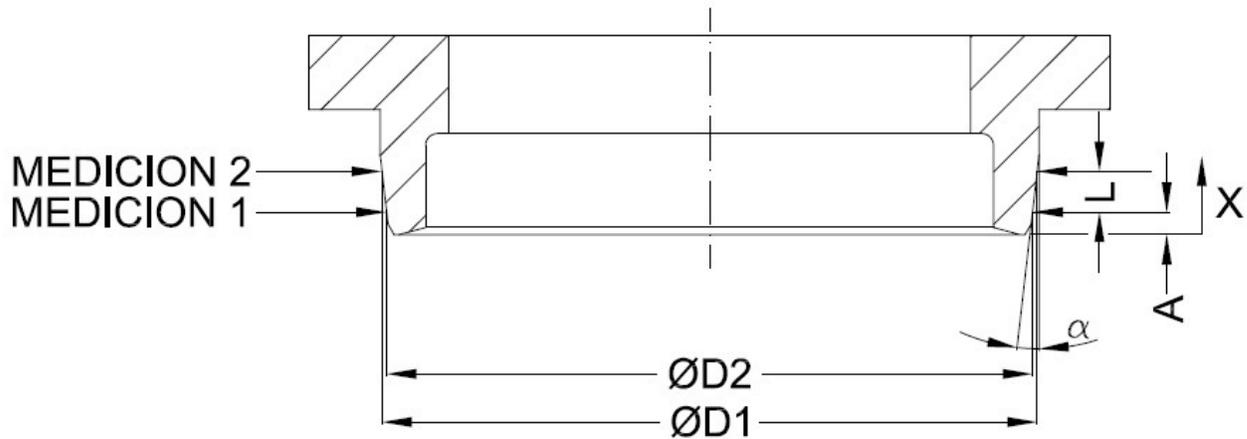


Figura 3.10 - Corte de pieza con sus variables

Siendo A, L conocidas por construcción geométrica del calibre y $\text{Ø}D1$ y $\text{Ø}D2$ medidas con los LVDT,

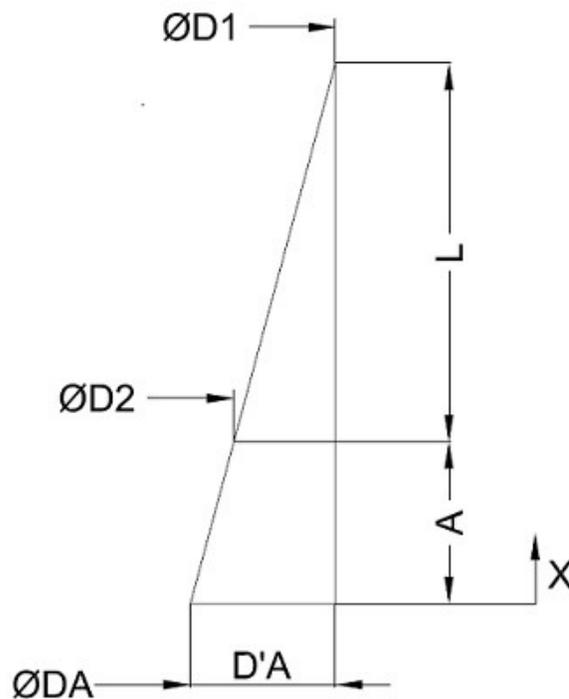


Figura 3.11 - Semejanza de triángulos

- El ángulo del cono:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{D_1 - D_2}{2L} \right) \quad (1)$$

- El diámetro D_x a una distancia X desde el frente (ver figura 3.10) se calcula como:

-Se define D_A (ver figura 3.11) como el diámetro a la cota A (diámetro del cono en la parte del frente de la pieza, es decir a $X=0$):

$$D_A = D_1 - 2D'_A \quad (2)$$



- Por semejanza de triángulos,

$$\frac{L + A}{L} = \frac{D'_A}{\frac{D_1 - D_2}{2}}$$

$$D'_A = \left(1 + \frac{A}{L}\right) x \left(\frac{D_1 - D_2}{2}\right) \quad (3)$$

- Reemplazando (3) en (2),

$$D_A = D_1 - 2 \left(1 + \frac{A}{L}\right) x \left(\frac{D_1 - D_2}{2}\right)$$

$$D_A = D_1 - \left(1 + \frac{A}{L}\right) x (D_1 - D_2)$$

$$D_A = -\frac{A}{L} D_1 + \left(1 + \frac{A}{L}\right) D_2 \quad (4)$$

- Para calcular D_X se sabe que

$$D_X = D_A + 2X \tan \alpha \quad (5)$$

$$\tan \alpha = \left(\frac{D_1 - D_2}{2L}\right) \quad (6)$$

- Reemplazando (4) y (6) en (5),

$$D_X = -\frac{A}{L} D_1 + \left(1 + \frac{A}{L}\right) D_2 + 2X \left(\frac{D_1 - D_2}{2L}\right)$$

$$D_X = -\frac{A}{L} D_1 + \left(1 + \frac{A}{L}\right) D_2 + \left(\frac{D_1 - D_2}{L}\right) X \quad (7)$$

- Para respetar el plano de pieza, es necesario calcular la cota X para la que existe un diámetro dado, entonces, despejando de (7) se obtiene

$$X = \frac{D_X + \frac{A}{L} D_1 - \left(1 + \frac{A}{L}\right) D_2}{\left(\frac{D_1 - D_2}{L}\right)} \quad (8)$$

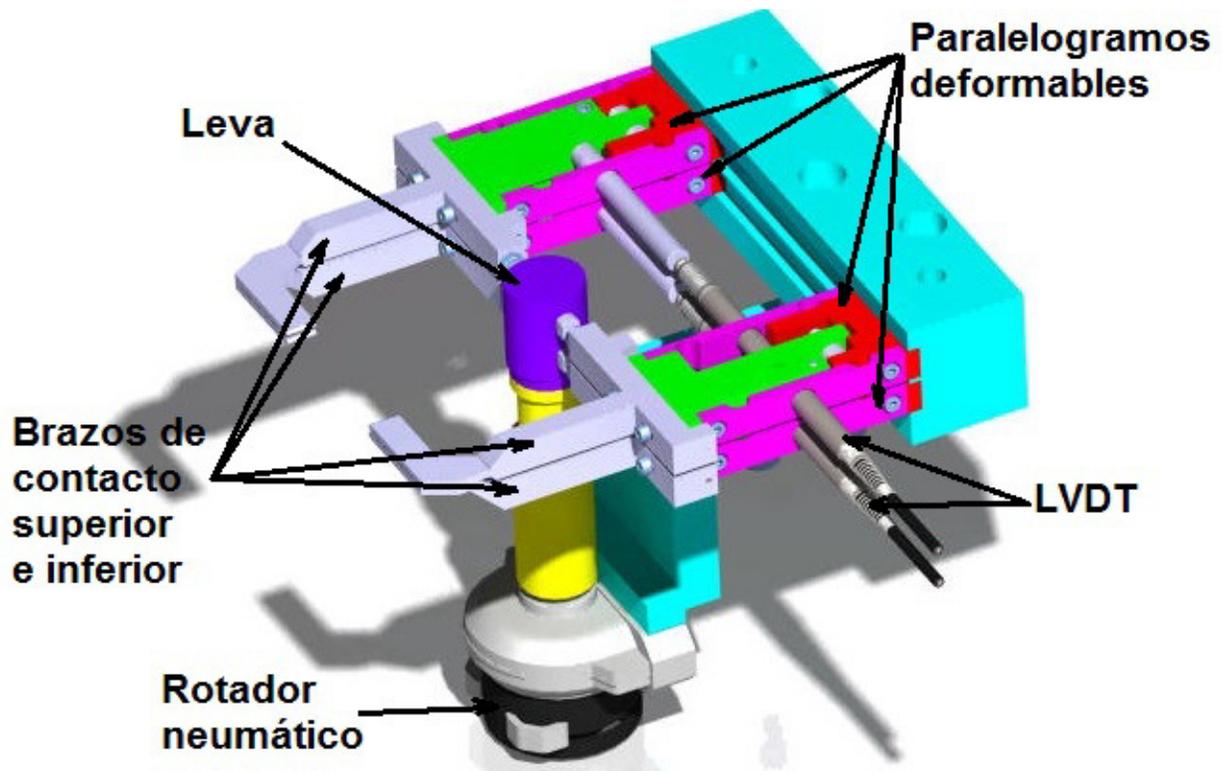


Figura 3.12 - Subsistema de medición por LVDT

Los brazos de contacto son los que determinan las constantes en las fórmulas (1), (7) y (8). En la figura 3.13 se muestra un detalle del plano constructivo de este subsistema:

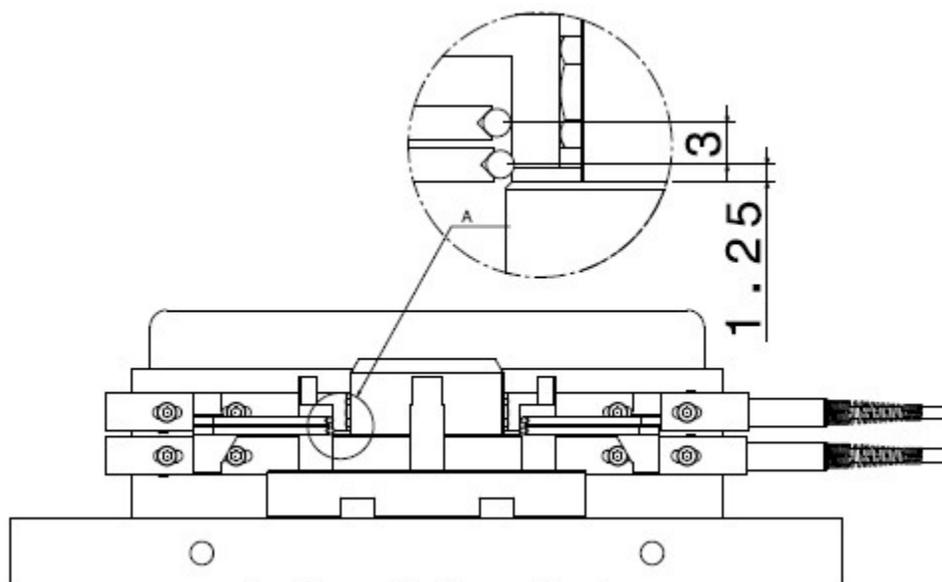


Figura 3.13 - Destalle de valores de L y A



Se observa, entonces, que $L=3\text{mm}$ y $A=1,25\text{mm}$.

Otro detalle a tener en cuenta y muy importante es que debido a la presencia del paralelogramo deformable y no de una simple palanca de medición indirecta, el valor medido por el LVDT tiene relación 1:1 con el desplazamiento del brazo de contacto, a diferencia de la palanca de medición que se debería calcular la relación de brazos. La figura 3.14 explica este fenómeno:

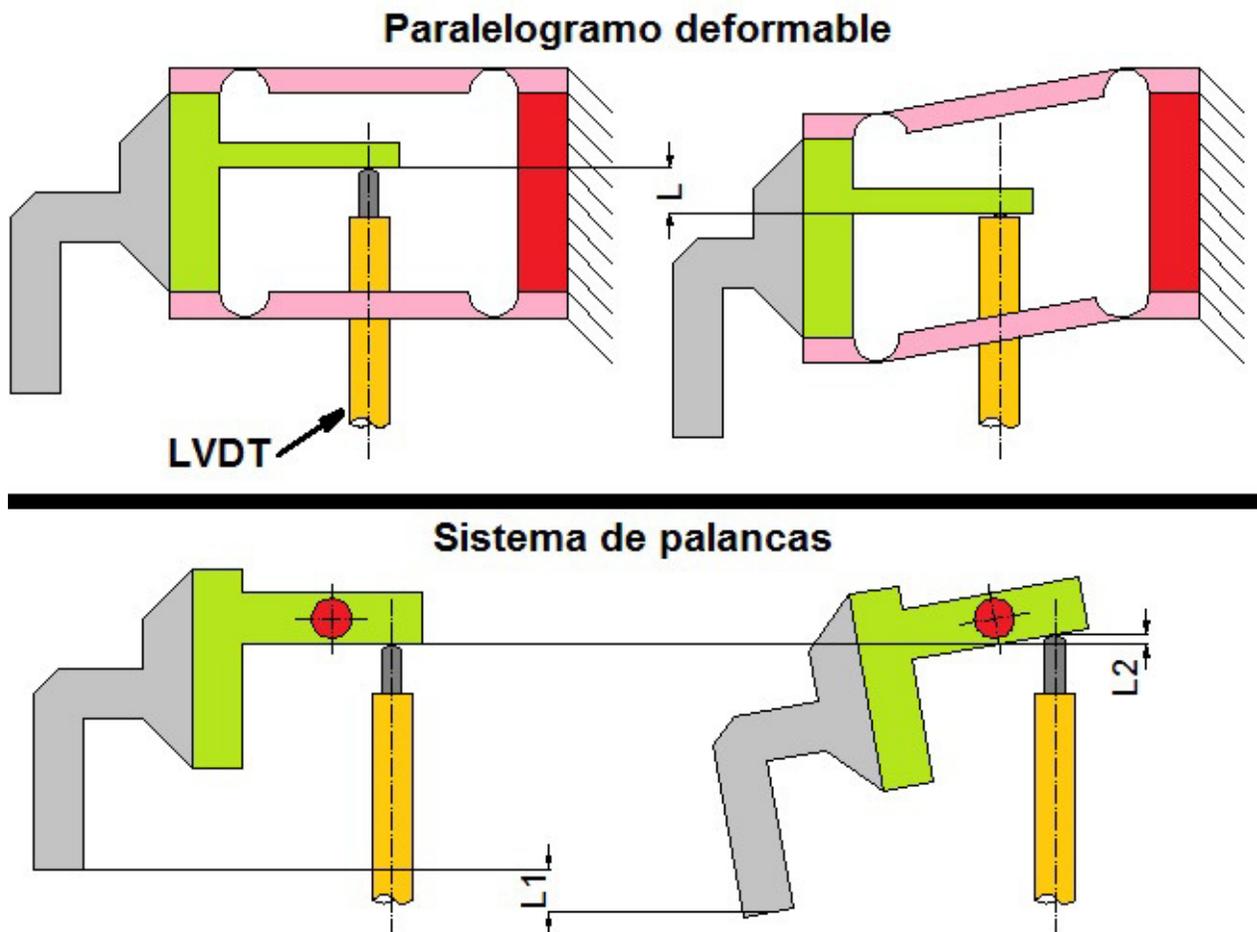


Figura 3.14 - Comparación paralelogramo deformable con sistema de palancas

En la figura se observa, aunque las deformaciones y giros han sido exageradas, que en el paralelogramo deformable el LVDT mide exactamente el desplazamiento del brazo de contacto. En el sistema de palancas el brazo se ha desplazado (la rotación es despreciable) $L1$ mientras que el LVDT midió $L2$. Esto reduce errores de cálculo debido a la incertidumbre en la construcción del calibre.



3.4.3 Subsistema de medición por presión neumática

Finalmente el último sistema que posee el calibre es el de medición por diferencia de presión neumática. Consiste en dos pequeñas toberas ubicadas radialmente y a 180° en un cilindro, como se muestra en la figura 3.15, por los cuales se libera aire a 0.5 bar aproximadamente (eso se logra con un regulador de presión de precisión). Se debe lograr que la velocidad de salida del aire sea lo más alta posible (idealmente supersónica) para ello se utiliza un regulador de caudal de precisión. Este cilindro debe ser construido de lo más exacto posible para que quede solamente un huelgo de 5 centésimos de milímetro entre la pieza y el mismo.

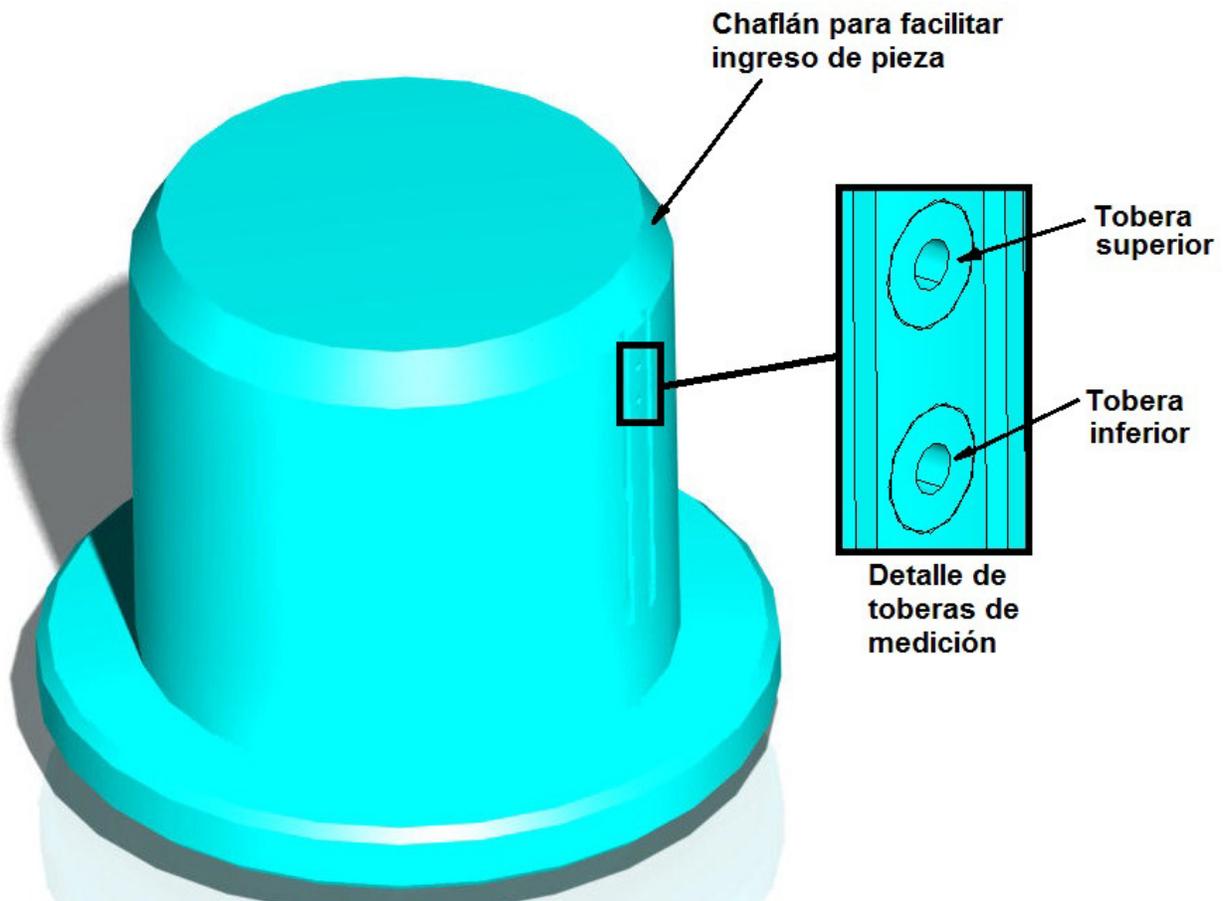


Figura 3.15 - Detalle de sistema de medición por presión neumática



El funcionamiento es como sigue:

1. El cilindro se coloca dentro del diámetro a medir de una pieza cuyo diámetro es conocido.
2. Se patrona el calibre, es decir, se registra que presión se tiene para ese diámetro de valor conocido.
3. Se quita el patrón y se coloca la pieza cuyo diámetro se desea conocer
4. Se registra que valor de presión se tiene y, realizando una regla de tres simple (se considera que la diferencia entre el patrón y la pieza a medir son muy pequeñas, entonces se puede suponer una variación lineal de presión), se obtiene el valor del diámetro de la pieza

$$D_X = \frac{P_X}{P_P} D_P$$

D_X es el diámetro desconocido de la pieza a medir, P_X es la presión que se registra para D_X ; D_P y P_P son el diámetro y presión registrada de la pieza patrón respectivamente.

En la figura 3.15 se observa que existen dos pares de toberas (las otras dos están a 180° sobre el cilindro), las superiores y las inferiores. Cada par trabaja de manera independiente, es decir, se miden dos diámetros ya que el plano de pieza exige un paralelismo de 0,007mm, que, estrictamente hablando, se traduce a cilindridad, por lo tanto tomando dos mediciones a distinta altura se puede saber que conicidad existe en dicho diámetro y, de este modo, efectuar las correcciones pertinentes.

3.5 Diseño mecánico del sistema de descarte de piezas rechazadas

El último sistema que existe en el POST-PROCESS es el de descarte de piezas en condición NO OK y de aceptación de piezas en condición de OK, decisión tomada por el calibre desarrollado en la sección 3.4. Cumple, además, de una segunda función: la operación de torneado posterior precisa que la pieza este girada con respecto a la posición actual, es decir, el cono sincronizador debe quedar apuntando hacia arriba por lo que este sistema la rota y libera de manera adecuada



Como se observa en la figura 3.16, consiste de un cilindro neumático que permite el paso de la pieza OK al retraerse o, en su defecto, descartar la pieza.

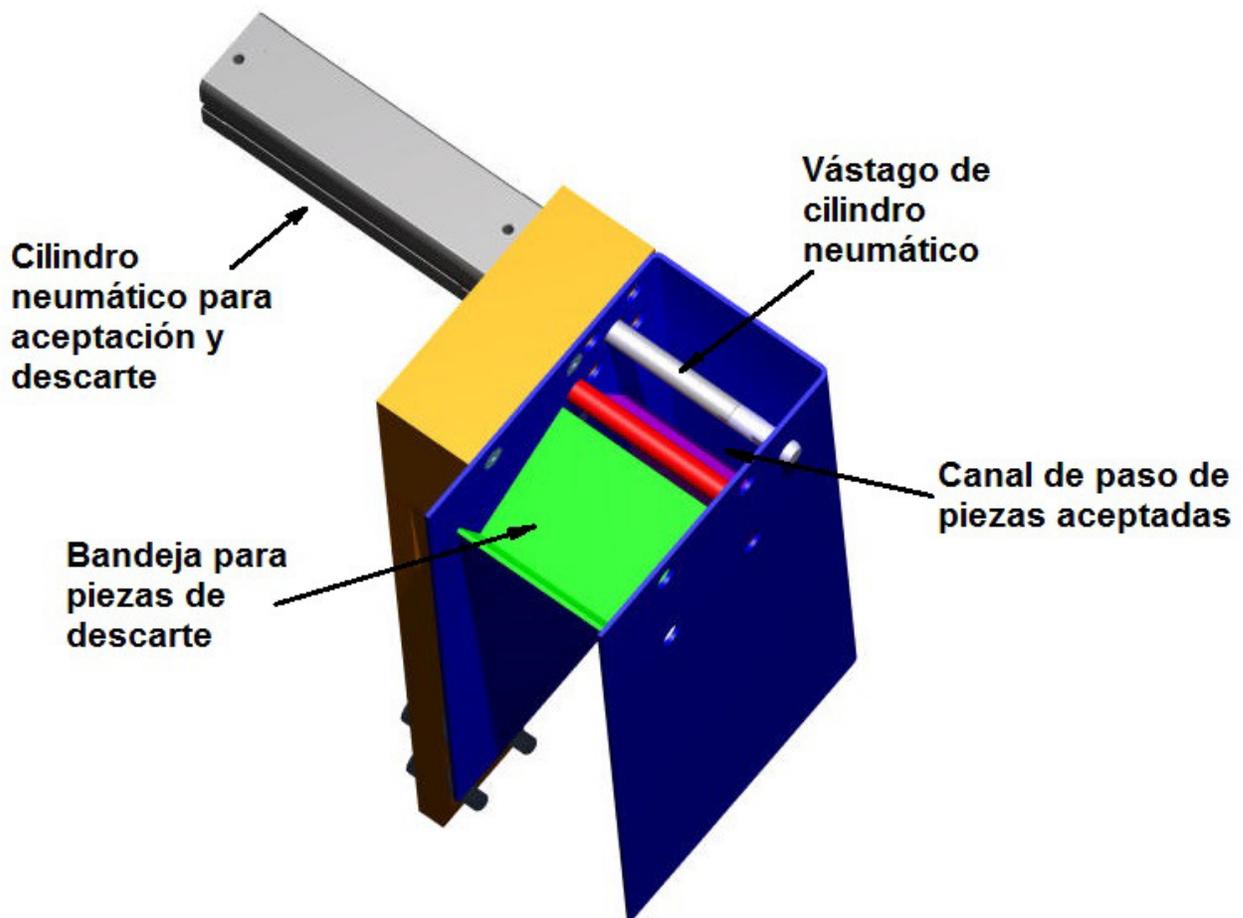


Figura 3.16 - Detalle de sistema de rechazo o aceptación de piezas

La figura 3.17 muestra en secuencias como la pieza es rechazada y cuando es aceptada como la pieza es rotada. Cabe aclarar que ambos movimientos son llevados a cabo por efectos de la gravedad.

La pieza aceptada cae directamente sobre la cadena de transporte de ingreso de la máquina que realiza la siguiente operación por lo que este sistema se atornilla sobre la soportería de dicha cadena ahorrando, así, cualquier otro tipo de mecanismo que haría falta si la descarga se realizara en otro lugar.

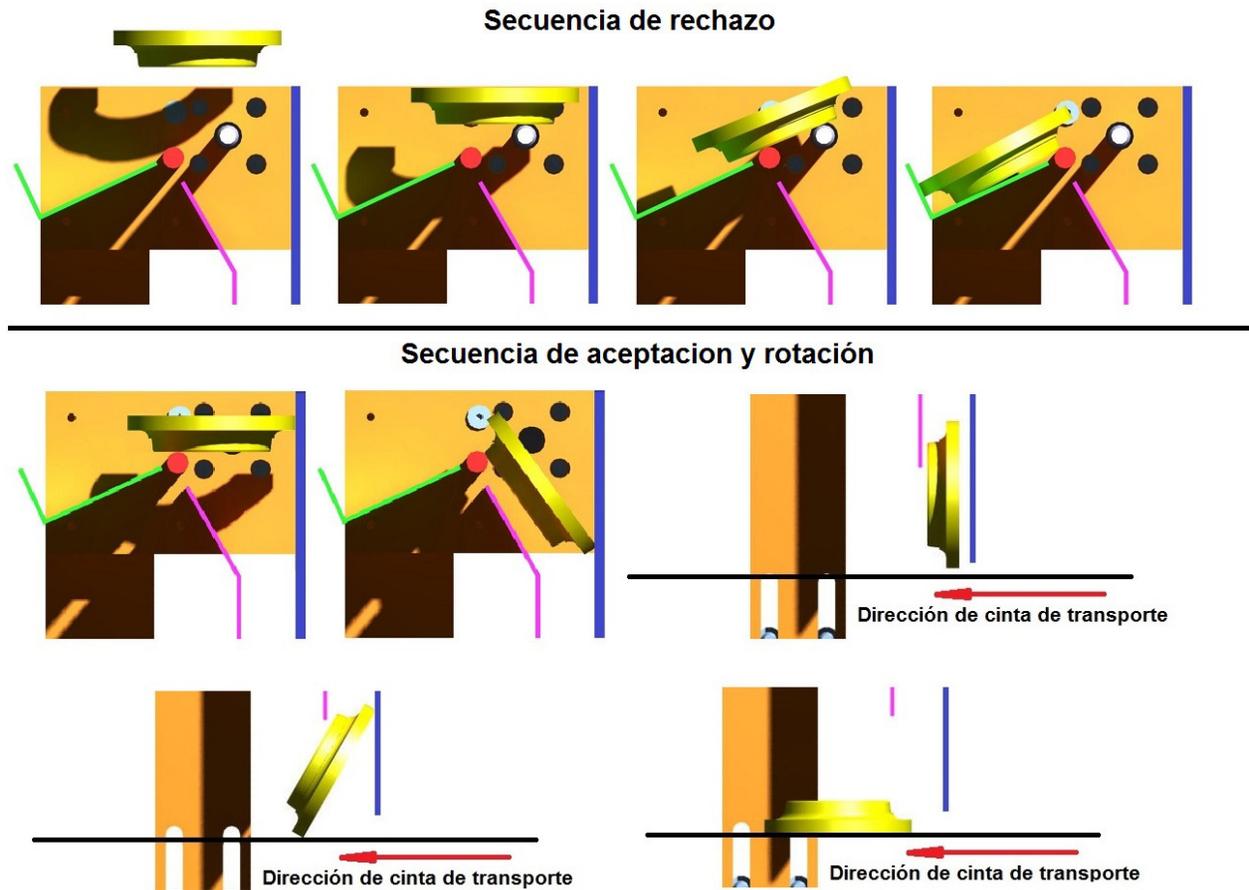


Figura 3.17 - Arriba: secuencia de rechazo de pieza - Abajo: secuencia de aceptación y rotación de pieza aceptada

3.5 Diseño eléctrico de control

Para el control del calibre se utiliza un PLC Siemens de la serie 200 que, a pesar de tener muchos años en el mercado, aún se utiliza para aplicaciones sencillas como esta. La programación se realiza en lenguaje *ladder* para su fácil comprensión y mantenimiento.

El diseño eléctrico se realizó teniendo en cuenta las siguientes premisas:

- Debe ser de bajo costo
- Contar con la seguridad adecuada en cuanto a parada de emergencia y puertas de protección al operador
- Incluir elementos de protección eléctrica como interruptores termomagnéticos y fusibles
- Utilizar materiales de fácil acceso (materiales nacionales como primera opción)



- Utilizar tensión de seguridad para todo el sistema de control (24Vdc)
- Todos los cables deben estar identificados para un fácil mantenimiento
- No se permiten empalmes, todo cable debe ir a bornera

El PLC consiste de 4 módulos:

1. Unidad de procesado
2. Primer módulo de 16 entradas digitales de 24Vdc
3. Segundo módulo de 16 entradas digitales de 24Vdc
4. Módulo de 16 salidas digitales de 24Vdc 500mA total

A continuación se muestra una tabla con el listado de entradas y salidas hacia y desde el PLC respectivamente. En el anexo I se brinda el esquema eléctrico completo.

Módulo	Entrada	Descripción función
Entradas 1	I0.0	Emergencia en condiciones y puertas cerradas
	I0.1	Presión neumática en condiciones
	I0.2	Comando de arranque de ciclo
	I0.3	Comando de parada de ciclo
	I0.4	Señal desde calibre: medición completa
	I0.5	Señal desde calibre: error de medición
	I0.6	Reserva
	I0.7	Presencia de pieza en estación de carga
	I1.0	Pórtico en posición de carga
	I1.1	Pórtico en posición de descarga
	I1.2	Manipulador 1 en posición superior
	I1.3	Manipulador 1 en posición inferior
	I1.4	Manipulador 2 en posición superior
	I1.5	Manipulador 2 en posición inferior
	I1.6	Manipulador 3 en posición superior
	I1.7	Manipulador 3 en posición inferior
Entradas 2	I2.0	Plato 1 en posición abierta
	I2.1	Plato 2 en posición abierta
	I2.2	Plato 3 en posición abierta
	I2.3	Tapa de estación de lavado abierta



	I2.4	Cargador de estación de medición en posición superior
	I2.5	Presencia de pieza en estación de medición
	I2.6	Estación de descarte en posición de rechazo
	I2.7	Reserva
	I3.0	Reserva
	I3.1	Reserva
	I3.2	Reserva
	I3.2	Reserva
	I3.3	Reserva
	I3.4	Reserva
	I3.5	Reserva
	I3.6	Reserva

Módulo	Salida	Descripción función
Salidas 1	Q0.0	Pórtico a posición de carga
	Q0.1	Pórtico a posición de descarga
	Q0.2	Manipulador 1 y 2 a posición inferior
	Q0.3	Manipulador 3 a posición inferior
	Q0.4	Abrir platos
	Q0.5	Abrir tapa de estación de lavado
	Q0.6	Soplar pieza en estación de lavado
	Q0.7	Subir cargador de piezas de estación de medición
	Q1.0	Bajar cargador de piezas de estación de medición
	Q1.1	Estación de medición a posición de reposo (paralelogramos deformables alejados de pieza)
	Q1.2	Estación de medición a posición de medición (paralelogramos deformables hacen contacto con pieza)
	Q1.3	Aceptar pieza en estación de rechazo

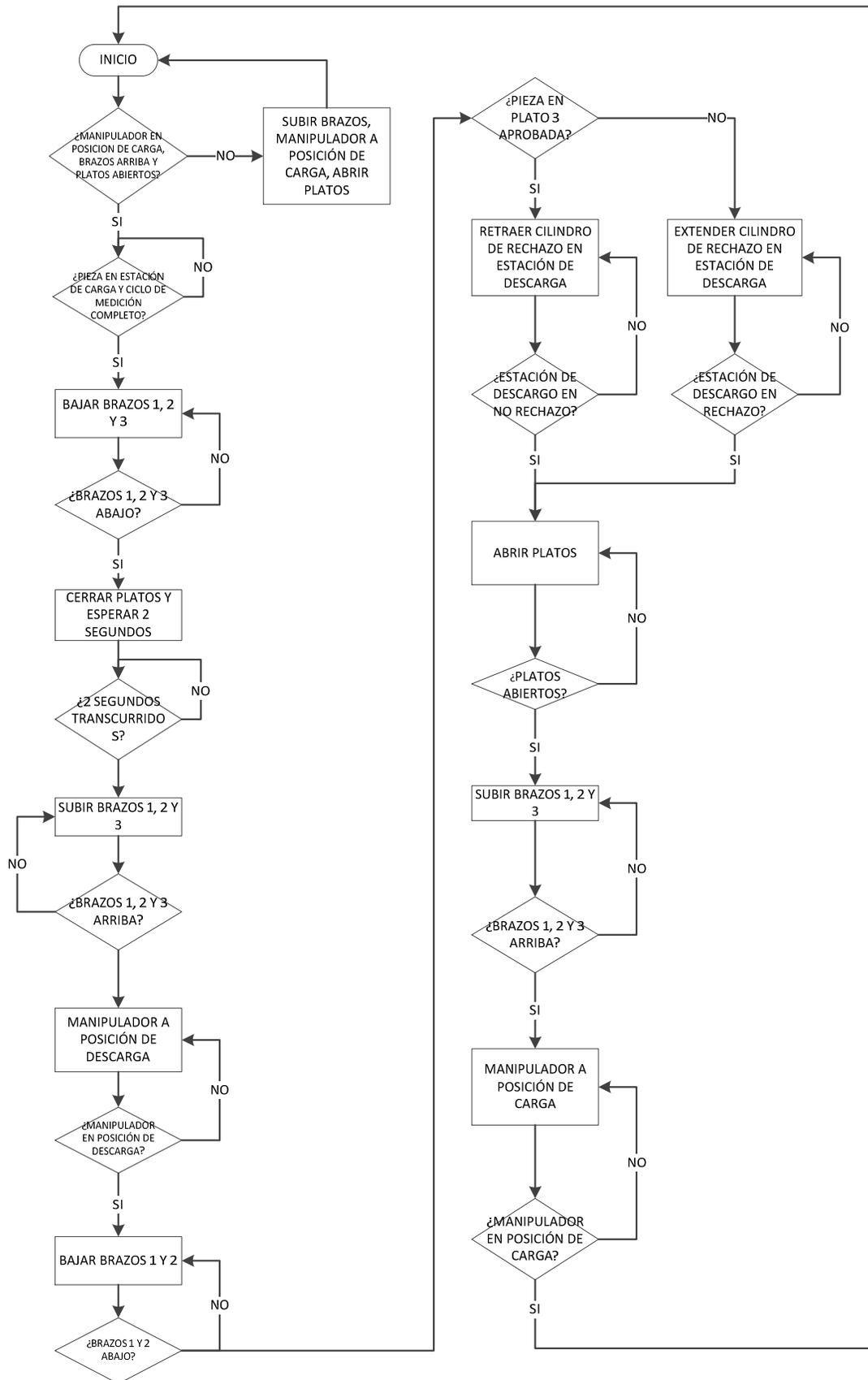


	Q1.4	Señal a calibre: comenzar medición
	Q1.5	Reserva
	Q1.6	Reserva
	Q1.7	Reserva

Es importante aclarar ciertas cosas que no pueden ser tan evidentes viendo el listado de entradas y salidas:

- Los actuadores solo poseen sensores en donde es necesario para el funcionamiento de manera segura, por ejemplo, no es de interés conocer si los platos están cerrados pero si es necesario saber si están abiertos para poder acceder a alguna estación. Esto sucede también en el caso de la tapa de la estación de medición y en la posición del cilindro de la estación de rechazo
- El manipulador 1 y 2 se ascienden y descienden en conjunto ya que están conectados la misma válvula. El manipulador 3 es independiente ya que en la estación de rechazo este no tiene que descender mientras que el 1 y 2 sí lo deben hacer para poder colocar la siguiente pieza a lavar y medir respectivamente
- Existen salidas que sólo ejecutan una de las dos funciones de un actuador doble efecto, como es el caso de abrir y cerrar gripper, solo existe la función abrir; abrir y cerrar tapa de estación de lavado; subir y bajar manipuladores. Esto se debe a que las válvulas que ejecutan ambas funciones son monoestables, es decir, que al ser energizadas ejecutan la función que indica la salida en cuestión y al liberarlas vuelven a su posición de reposo llevando a cabo la operación opuesta. Se intenta SIEMPRE que la condición NO EJECUCIÓN (reposo de la válvula) el actuador neumático ejecute su función de estado seguro (cerrar platos para que no se suelte la pieza en caso de existir, subir manipuladores, abrir tapa de estación de lavado, etc.).

A continuación se muestra el diagrama de flujo del ciclo ejecutado por el PLC en lo que a manipulación de piezas se refiere.





3.6 Diseño electrónico del sistema de medición

El sistema electrónico de medición se compone de:

- Un sistema de procesamiento central
- Placas de interface con los LVDT y los sensores de presión
- Placas de entradas y salidas para interface entre el sistema eléctrico de control

A continuación se trata cada uno de estos puntos en detalle

3.6.1 Sistema de procesamiento central

Es el encargado de comunicarse con las placas de interface y de entradas y salidas, efectuar la medición, procesar los datos obtenidos y enviarlos a la máquina que mecaniza la pieza para realizar las correcciones pertinentes.

Para este sistema se eligió utilizar alguna computadora de placa única (SBC - Single Board Computer, por sus siglas en ingles), en este caso la famosa Raspberry PI Modelo B. La elección se basó por su bajo costo en comparación con una PC estándar y por las disponibilidad de periféricos que no existen en las placas madres comerciales como ser el puerto SPI (Serial Peripheral Interface por sus siglas en ingles).

Las principales características de esta computadora son:

- Chip de sistema: Broadcom BCM2835 el cual tiene integrado
 - CPU a 700MHz
 - GPU con salida HDMI
 - DSP
 - SDRAM de 512MB
 - Periféricos: USRT, SPI, I2C, GPIO
- Slot para tarjeta SD
- Alimentación con 5Vdc

La interface utilizada para comunicarse con las placas electrónicas de LVDT, pneumoelectrónica, entradas y salidas es SPI. Es una interface de comunicación serial sincrónica y requiere cuatro o tres cables para su funcionamiento según la aplicación. Dichas conexiones son el CLK (reloj), MOSI (Master Out-Slave In, Salida de Maestro-Entrada de



Esclavo), MISO (Master In-Slave Out, Entrada de Maestro-Salida de Esclavo) y el SS (Slave Select, Selección de Esclavo), este último pudiéndose omitir. Se adoptó su uso debido a la sencillez de la misma, alta confiabilidad y velocidad de comunicación (ya que transmisión y recepción ocurren simultáneamente) y los esclavos no precisan de número de nodo sino que queda determinado por su posición en el bus.

Su funcionamiento en la forma más básica se muestra en la figura 3.18. Consiste de un registro de desplazamiento en el maestro (el que maneja la línea CLK) y otro en el esclavo. A cada pulso del reloj, los datos son desplazados en una posición desde un registro hacia otro, saliendo desde el MOSI e ingresando por el MISO, por lo que deben existir una cantidad de pulsos igual al ancho del registro, por ejemplo, si es de 8 bits, deben ejecutarse 8 flancos positivos de reloj.

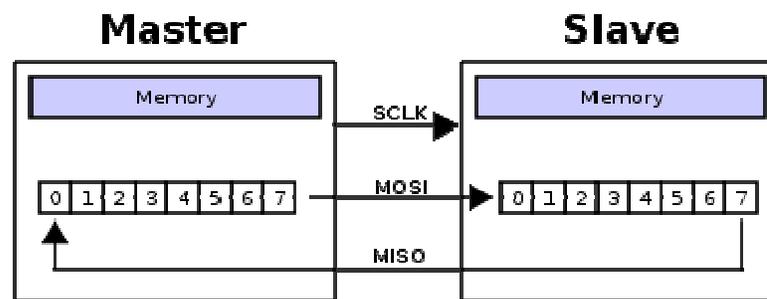


Figura 3.18 - Comunicación entre maestro y esclavo en bus SPI. Se muestra un registro de desplazamiento de 8 bits

Esta interface fue diseñada, originalmente, para establecer una conexión punto a punto, es decir uno a uno y no uno a varios ya que no presenta direccionamiento de esclavos como otras, por ejemplo, I2C. Sin embargo existen dos formas de realizar la comunicación con varios esclavos, resumidas en la figura 3.19:

- Utilizando una línea Slave Select para cada esclavo en el bus. La comunicación maestro con el esclavo seleccionado se establece al colocar un 0 lógico en dicha línea. Solo un esclavo puede comunicarse a la vez. Su desventaja es, precisamente, que la cantidad de líneas depende de la cantidad de esclavos presente en el bus pero el mal funcionamiento de un esclavo no afecta al resto.
- Conectando los esclavos en DAISY CHAIN, es decir, la salida de un esclavo se conecta a la entrada de otro esclavo y así sucesivamente hasta que finalmente la salida del último esclavo se conecta a la entrada del maestro. Entonces, el maestro del bus "ve" un registro de desplazamiento tan largo como la suma de la longitud de cada uno de los registros de



desplazamiento de cada esclavo. Su ventaja es que se pueden enviar y recibir datos de todos los esclavos al mismo tiempo pero su desventaja radica en que la falla de un solo esclavo pone en falla a la totalidad del sistema.

Formas de conexionado de interface SPI

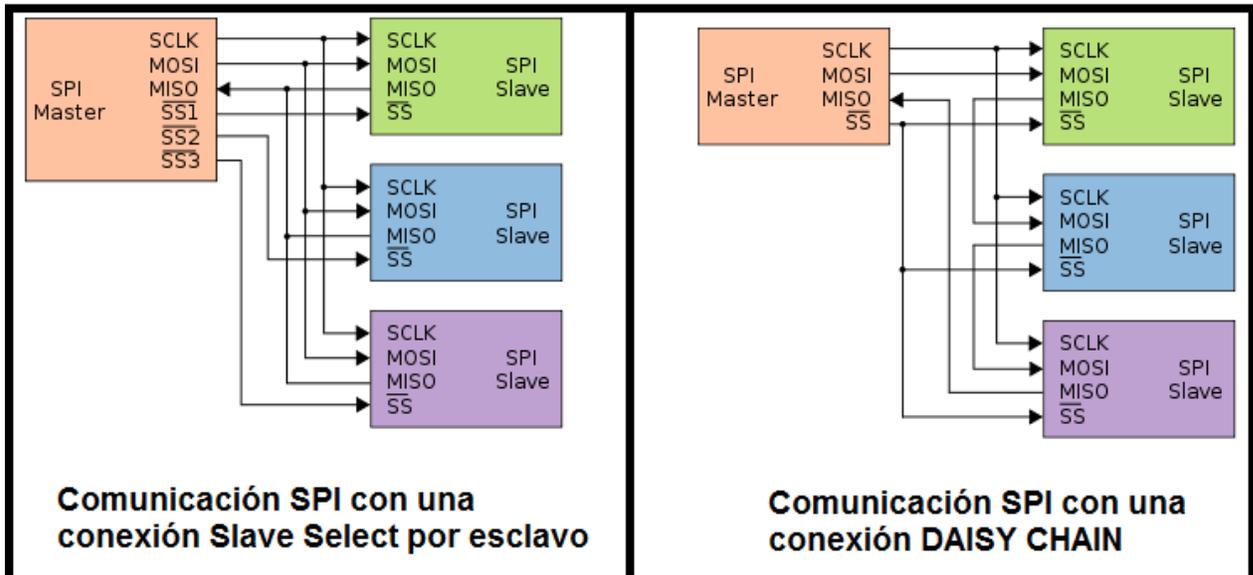


Figura 3.19 - Formas de conexión entre maestro y esclavos en un bus SPI

Es importante aclarar que cada interface esclavo debe contar con un microcontrolador capaz de conectarse al bus SPI.

El software que ejecuta la computadora se encarga de la comunicación cíclica con cada esclavo de acuerdo a un archivo de configuración que establece que tipo de esclavo está presente en el bus (placa LVDT, placa de pneumoelectrónica, placa de entradas o placa de salidas), la cantidad de cada una y la longitud de datos a transmitir. Si dicha longitud supera el tamaño del registro de desplazamiento, requerirá varios ciclos de transmisión/recepción para obtener el dato completo: todas las placas tienen registros de 8 bits pero las placas de sensores (LVDT y pneumoelectrónica) envían datos de tipo REAL, es decir de 32 bits de longitud, por lo que se necesitan de 4 ciclos de comunicación con dichos esclavos para obtener el valor de la medición.



3.6.2 Esclavos del bus SPI

Todos los esclavos comparten parte del circuito electrónico correspondiente al microcontrolador encargado de comunicarse con el maestro (Raspberry PI) y realizar las tareas propias de cada una de las placas.

El microcontrolador utilizado es un Microchip PIC modelo PIC18F14K50 cuyas características utilizadas son:

- Oscilador interno de hasta 48MHz, lo que hace posible reducir cantidad de partes
- In Circuit Serial Programming (ICSP), programación con 5 cables
- Conversor A/D de 10 bits de 9 canales
- SPI
- Optimizado para programación en lenguaje C

La figura 3.20 muestra el pinout de dicho circuito integrado.

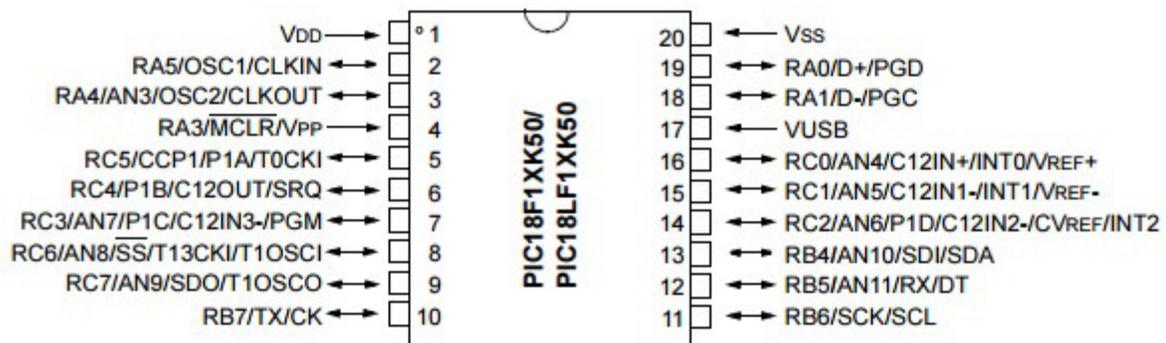


Figura 3.20 - Pinout de integrado PIC18F14K50

El circuito electrónico común a todos los esclavos se muestra en la figura 3.21 y consiste de un conector DB15 macho que establece conexión entre una placa *backplane* y la placa esclavo, un par de capacitores de desacople para suministrar la corriente necesaria al microcontrolador, un conector de 5 pines para poder programar el PIC directamente sobre la placa, la resistencia conectada en *push-up* para quitar al procesador del estado RESET y, finalmente, un jumper que, según la posición donde se lo coloque, conecta el la salida del esclavo a la entrada del próximo o de retorno al MISO en caso de ser el último esclavo.

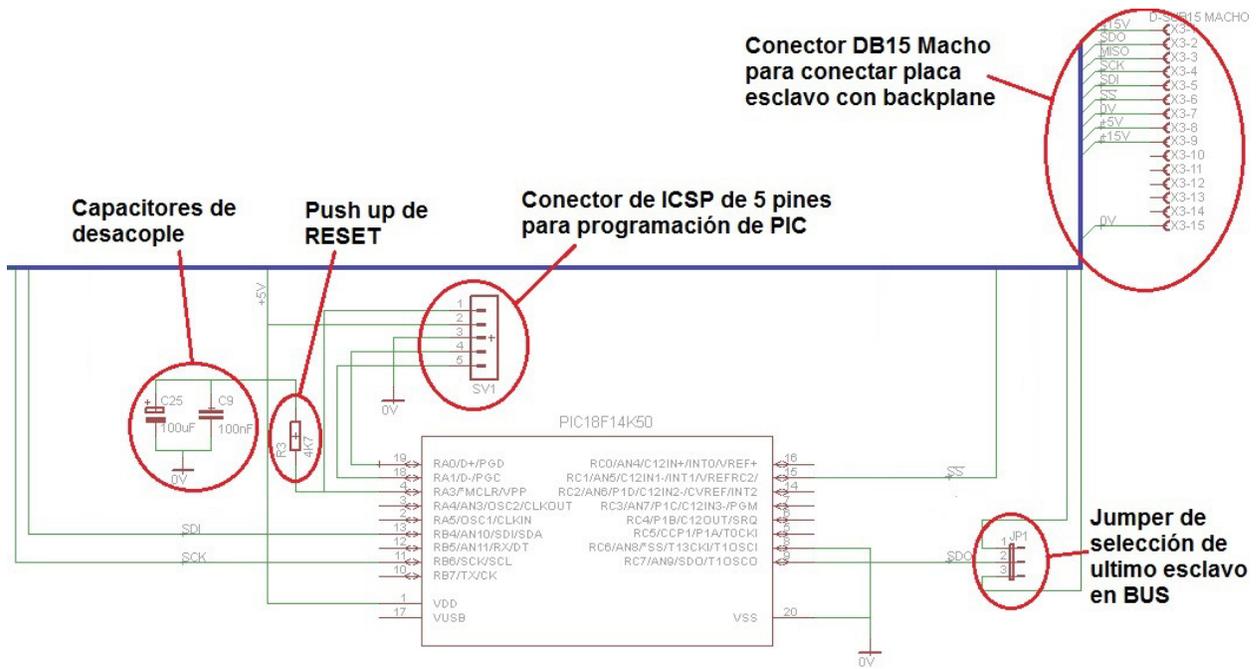


Figura 3.21 - Circuito común a todas las placas esclavo

La tabla presentada a continuación muestra las conexiones del DB15 que se respetan en todos los esclavos:

PIN	DESCRIPCION
1	-15V: Tensión utilizada en acondicionadores de señal
2	SDO: Salida de datos del esclavo, se conecta al próximo en el bus SPI
3	MISO: Se conecta al SDO del último esclavo del bus SPI
4	SCK o CKL: Reloj del bus SPI
5	SDI: Entrada de datos del esclavo en el bus SPI
6	SS: Slave Select, utilizado para que cada esclavo transfiera su registro de entrada a su registro de salida del periférico SPI
7	0V
8	+5V: tensión de alimentación de los circuitos integrados
9	+15V: Tensión utilizada en acondicionadores de señal
10	Reserva
11	Reserva
12	Reserva
13	Reserva
14	Reserva
15	0V



Se seleccionan los valores de los componentes de acuerdo a la hoja de datos del integrado y según los datos del transductor como se indica a continuación:

Según tabla para obtener $5V_{RMS}$ de tensión de excitación suponiendo un $VTR = 1,45$ (Relación de transformación de tensión) ya que

$$3,5 V_{RMS}(1,45) = 5.075 V_{RMS}$$

se selecciona

$$R1 = 5,6 \text{ k}\Omega$$

Selección de C1 según frecuencia de excitación requerida

$$C2 = 35\mu\text{F} \frac{\text{Hz}}{f_{\text{EXC}}} = 35\mu\text{F} \frac{\text{Hz}}{7500\text{Hz}} = 0,0047 \text{ uF Poliéster}$$

Debido a que las mediciones a realizar son estáticas, el sensor no tiene movimiento al medir, se elige una frecuencia del sistema relativamente baja

$$f_{\text{SYS}} = 100 \text{ Hz}$$

Se selecciona C2, C3 y C4

$$C2 = C3 = C4 = 1 \times 10^{-4} \text{ F} \frac{\text{Hz}}{f_{\text{SYS}}} = 1 \times 10^{-4} \text{ F} \frac{\text{Hz}}{100 \text{ Hz}} = 1 \text{ uF Poliéster}$$

Se selecciona R2 que ajusta la ganancia del circuito. Se requiere una salida de 5Vpp

$$R2 = \frac{V_{\text{OUT}}(V_A + V_B)}{S(V_{\text{PRI}})(500 \mu\text{A})(d)}$$

$$R2 = \frac{5\text{V}(2,7\text{V})}{0,0295 \frac{\text{V}}{\text{V}(\text{mm})} (3,5\text{V}) (0,0005 \text{ A}) (10 \text{ mm})} = 26,1 \text{ k}\Omega$$

se escoge entonces R2 regulable entre 0 y 50kOHM con la ayuda de un preset multivuelta para ajuste de ganancia y así lograr que al desplazar el transductor hacia el máximo positivo y máximo negativo las tensiones oscilen entre 2,5V a -2,5V respectivamente.



Para poder conectar la salida del integrado al convertor analógico digital del microcontrolador, se desea que el nivel de tensión de salida del AD598 este comprendido entre 0V y 5V para desplazamientos a fin de escala. Por ende se calcula R4 y R3 que sirven para otorgar un offset negativo y positivo respectivamente. Entonces:

$$R4 = \infty$$

ya que no se desea offset negativo

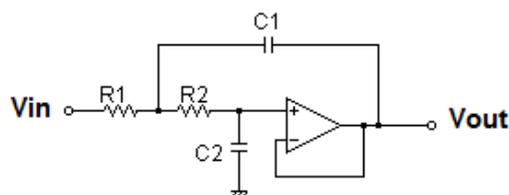
$$R3 = \frac{1,2R2}{V_{OS}} - 5k\Omega$$

donde V_{OS} es el valor de tensión deseado cuando el transductor esta en la posición *cero*, entonces

$$R3 = \frac{1,2 (26,5k\Omega)}{2,5V} - 5k\Omega = 7,5k\Omega$$

se escoge R3 regulable entre 0 y 10kOHM para ajuste de offset con la ayuda de un preset multivuelta.

Según la hoja de datos del AD598, la salida analógica debe filtrarse. Para ello se utiliza un filtro activo pasa bajos tipo Sallen Key con ganancia unitaria. El circuito de dicho filtro y sus funciones de transferencia se muestra en la figura 3.23.



Frecuencia de corte $f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R1C1R2C2}}$

Funcion de transferencia $\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{(2\pi f_c)^2}{s^2 + 2\zeta(2\pi f_c)s + (2\pi f_c)^2}$

Factor de calidad $Q = \frac{1}{2\zeta}$

Figura 3.23 - Filtro activo pasa bajos Sallen Key y su función de transferencia

Fijando una frecuencia de corte de 1000Hz, un valor de $C1=10nF$, $C2=4,7nF$ y $Q=0.707$, se prueban distintos valores de R1 para lograr valores de R2 adecuados según lo que se dispone comercialmente. Los resultados obtenidos son $R1=27k\Omega$ y $R2=18k\Omega$. El amplificador operacional utilizado es un MCP6002 de la empresa Microchip el cual posee entradas y salidas Rail-to-Rail, muy importante para el funcionamiento correcto del circuito.



Finalmente se utiliza el segundo amplificador operacional existente en el MCP6002 como buffer de entrada del convertor analógico digital del microcontrolador. Dicha configuración se muestra en la figura 3.24.

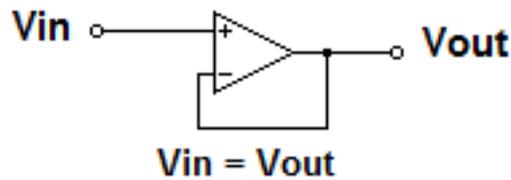


Figura 3.24 - Amplificador operacional en configuración de buffer

El circuito completo se muestra en la figura 3.25

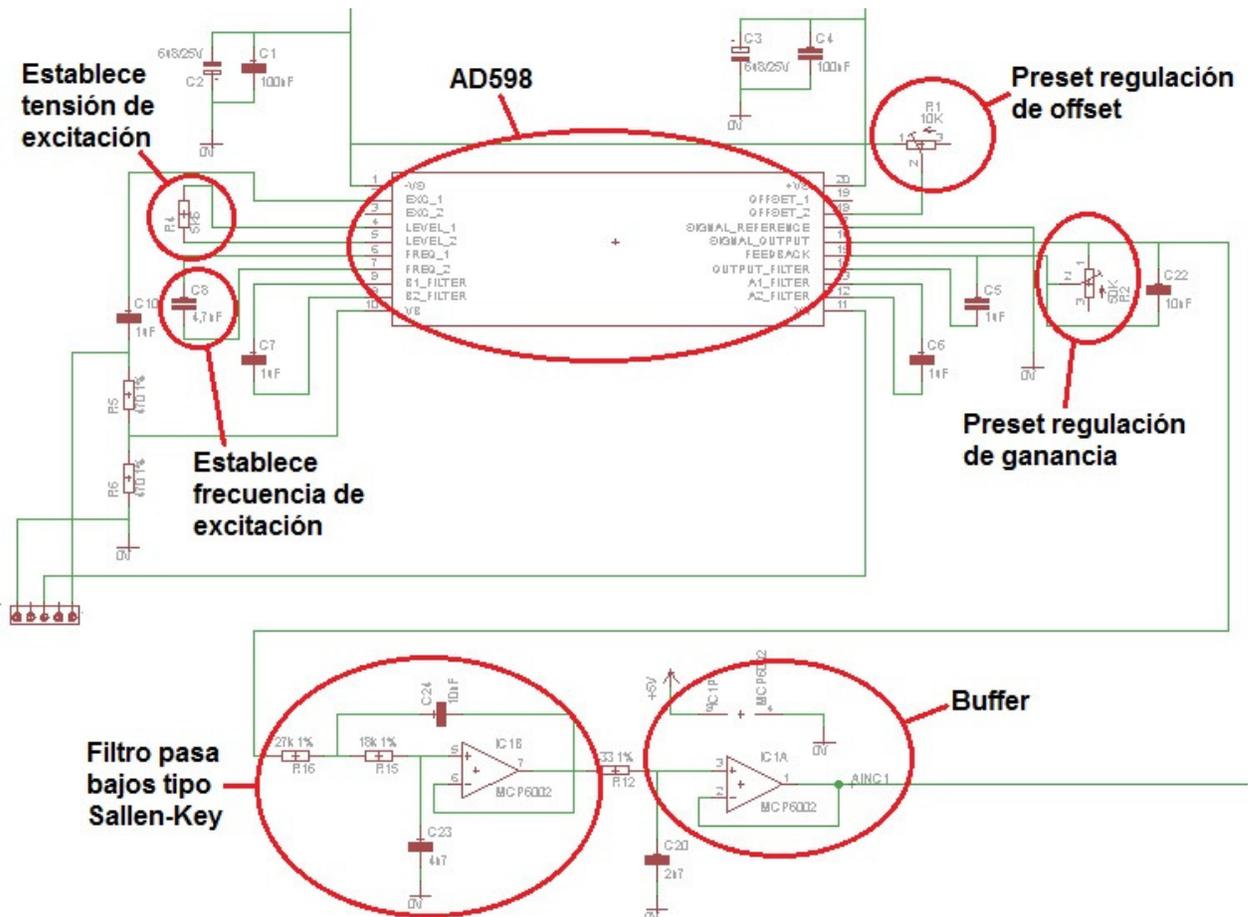


Figura 3.25 - Circuito de acondicionador de señal de LVDT y HBT



3.6.2.1.2 Placas de interface para medición pneumoelectrónica

El funcionamiento del sensor y el circuito utilizado para medir presión ya fueron presentados en la sección 2.3.3 y 2.4.1 respectivamente.

El sensor utilizado es un MPX2050DP de la empresa Freescale Semiconductor para medir presión relativa ya que siempre se desea compara la presión de medición con respecto a la atmosférica. Una imagen del sensor, su pinout y la curva de presión-tensión, extraídos de la hoja de datos, se muestran en la figura 3.26.

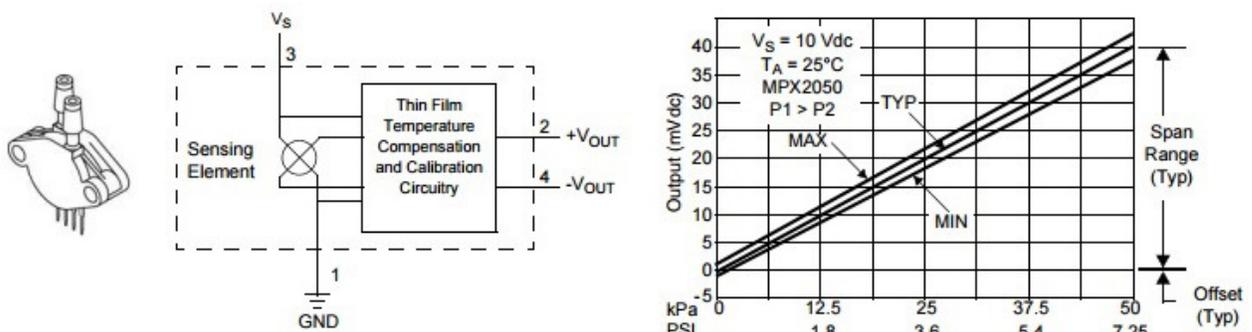


Figura 3.26 - Izquierda: imagen del sensor MPX2050DP y su pinout. Derecha: gráfico presión vs tensión de salida

La presión de trabajo máxima es de 0.5 bar (50kPa) lo que a una tensión de alimentación de 10Vdc y una sensibilidad de 0.8mV/kPa equivale a 40mV. Se desea amplificar dicho valor de tensión a un rango de 0-5Vdc para luego ser enviada al conversor analógico digital del microcontrolador, entonces se necesita una ganancia de

$$G = \frac{5 V}{0.04 V} = 125$$

Debido a que la salida del transductor es diferenciada, se utiliza un amplificador operacional de instrumentación numero AD620 de la empresa Analog Devices. El pinout de dicho integrado se muestra en la figura 3.27.

La ganancia de este amplificador se regula con una sola resistencia conectada entre los pines 1 y 8 del integrado y para calcular su valor se recurre a la siguiente fórmula

$$R_G = \frac{49.4k\Omega}{G - 1} = \frac{49.4k\Omega}{125 - 1} = 398\Omega$$

se adopta un preset multivuelta de 0 a 500Ω para el ajuste fino de la ganancia.

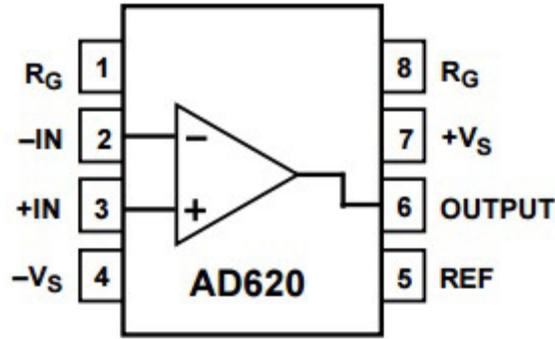


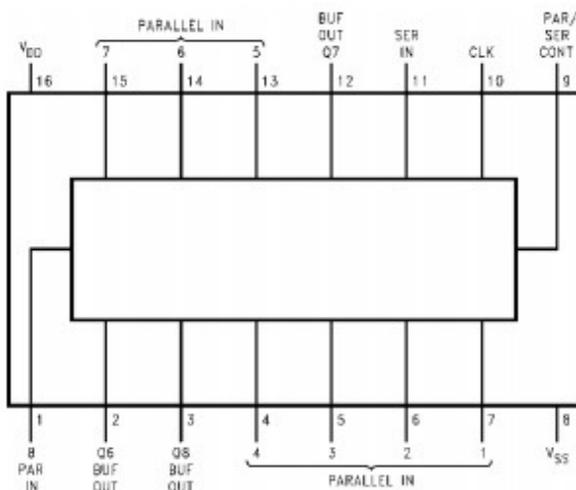
Figura 3.27 - Pinout de amplificador de instrumentación AD620

El pin de referencia (5) se conecta a 0V.

3.6.2.2 Placa de entradas y salidas

Estas placas electrónicas sirven para recibir instrucciones del sistema de control como *ser iniciar ciclo de medición, parar ciclo de medición, patronar, ignorar medición, etc.* y a su vez enviar, a través de las salidas, información como *listo para ciclo, en ciclo, fin de ciclo* y los valores obtenidos.

El circuito electrónico de entradas se basa en un registro de desplazamiento de 8 bits del tipo PISO (Parallel-In, Serial-Out), función realizada por el integrado CD4021. Su pinout y tabla de verdad se muestra en la figura 3.28.



C _L (Note 1)	Serial Input	Paralle/ Serial Control	PI 1	PI n	Q1 (Internal)	Q _n (Note 2)
X	X	1	0	0	0	0
X	X	1	0	1	0	1
X	X	1	1	0	1	0
X	X	1	1	1	1	1
↗	0	0	X	X	0	Q _{n-1}
↘	1	0	X	X	1	Q _{n-1}
↖	X	0	X	X	Q1	Q _n

X = Don't care case

Note 1: Level change

Note 2: No change

Figura 3.28 - Derecha: Pinout del integrado CD4021, Izquierda: Tabla de verdad del integrado



Como se observa en dicha tabla, cuando el 9 (control paralelo/serial) se lleva al 0 lógico, el valor de las entradas paralelas se copia a un *flip-flop* y por cada flanco ascendente del reloj (pin 10) se desplaza en un bit todo el registro y el último aparece en la salida Q8 (pin 3). Al ser de 8 bits es necesario 8 pulsos de reloj para obtener el valor de todas las entradas digitales.

Como características de un circuito de entrada, se requiere que cada entrada admita 24VDC y que estén aisladas de la electrónica de control. Para ello se recurre a un optoacoplador y a un divisor resistivo. La imagen 3.29 muestra el circuito electrónico diseñado para una entrada, el que luego es replicado 7 veces más para lograr un total de 8 entradas.

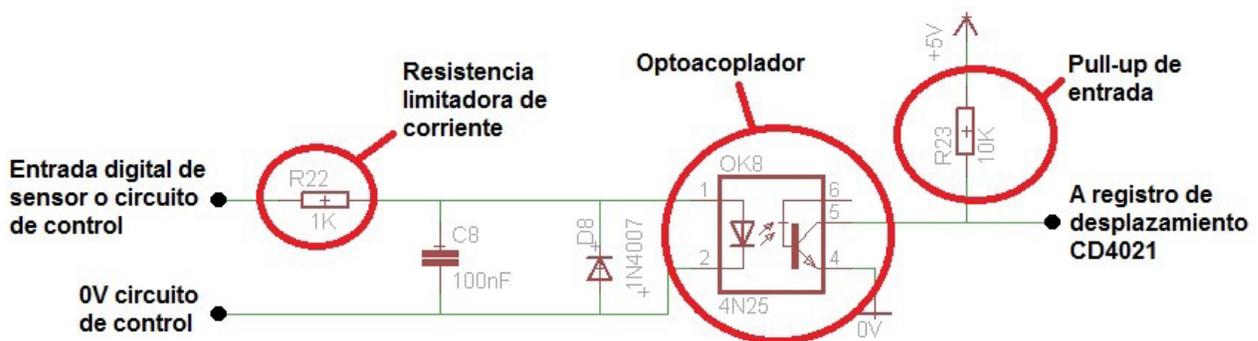


Figura 3.29 - Circuito de entrada digital. Existen ocho como este en una placa

Como se observa en la figura, la entrada presenta una resistencia que limita la corriente por el LED del optoacoplador

$$I = \frac{V}{R} = \frac{24V - 1,3V}{1k\Omega} = 23mA$$

El optoacoplador es de la empresa VISHAY modelo CNY17 y su salida es NPN por lo que se necesita una resistencia haciendo de *pull-up*, consecuentemente la cuando la entrada esta en 0 lógico, el microcontrolador recibe un 1 lógico y viceversa, por ende la entrada tiene estado INVERSO.

El circuito electrónico de salidas trabaja de forma contraria al de entradas. Su corazón es un registro de desplazamiento SIPO (Serial-In, Parallel-Out), función llevada a cabo por el integrado CD4094. Su pinout y tabla de verdad se muestra en la figura 3.30.

Como se observa en la figura, manteniendo la señal de *strobe* (pin 1) en 0 lógico, se envían 8 bits de datos (pin 2), 1 bit por cada flanco positivo en el reloj (pin 3). Una vez llenado el registro, el *strobe* se lleva a 1 lógico para que el valor de cada bit del registro de desplazamiento se refleje en la salida física del integrado.

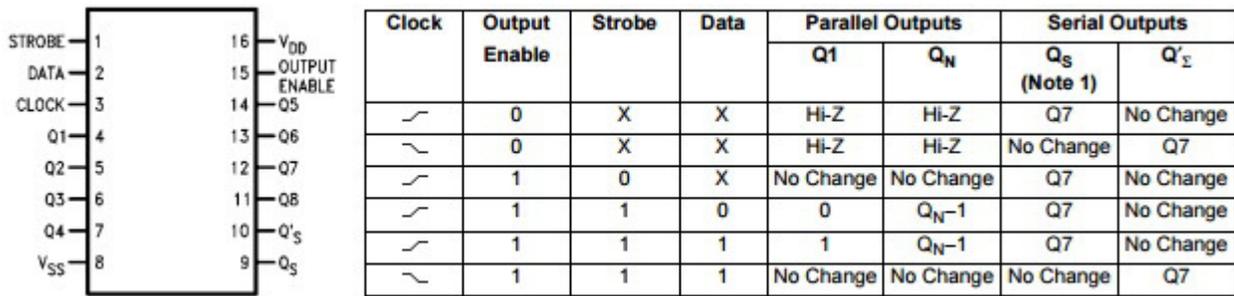


Figura 3.30 - Derecha: Pinout del integrado CD4094, Izquierda: Tabla de verdad del integrado

Como característica de un circuito electrónico de salidas se requiere que la salida física este aislada del circuito de control, que sea capaz de entregar 24VDC y que esté protegida de cortocircuitos. Para cumplir con estos requisitos se acude a un optoacoplador, a un MOSFET para la etapa de potencia y un PTC para protección por sobrecarga como se muestra en la figura 3.31. El circuito diseñado se replica hasta obtener un total de 8 salidas digitales.

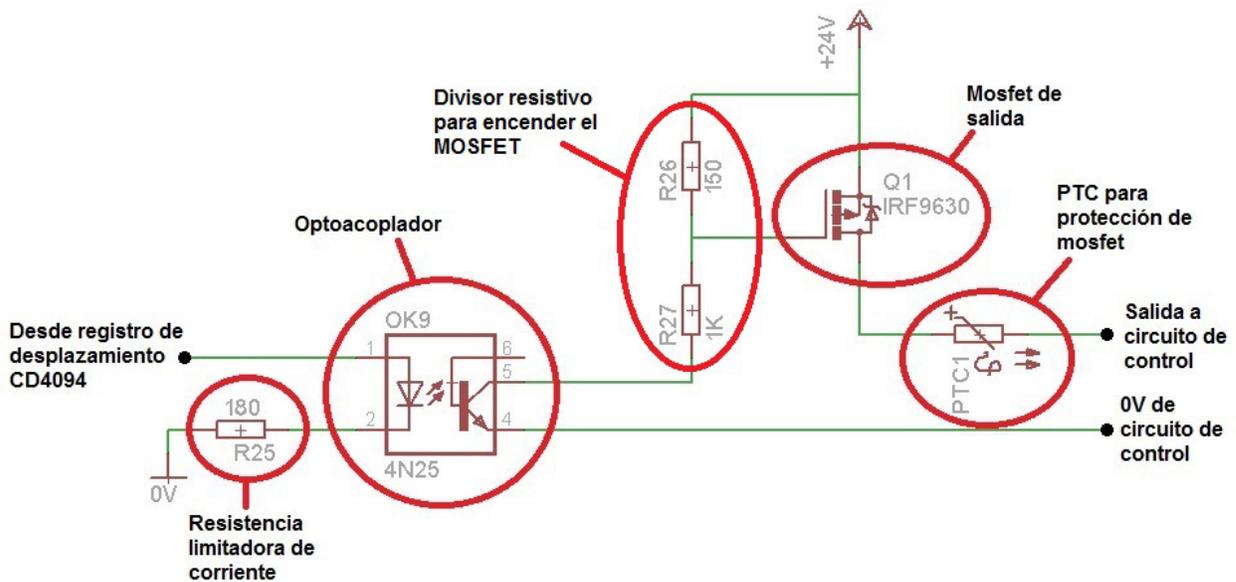


Figura 3.31 - Circuito de salida digital. Existen ocho como este en una placa

La resistencia limitadora de corriente se calcula para una salida de 5V del CD4094 y una caída de tensión de 1.3V en el LED del optoacoplador, entonces la corriente que circula es de:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{5V - 1,3V}{180\Omega} = 21mA$$

El transistor MOSFET pasa al estado ON con una diferencia entre la compuerta y la fuente (V_{GS}) de 3V, por lo que el divisor resistivo provee dicha diferencia:



$$V_{GS} = \frac{V - V_{CE}}{R_1 + R_2} R_1$$

$$V_{GS} = \frac{24V - 1,4V}{150\Omega + 1k\Omega} 150\Omega = 2,95V$$

El PTC seleccionado es un JK60-030 el cual soporta una tensión máxima de 60V, inferior a los 24V de trabajo y conduce hasta un valor de 30mA, por encima de esta corriente el PTC incrementa su resistencia a varios millones de ohm disminuyendo la corriente que circula por el MOSFET.

3.7 Modelo de software a utilizar

El código del software desarrollado debido a su longitud no ha sido incluido en el presente informe pero se explican los conceptos que se tuvieron en cuenta al programarse.

Previo a su codificación, se establecieron los requisitos principales con los que debe cumplir para su aplicación en la industria y como futuro producto:

- Debe poder ser programado por el usuario final
- Estructura de hardware flexible. El usuario debe poder colocar la cantidad de placas de LVDT, de pneumoelectrónica, de entradas o de salidas a su gusto (siempre que exista espacio físico) y en el orden que le parezca
- Posibilidad de realizar la interfaz gráfica a gusto

El software es ejecutado por la computadora Raspberry Pi bajo el sistema operativo Ubuntu y consta de dos hilos o threads ejecutados de manera simultánea:

- El primer hilo se encarga de ejecutar las funciones de comunicación con las placas esclavos de manera cíclica, colocando los valores obtenidos en un área de memoria compartida de solo lectura entre ambos hilos. Es una tarea de fondo y no accesible por el usuario
- El segundo hilo maneja la interfaz gráfica, configura y arranca/detiene/reinicia al primer hilo de acuerdo a las especificaciones del usuario.



La interfaz gráfica ofrece la posibilidad de configurar las placas que conforman el sistema. En la figura 3.32 se muestra una captura de pantalla del software en la etapa de configuración

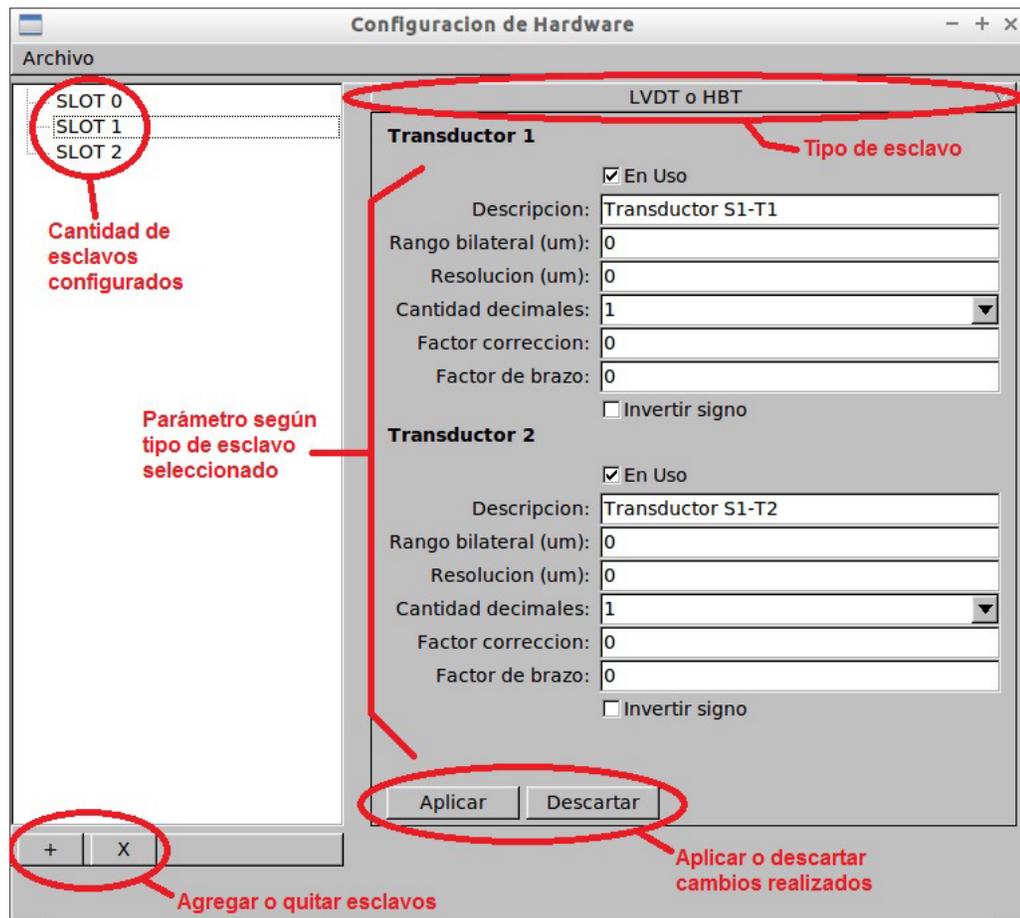


Figura 3.32 - Captura de pantalla de configuración de hardware

Todas las configuraciones a lo largo del programa se graban en un archivo XML, lo que da la posibilidad de realizar respaldos de manera rápida y sencilla, algo fundamental y muy valorado en la industria.

Cada vez que se configura una placa, el hilo de fondo incorpora a su ejecución cíclica el bloque de comunicación con dicho esclavo, para una mejor comprensión se explica en la figura 3.33. Como se observa, la placa electrónica no debe tener un número de nodo definido ya que se asigna automáticamente pero, sin embargo, cada una tiene un número de ID que define el tipo de cada placa el cual con cada inicio del software es verificado para saber si el hardware físico coincide con la configuración del software. En caso de no hacerlo, alerta al usuario.

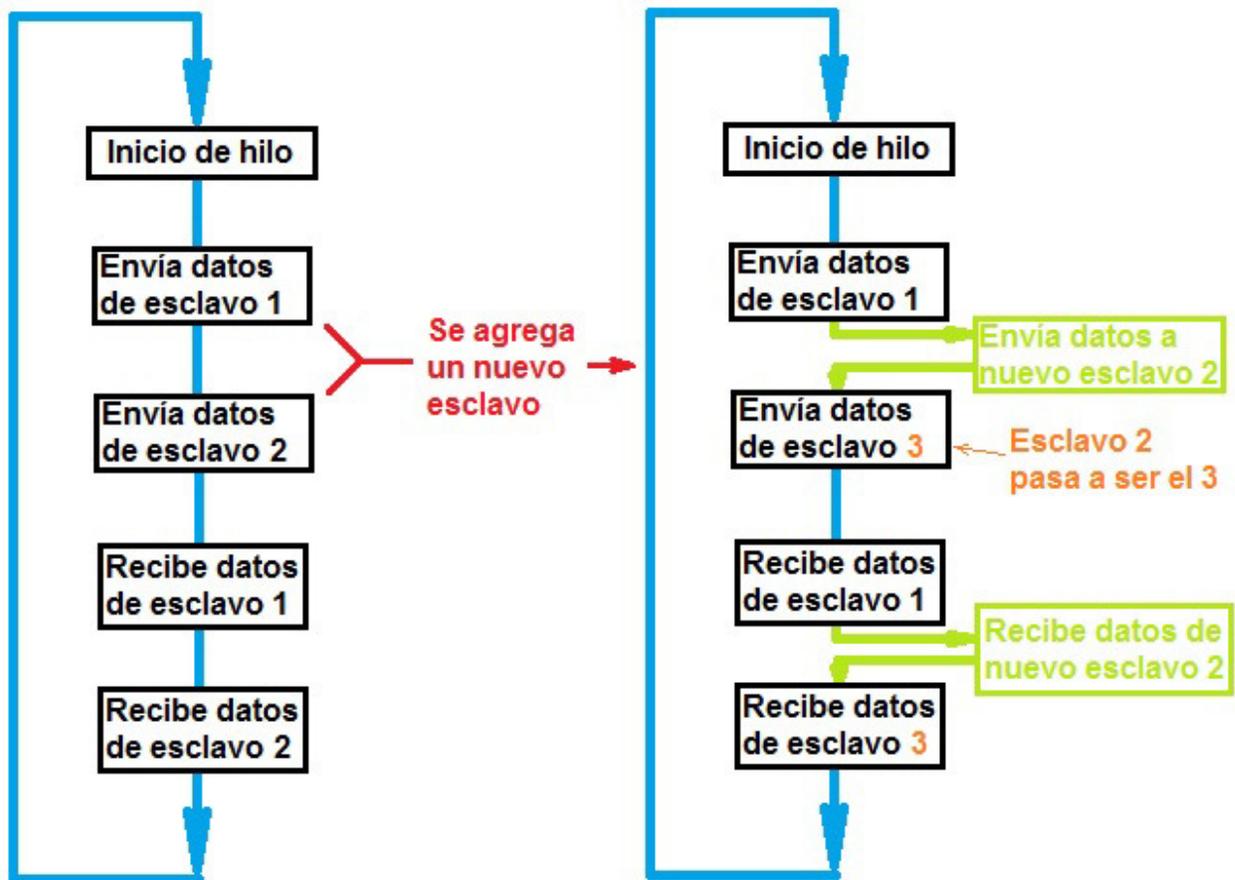


Figura 3.33 - Funcionamiento del hilo de fondo encargado de la comunicación cíclica del software con los esclavos

Una vez configurado el hardware, se procede a crear un nuevo programa de pieza. Dicho programa posee la configuración de las entradas que comienzan y detienen la medición y las salidas que confirman la ejecución exitosa, el error y la forma de transmitir los datos al sistema de control encargado de fabricar la pieza en cuestión.

El software posee dos modos de funcionamiento:

- Modo programación, para crear nuevos programas según necesidad
- Modo ejecución, para realizar la medición con los programas creados en el modo anterior



La imagen 3.34 muestra un programa de pieza en el modo programación realizado para medir la parte tratada a lo largo de este informe.

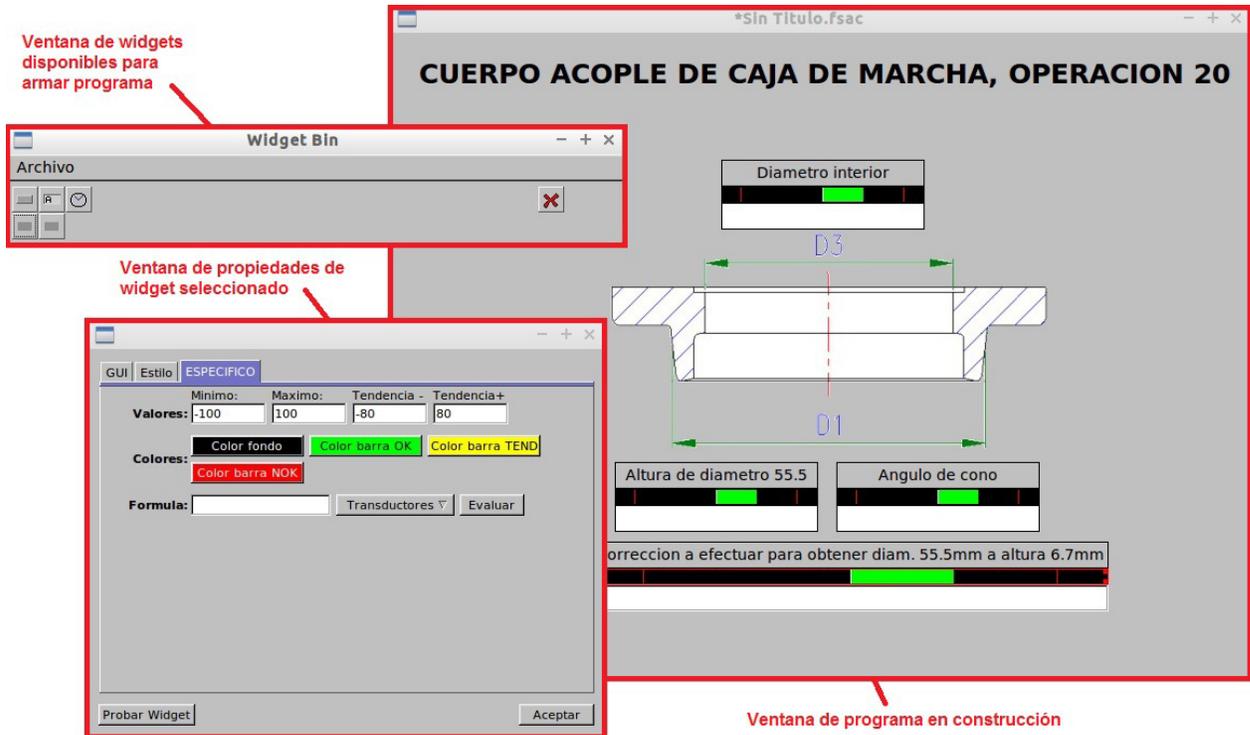


Figura 3.34 - Entorno de programación de nuevo programa de pieza

El software es capaz de ir grabando los datos de la medición y realizar los controles estadísticos pertinentes, como cálculo de C_p , C_{pk} , generación de gráficos de control permitiendo llevar un control del proceso y garantizar la calidad de la producción.

Capítulo 4:
**Estudio de costos del calibre sistema de
medición POST-PROCESS**



Capítulo 4: Estudio de costos del sistema de medición POST-PROCESS

El monto total de fabricación del sistema se divide en:

- Costo del equipo mecánico y neumático
- Costo del equipo eléctrico
- Costo del equipo electrónico

Es importante destacar que al costo de materiales hay que agregarle el costo de mano de obra de diseño y desarrollo como el de fabricación. En este estudio no se consideran ninguno de los dos ya que el costo de diseño y desarrollo se prorratea en la cantidad de unidades producidas y el de fabricación tiene que tenerse en cuenta al momento de fabricarse el producto, cosa que no está planteado en este informe.

El costo del equipo mecánico y eléctrico es fijo para el sistema desarrollado y un sistema comercial similar, pudiendo variar solamente por la calidad de los materiales empleados.

Por lo dicho anteriormente sólo se analiza el costo del equipo electrónico que, generalmente, equivale al 70% del valor total del sistema y, a posteriori, se lo compara con una solución ya existente en el mercado.

4.1 Costo del equipo electrónico

Elemento	Costo unitario (U\$S)	Cantidad	Costo total (U\$S)
Transductor LVDT de 10mm de carrera	400	2	800
Sensor de presión MPX2050DP	35	2	70
Integrado AD598	58	2	116
Integrado AD620	8	2	16
Raspberry Pi	75	1	75
Monitor	250	1	250
Placas PCB	13	4	52
Integrados varios (CNY17, CD4094, CD4021)	10	1	10
Microcontroladores PIC18F14K50	4	2	8
Componentes pasivos y conectores	30	1	30
		Total	1427



Si se consideran costos adicionales como envío, impuestos y demás gastos, el costo total del equipo electrónico ronda los 2000 dólares americanos.

Un equipo comercial muy utilizado en la industria nombrado como Merlín Plus, de procedencia italiana y fabricado por la empresa Marposs, con dos transductores LVDT y su acondicionador de señal tiene un costo de 4812 Euros equivalente a 5389 dólares americanos aproximadamente sin incluir los gastos de envío y nacionalización, como muestra la figura 4.1, extracto de una cotización formal enviada por la empresa italiana.

Pos. Item	Beschreibung Description / Descripción	Menge Qty / Cant.	Preis/Einh. Unit Value / P.unitt.	Wert Sub Total / Importe
1	Längenmeßtaster / Transductor <ul style="list-style-type: none"> Fabrikat / Marca: Marposs Typ / Tipo: Red Crown HP50 Artikel-Nummer / Código: 3441557002 Herkunft: Italien / Origen: Italia Gesamtgewicht / Peso total: 0,25 kg 	2 Stück	290,92 EUR	581,84 EUR
			Transductor LVDT	
2	Interface Box / Caja interface <ul style="list-style-type: none"> Fabrikat / Marca: Marposs Typ / Tipo: EasyBox U4H mit 4 Eingängen für Marposs Meßwertaufnehmer / con 4 Entradas para Transductores Marposs Artikel-Nummer / Código: 6871250000 Herkunft: Italien / Origen: Italia Gesamtgewicht / Peso total: 1,0 kg 	1 Stück	686,00 EUR	686,00 EUR
			Acondicionador de señal para LVDT	
3	Meßwert-Anzeigegerät / Unidad de Visualización <ul style="list-style-type: none"> Fabrikat / Marca: Marposs Typ / Tipo: Merlin Plus Display / Pantalla: 8,4" TFT LCD Betriebssystem / Sistema operativo: Windows XP (west-europa) Artikel-Nummer / Código: 830MPAAC00 Herkunft: Italien / Origen: Italia Gesamtgewicht / Peso total: 4,5 kg 	1 Stück	3.544,00 EUR	3.544,00 EUR
			Computadora para captura y procesamiento de datos	

Figura 4.1 - Extracto de cotización de equipo Marposs Merlín equivalente al tratado en este informe

Capítulo 5: Conclusiones



Capítulo 5: Conclusiones

El desarrollo de un sistema POST-PROCESS para el control y corrección automática aplicable a cualquier pieza en proceso de fabricación, pero en este informe inserto en componentes de revolución ha sido una tarea complicada ya que implica actividades multidisciplinarias como mecánica, electricidad, electrónica y software, cada una de sus partes sincronizadas para lograr el correcto funcionamiento del sistema como un todo.

Se ha demostrado que es posible fabricar un sistema completo a un costo menor que importarlo y garantizando las mismas funcionalidades que el sistema comercial.

Su implementación en líneas de producción presentan varias ventajas:

- un aumento de la productividad por reducción de tiempos muertos ya que la corrección de las máquinas son efectuadas de manera automática sin intervención de persona alguna
- proceso automático de recolección de datos para realizar los informes de cantidad de piezas en condiciones o rechazadas
- posibilidad de conocer el comportamiento de las herramientas y poder optimizar el proceso ya que se puede detectar la influencia de un cambio de variable en el mismo (cambio de tipo de inserto, líquido refrigerante, etc.)
- Reducción de costo de operación
- Costo del equipo prorrateado en la cantidad de piezas producidas por lo que tiene un bajo impacto en el costo por pieza en aquellas de producción masiva

Bibliografía



Bibliografía:

1. Engineering Fundamentals. "Teoría del LVDT". Recuperado de http://www.efunda.com/designstandards/sensors/lvdt/lvdt_theory.cfm
2. Measurement Specialties. "The LVDT: construction and principles of operation". 2013. Virginia: USA. Recuperado de http://www.meas-spec.com/downloads/Principles_of_the_LVDT.pdf
3. Gestión de operaciones. "Cálculo de Índice de Habilidad C_p e Índice de Capacidad C_{pk} en el Control Estadístico de Procesos". Recuperado de <http://www.gestiondeoperaciones.net/control-estadistico-de-procesos/calculo-de-indice-de-habilidad-cp-e-indice-de-capacidad-cpk-en-el-control-estadistico-de-procesos>
4. Analog Devices. "Circuit Note CN-0288: LVDT Signal Conditioning Circuit". 2014. Massachusetts: USA.
5. Charles Kitchin, & Lew Counts (3ra edición). "A Designer's guide to instrumentation amplifiers". USA.

ANEXOS



Anexo I: Planos eléctricos

En las próximas páginas se muestran el plano eléctrico completo para el control del sistema de medición.

Algunas reglas de identificación de cables y referencias cruzadas para su comprensión:

- Todos los componentes se identifican con un número seguido de una letra y finalizan con otro número. El primer número indica el número de página del plano en donde se encuentra el componente, la letra identifica que tipo de componente es (F: termomagnética o fusible, KA: contactor, etc.) y el último número se incrementa de acuerdo a la cantidad de componentes del mismo tipo en dicha página

Ejemplo:

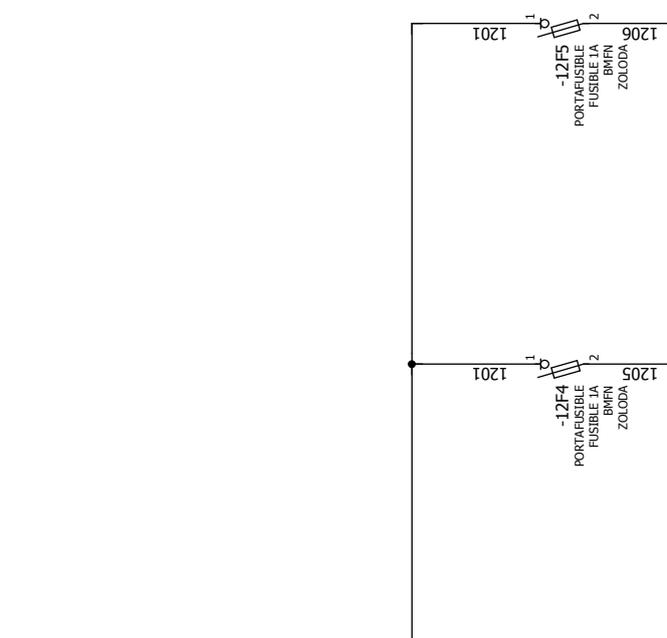
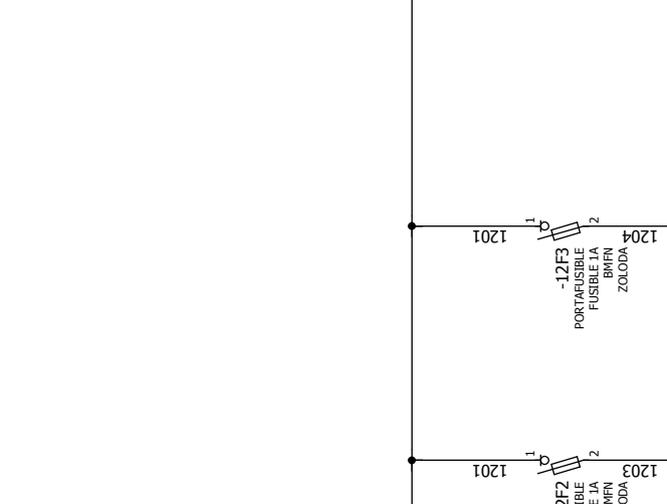
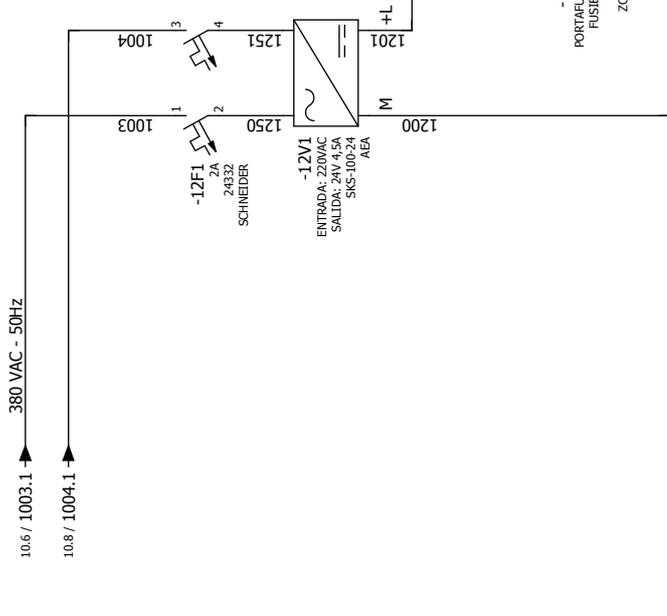
20S1

20: el elemento se encuentra en la página 20

S: es un límite de carrera

1: es el primer límite de carrera en dicha página

- Referencias cruzadas: existen elementos como es el caso de los contactores o el PLC donde sus elementos pueden estar distribuidos a lo largo de varias páginas. El ejemplo típico es la bobina de un relé y sus contactos secos. Todas las partes del mismo componente llevan el mismo nombre y a su vez se incluyen dos números que indican el número de página y columna dentro de dicha página en donde se encuentra la otra parte del componente



0V PARA ENTRADAS, SALIDAS Y MODULOS

Modificación	Fecha	Nombre	Aprobó	Escribió	Fecha
				FRANCO	06/09/2015

ALIMENTACION DE PLC

Reemplaza a	CALIBRE POST-PROCESS	Reemplazado por

ALIMENTACION MODULOS DE ENTRADA, SISTEMAS DE SEGURIDAD Y SENSORES

UNC	FCEFYV

ALIMENTACION MODULOS DE SALIDA SIN CORTE POR EMERGENCIA

TENSION DE CONTROL

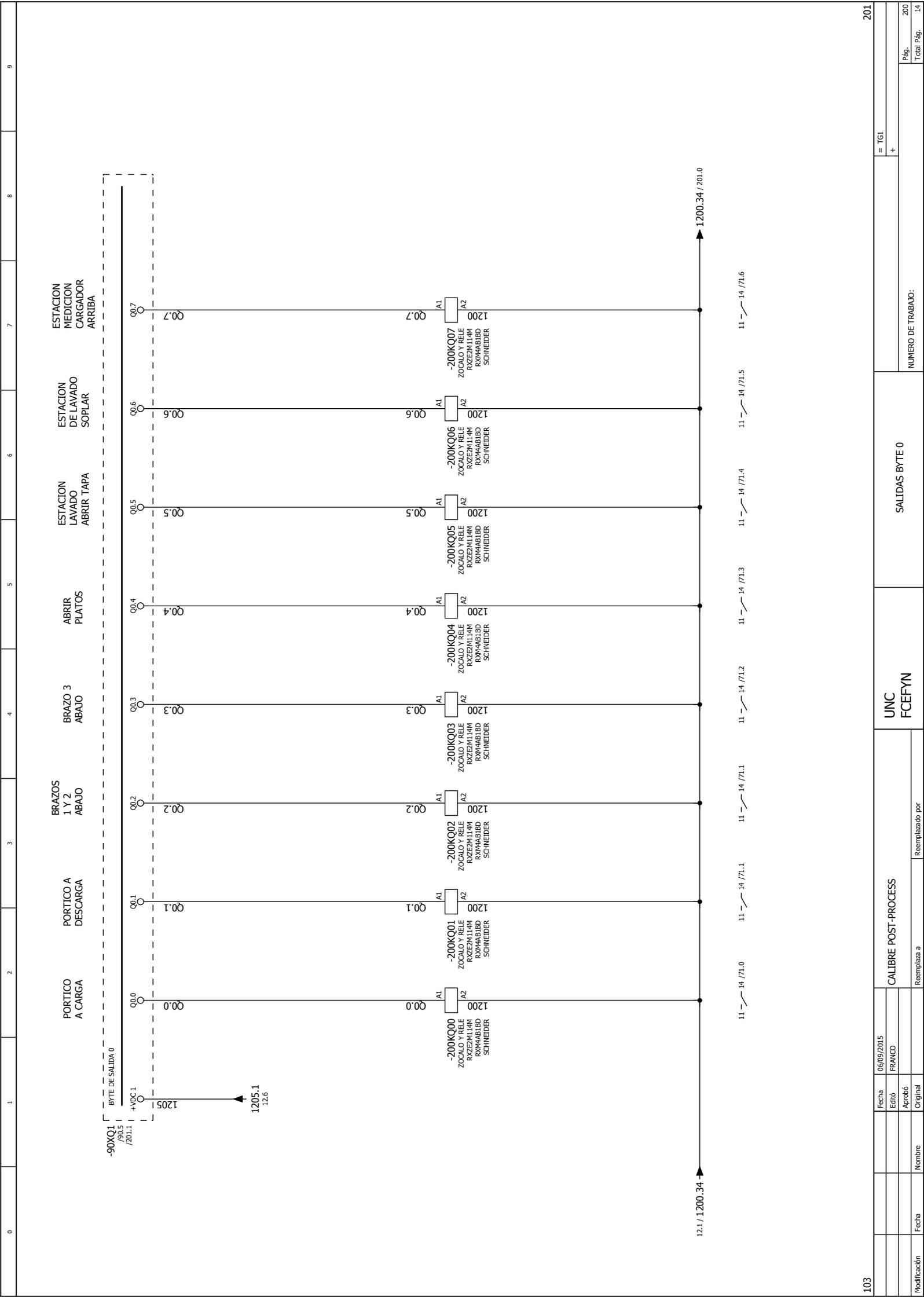
ALIMENTACION MODULOS DE SALIDA CON CORTE POR EMERGENCIA

NUMERO DE TRABAJO:

20

Modificación	Fecha	Nombre	Aprobó	Escribió	Fecha
				FRANCO	06/09/2015

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		12.4 / 1204.1							
		12.0 / 1200.1							
<p style="text-align: center;">13 — 14 / 12.7 23 — 24 / 100.2</p>									
<p>MAQUINA EN SERVICIO</p>									
<p>NUMERO DE TRABAJO: _____</p>									
<p>PARADA DE EMERGENCIA</p>									
<p>UNC FCEFYN</p>									
<p>CALIBRE POST-PROCESS</p>									
<p>Reemplaza a _____</p>									
<p>Reemplazado por _____</p>									
<p>Fecha Erito 06/09/2015</p>									
<p>Aprobó Original FRANCO</p>									
<p>Nombre Original</p>									
<p>Fecha Original</p>									
<p>Modificación</p>									
<p>12</p>									
<p>70</p>									
<p>= TGI +</p>									
<p>Pág. 20</p>									
<p>Total Pág. 14</p>									



Fecha: 06/09/2015
 Escrito: FRANCO

Nombre: Reemplazado por

Calibre POST-PROCESS

Reemplaza a

UNC
 FCEFYN

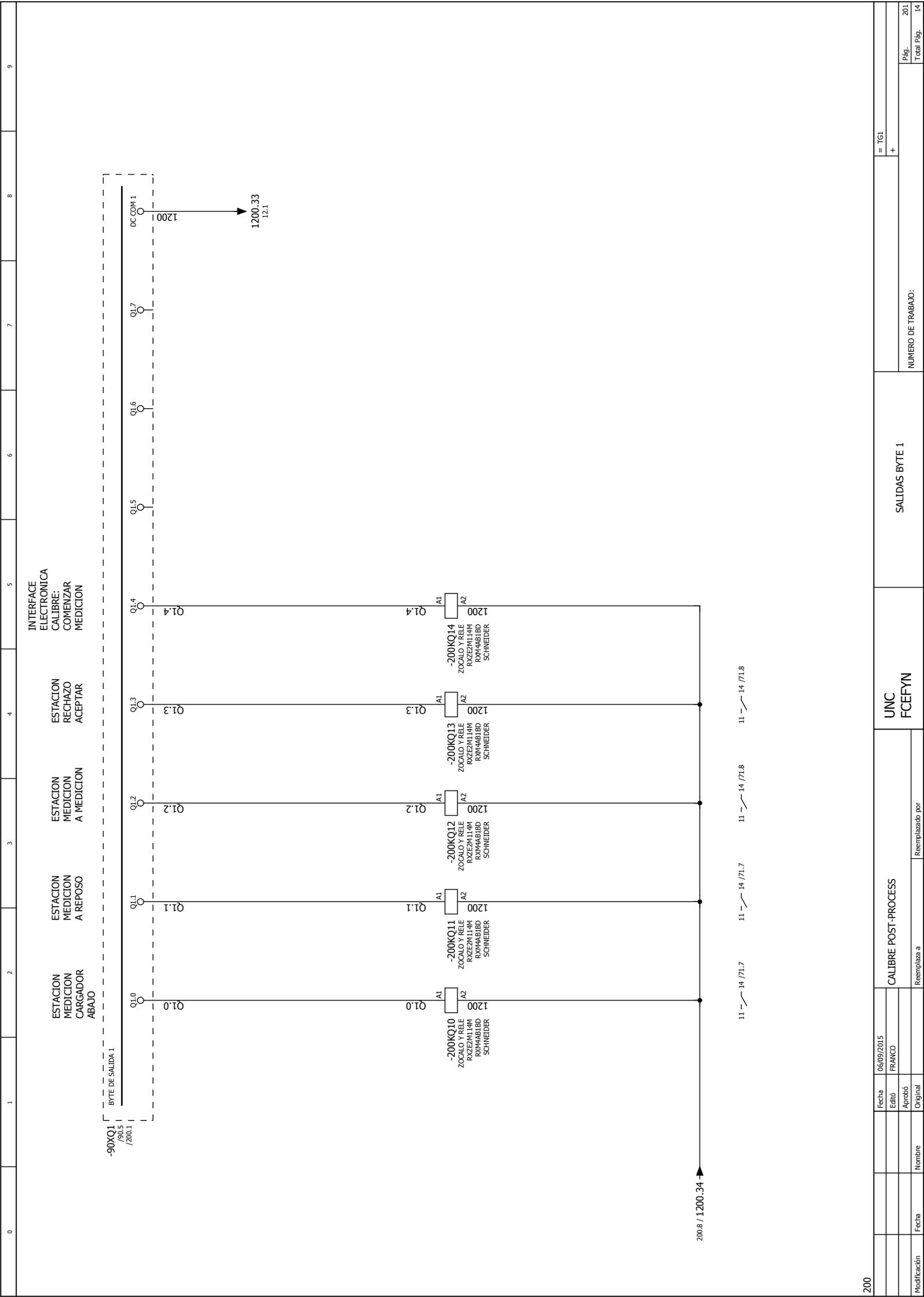
Reemplazado por

SALIDAS BYTE 0

NUMERO DE TRABAJO:

= TGI

+



Fecha	06/09/2015	CALIBRE POST-PROCESS		UNC	SALIDAS BYTE 1		= TGI
Escrito	FRANCO			FCEFYN			+
Aprobó		Reemplazado por		NUMERO DE TRABAJO:			
Original							
Nombre							
Modificación							
Total Pág. 201							
Total Pág. 14							

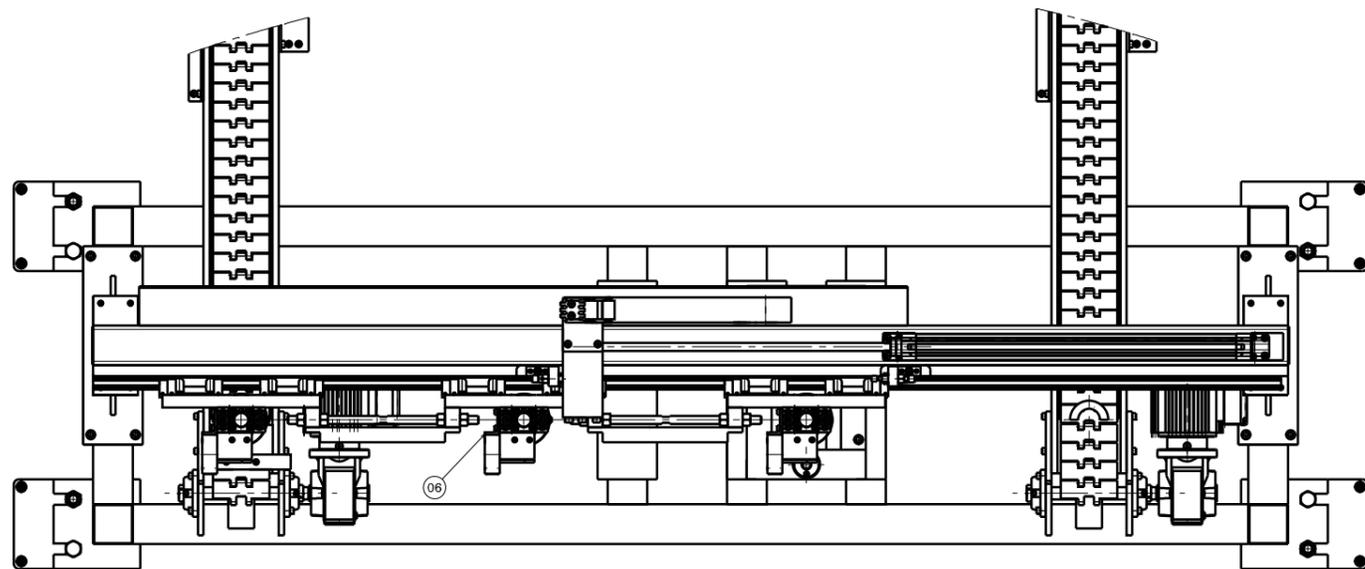
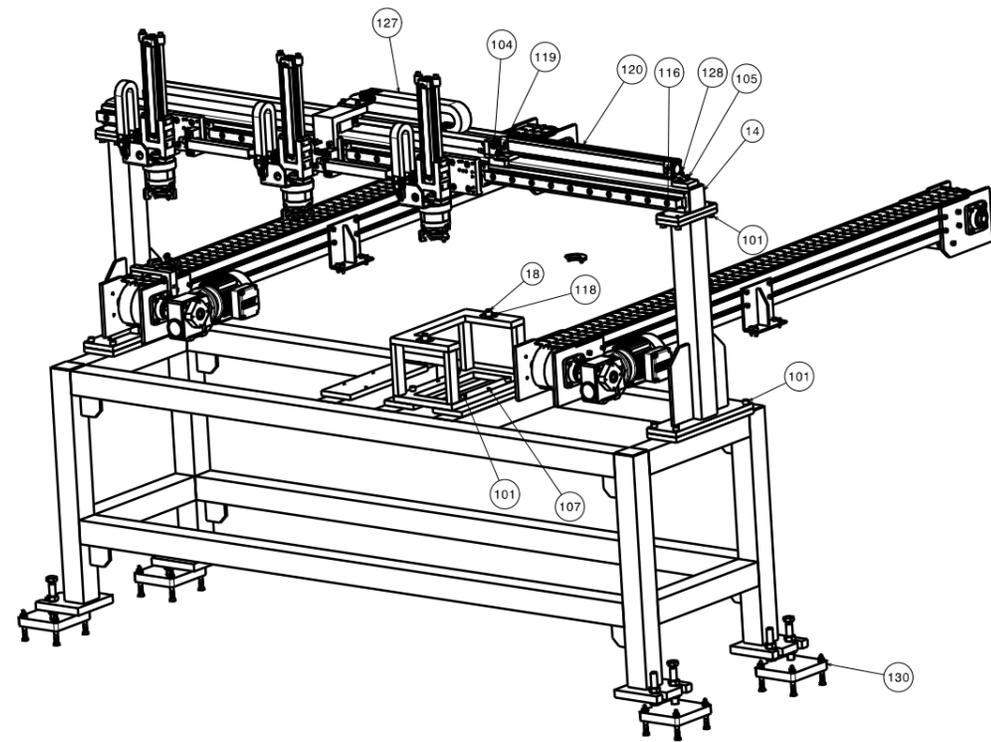
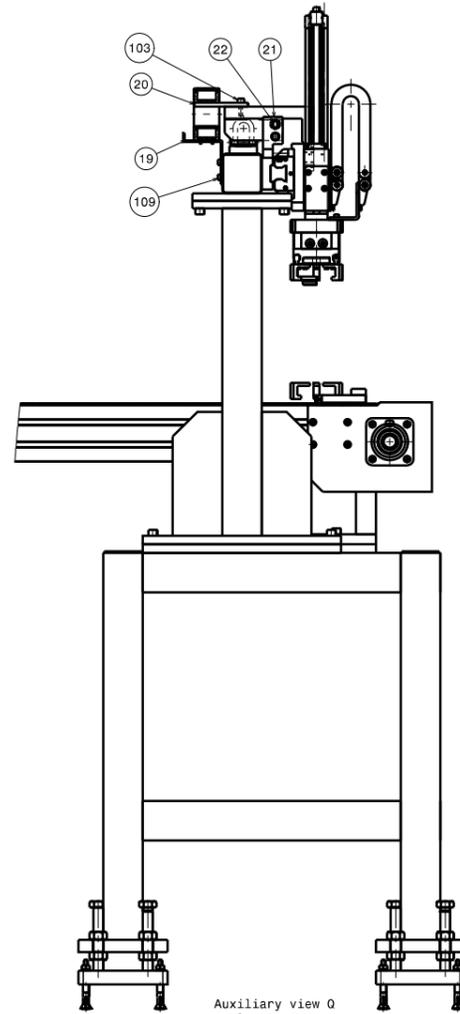
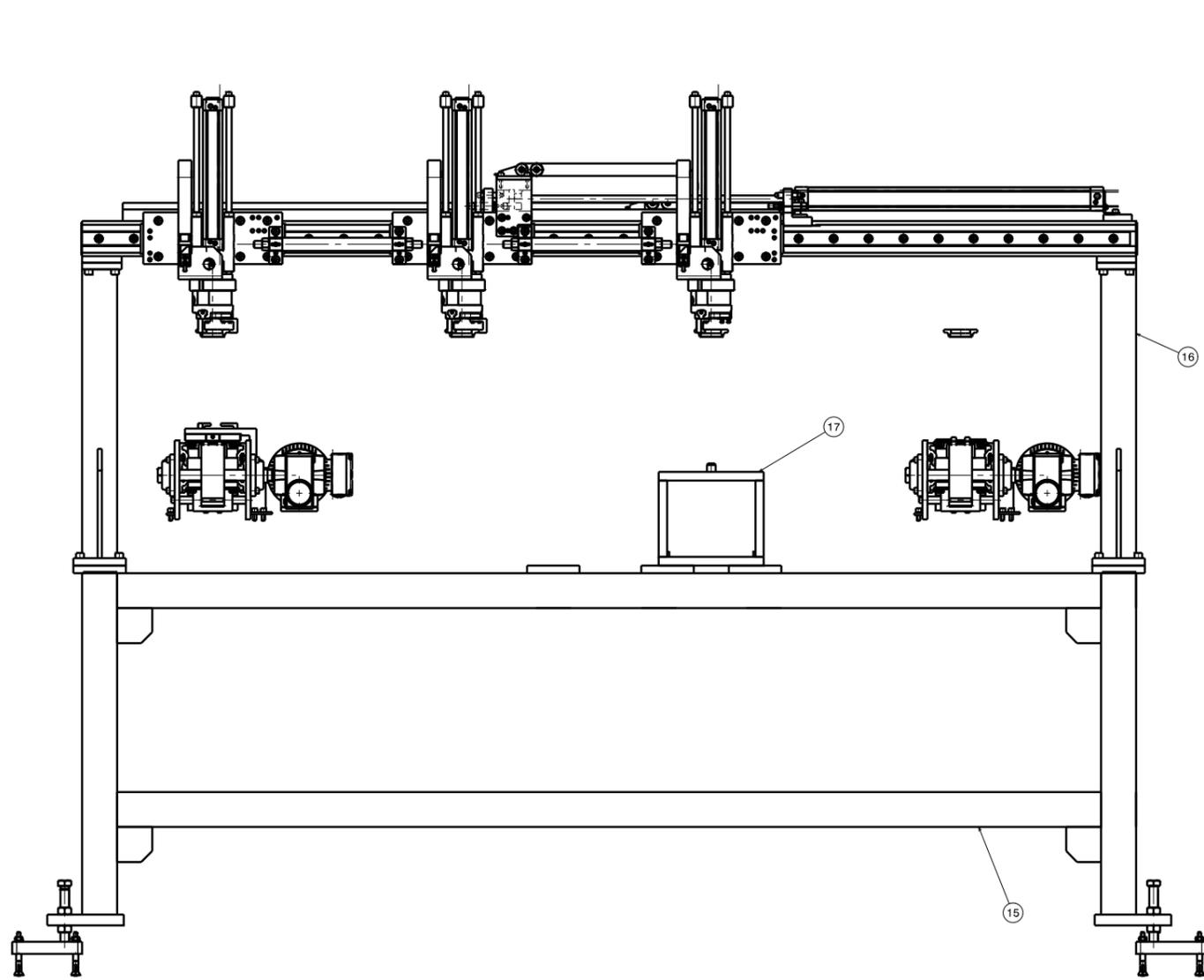


Anexo II: Subconjuntos mecánicos

A continuación se muestran los planos de los conjuntos mecánicos que conforman el calibre POST-PROCESS.

El orden es el siguiente:

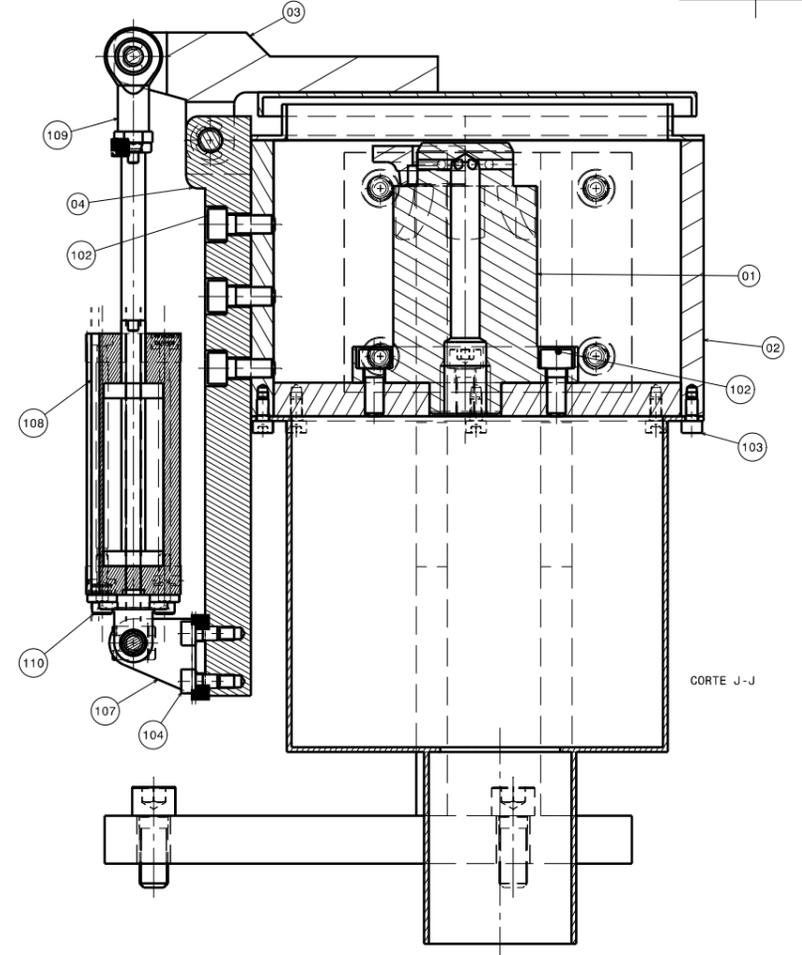
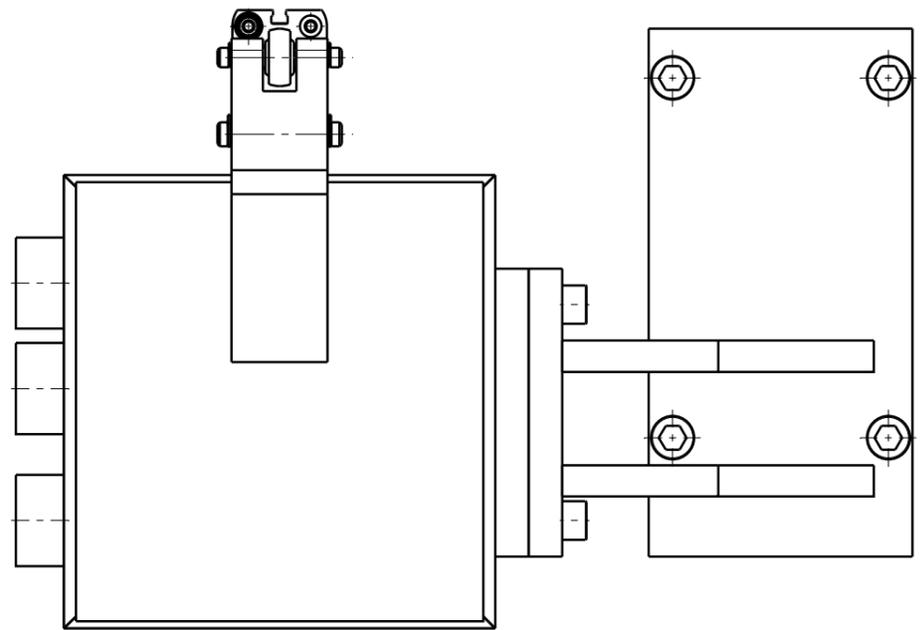
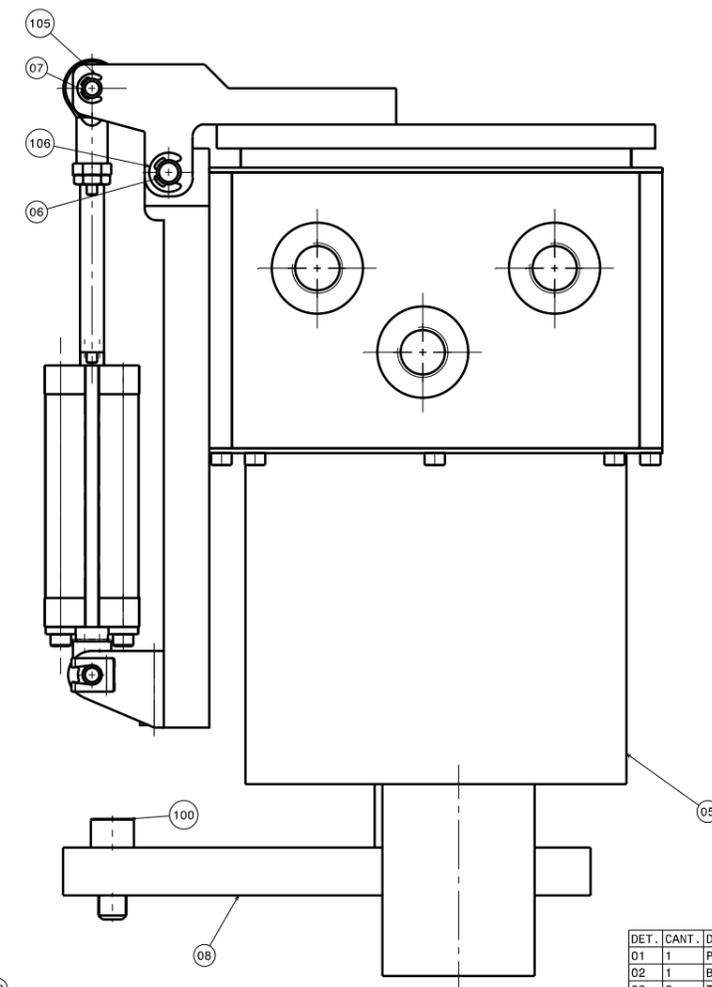
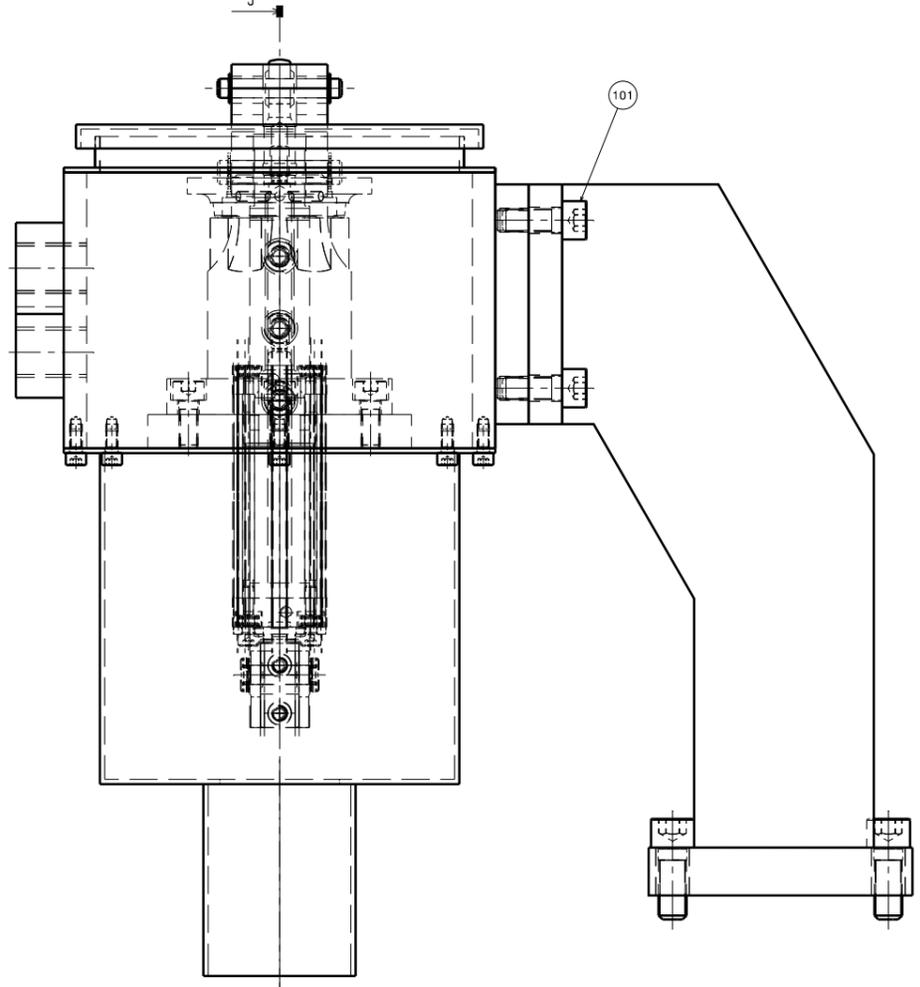
- Conjunto de subsistema Pick & Place
- Conjunto de subsistema de lavado de piezas
- Conjunto de subsistema de medición de piezas
- Conjunto de subsistema de rotación y rechazo de piezas



POS.	CANT.	DENOMINACION	MATERIAL
1	3	PLACA	ALUMINIO
2	1	EMPUJADOR	CONST. SOLD,
3	4	PLACA UNION	SAE 1020
4	2	VARILLA ROSCADA	COMERCIAL MODIF.
5	3	DISCO ADAPTADOR	ALUMINIO
6	3	SOPORTE CADENA	SAE 1020
7	3	SOPORTE CADENA	SAE 1020
8	9	MORDAZA	SAE 1045
9	1	EMPUJADOR CILINDRO	SAE 1045
10	2	TUBO	SAE 1020
11	6	TOPE VERTICAL	SAE 1045
12	5	ARANDELA	SAE 1020
13	6	TOPE FIJO	SAE 1045
14	1	SOPORTE	CONST. SOLD,
15	1	BANCO	CONST. SOLD,
16	2	PATA	CONST. SOLD,
17	1	TORRE CALIBRE	CONST. SOLD,
18	2	LOCALIZADOR	SAE B620
19	1	SOPORTE CADENA HORTZ.	SAE 1020
20	1	SOPORTE CADENA	SAE 1020
21	1	PORTA AMORTIGUADOR	SAE 1020
22	2	TOPE REG.	SAE 1045
23	1	TOPE EN V	SAE 1020
24	1	SOPORTE TOPE	CONST. SOLD,
100	8	ISO 4034 TUERCA HEXAG. M16	
101	20	TORNILLO ALLEN M12x30 DIN 912	
102	4	TORNILLO ALLEN M5x12 DIN 912	
103	4	TORNILLO ALLEN M8x20 DIN 912	
104	2	ISO 4034 TUERCA HEXAGONAL M12	
105	4	TORNILLO ALLEN M8x12 DIN 912	
106	4	ISO 10642 TORNILLO ALLEN M6x12	
107	2	ESPINA CIL. 10x30 DIN 7997	
108	24	TORNILLO ALLEN M10x20 DIN 912	
109	28	TORNILLO ALLEN M6x10 DIN 912	
110	9	TORNILLO ALLEN M6x50 DIN 912	
111	24	TORNILLO ALLEN M6x16 DIN 912	
112	8	TORNILLO ALLEN M10x40 DIN 912	
113	14	ESPINA CIL. 8x30 DIN 7997	
114	4	TORNILLO ALLEN M10x30 DIN 912	
115	4	TORNILLO ALLEN M5x8 DIN 912	
116	36	TORNILLO ALLEN M8x30 DIN 912	
117	12	ISO 10642 TORNILLO ALLEN M5x16	
118	12	TORNILLO ALLEN M6x20 DIN 912	
119	2	AMORT. FESTO YSR-12-12-C	
120	1	CIL. NEUMATICO DNC-40-600-PPV-A	
121	3	GUIA FENG-32-KF FESTO	
122	3	CIL. NEUMATICO DNC-32-250-PPV-A	
123	6	PATIN DE BOLAS 1651-3XX-2X SIN PRECARGA	
124	1	GUIA LINEAL R160635431 L=2396	
125	6	CARTUCHO DE LUBRICACION 1619-325-00	
126	3	CADENA KABELSCHLEPP 0250 030 020 028 - 425 fi ma	
127	1	CADENA KABELSCHLEPP 0345 040 038 038 - 517 5 fa m1	
128	2	CABALLETE HNC-40 FESTO	
129	3	PLATO DE 3 MORDAZAS TKX-1101	
130	4	PATA DE NIVELACION TKX-300	

PROYECTO	DISENO	APROBADO
CLIENTE:	ESC:	TITULO:
Nº DISEÑO:	OT Nº:	PROJ. Nº:
CLIENTE:	DE -	

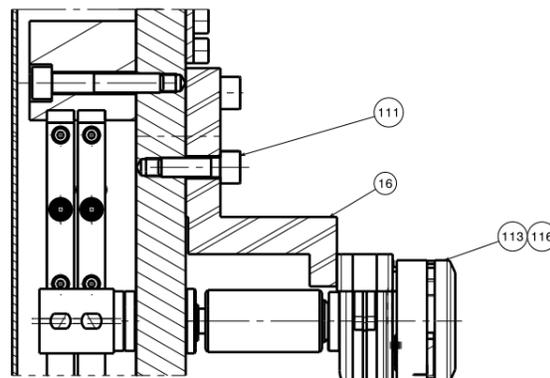
HECHO EN ARGENTINA



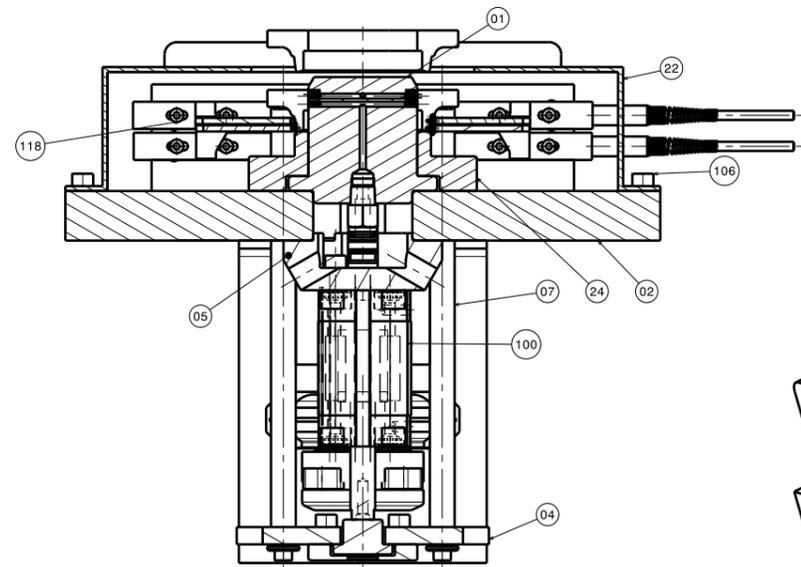
DET.	CANT.	DENOMINACION	MATERIAL
01	1	PERNO LAVADOR	SAE 1020
02	1	BASE LAVADOR	CONST. SOLDADA
03	2	TAPA	CONST. SOLDADA
04	1	SOPORTE CILINDRO	SAE 1020
05	1	BANDEJA	CONST. SOLDADA
06	1	PERNO PIVOT	SAE 1045
07	1	PERNO PIVOT	SAE 1045
08	1	SOPORTE	CONST. SOLDADA
100	4	TORNILLO ALLEN M12x30	DIN 912
101	4	TORNILLO ALLEN M10x25	DIN 912
102	7	TORNILLO ALLEN M8x20	DIN 912
103	12	TORNILLO ALLEN M5x10	DIN 912
104	2	TORNILLO ALLEN M6x10	DIN 912
105	2	ANILLO ELASTICO 6-DIN 6799	
106	2	ANILLO ELASTICO 8-DIN 6799	
107	1	SOPORTE LBN-20 25	FESTO
108	1	CIL. NEUMATICO ADN-25-70-A-P-A	FESTO
109	1	ROTULA SGS-M8	FESTO
110	1	SOPORTE SNCL-25	FESTO

CLIENTE:		ESC:	PROYECTO	DISEÑO	APROBO
N° DISEÑO			TÍTULO: DISPOSITIVO LAVADOR DE PIEZAS		
CLIENTE:			OT N°	HOJA DE -	

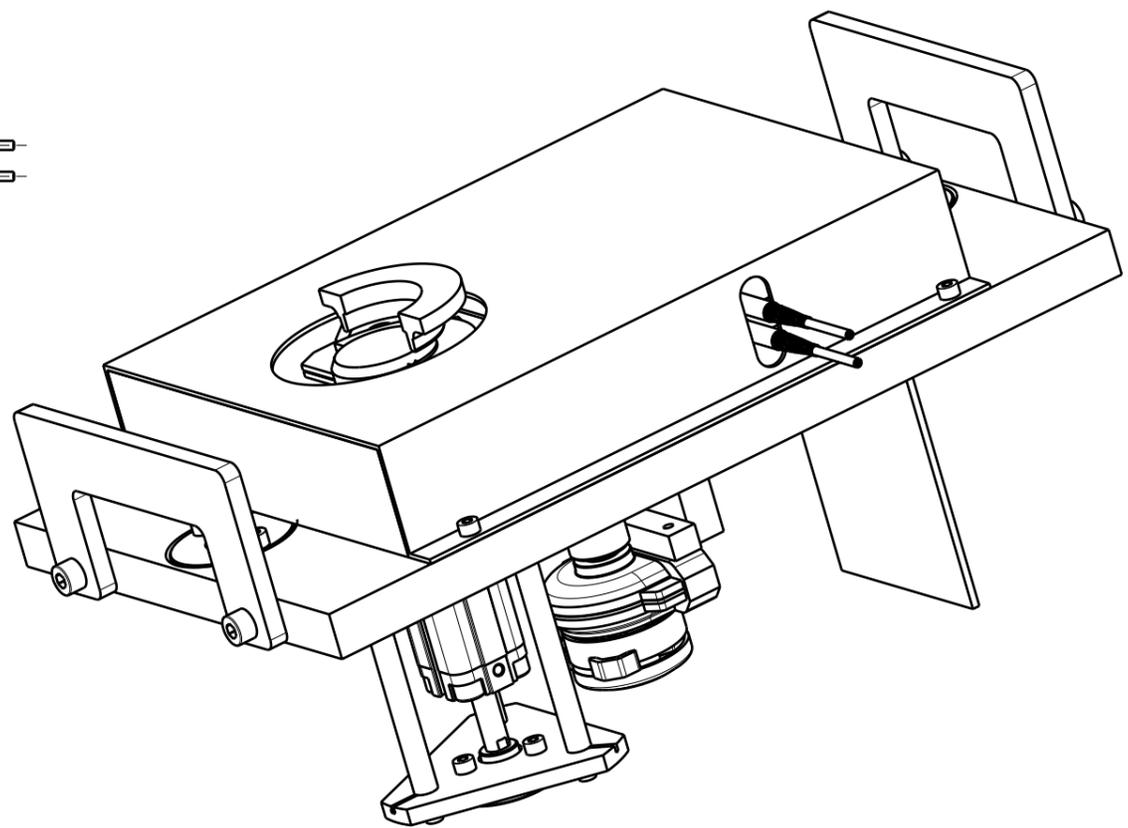
HECHO EN ARGENTINA



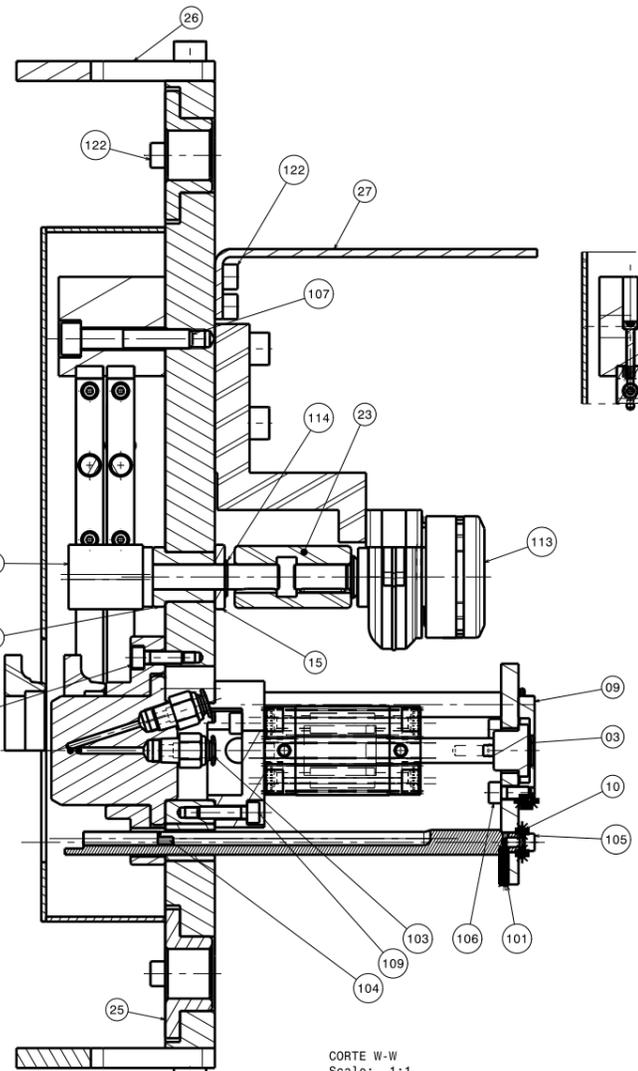
CORTE AH-AH



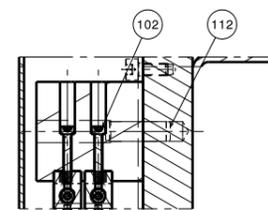
CORTE X-X



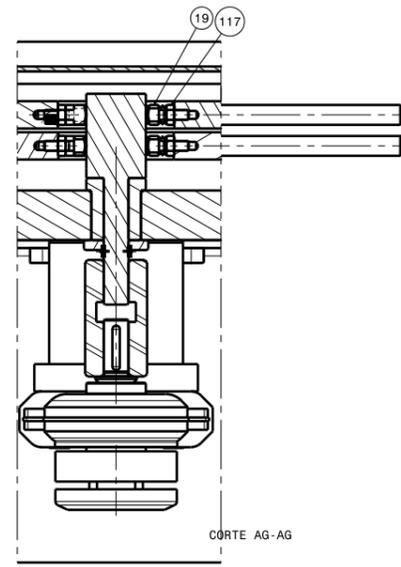
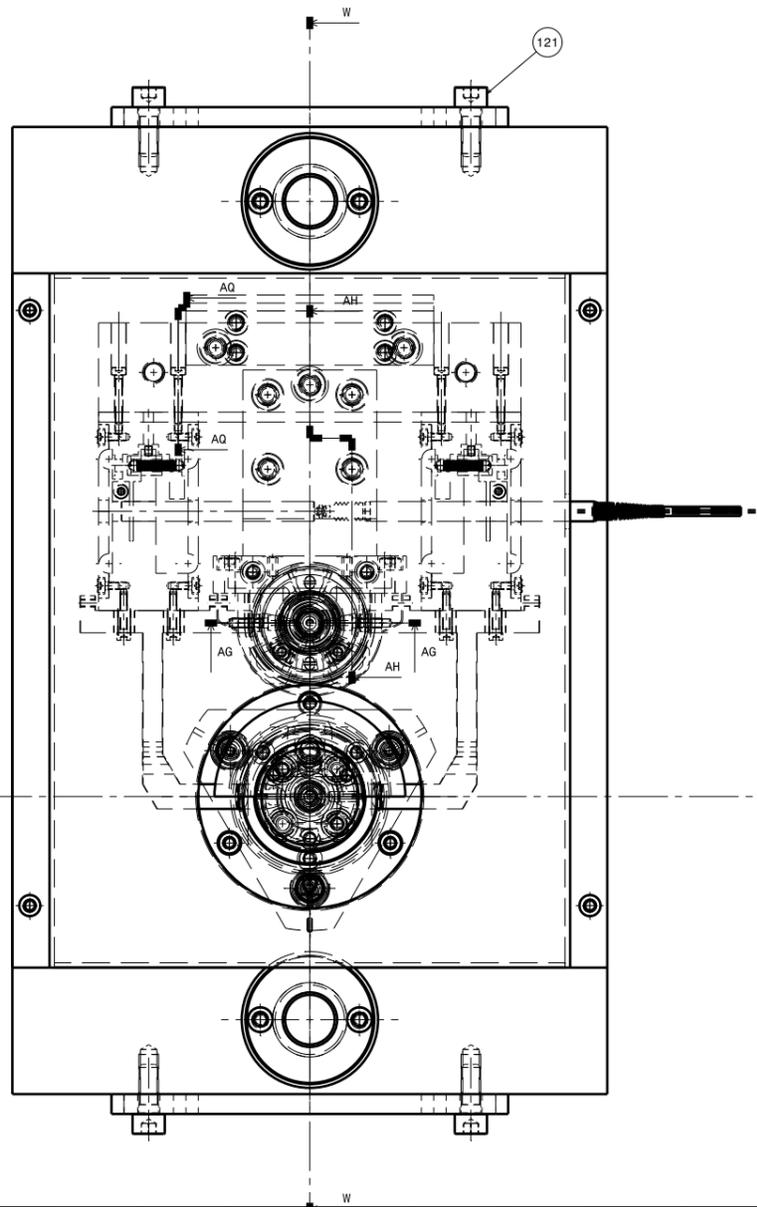
Isometric view
Scale: 1:1



CORTE W-W
Scale: 1:1



CORTE AQ-AQ

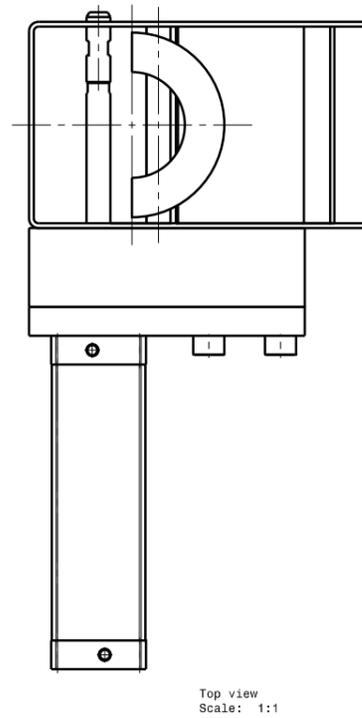
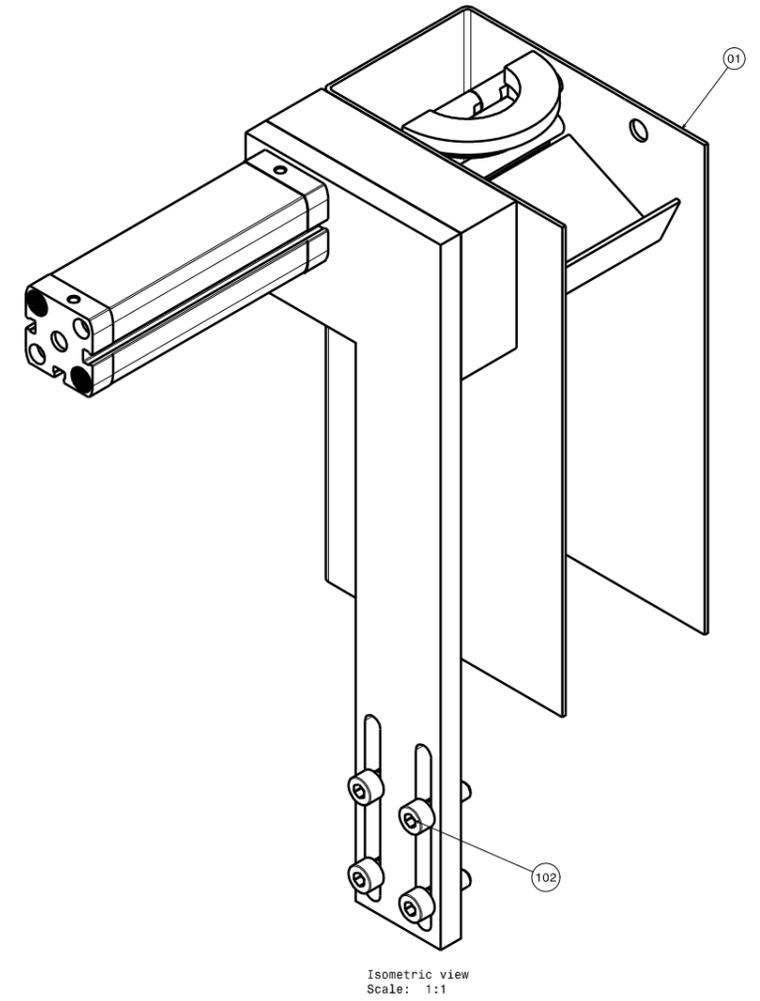
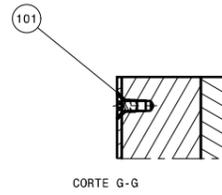
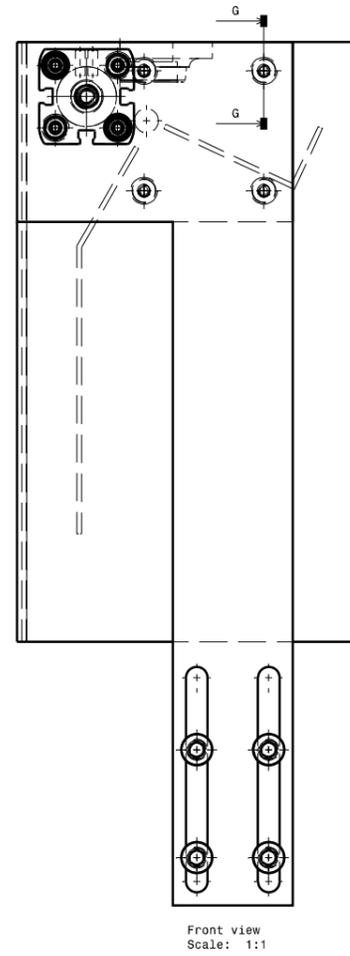
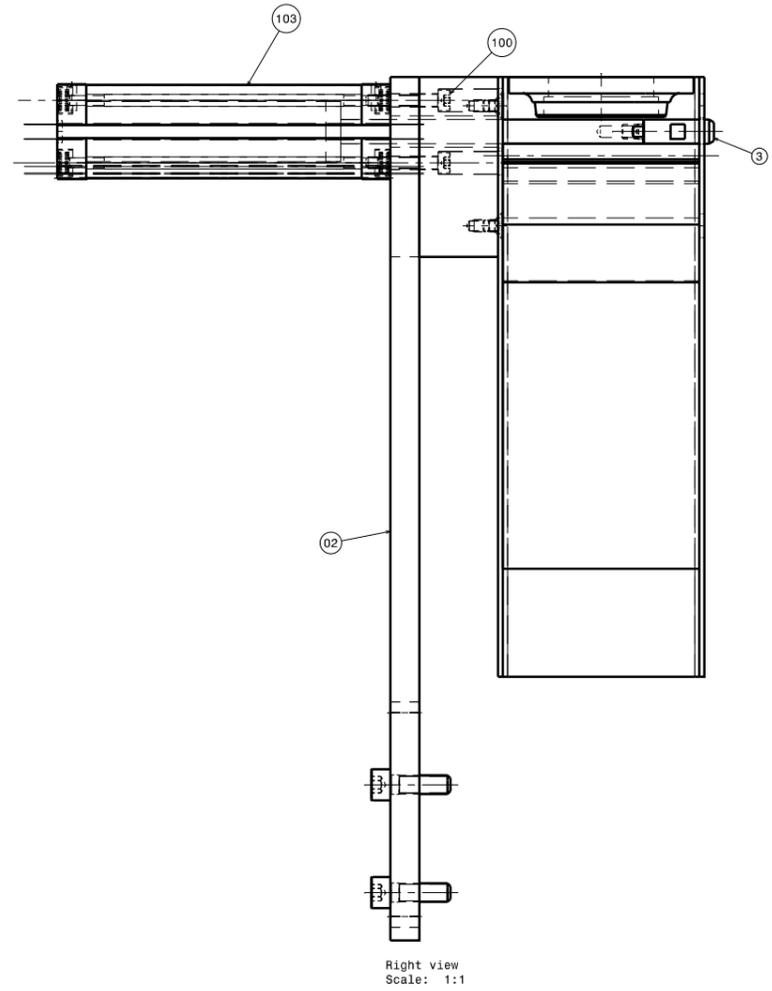


CORTE AG-AG

DET.	CANT.	DENOMINACION	MATERIAL
01	1	OJIVA	SAE 8620
02	1	PLACA	SAE 1020
03	1	EMPLIJADOR	SAE 1045
04	1	PLACA ELEVADOR	SAE 1020
05	1	SOPORTE	SAE 1020
06	3	BUJE GUIA	SAE 63
07	2	VASTAGO	TREFILADO SAE 1045
08	1	SOPORTE BLOQUES	SAE 1020
09	1	BRIDA	SAE 1045
10	3	ARANDELA TOPE	SAE 1020
11	1	VASTAGO	TREFILADO SAE 1045
12			
13	1	EJE	SAE 8620
14	1	BUJE	SAE 63
15	1	ARANDELA	SAE 63
16	1	SOPORTE	CONST. SOLDADA
17	2	APOYO DURO	SAE 8620
18	1	BRAZO	ALUMINIO
19	4	TORNILLO TOPE	SAE 8620
20	1	BRAZO	ALUMINIO
21			
22	1	PROTECCION	CONST. SOLDADA
23	1	ACOPLE	SAE 1045
24	1	APOYO	SAE 8620
25	2	BUJE	SAE 8620
26	2	MANIJA	SAE 1020
27	1	SOPORTE	SAE 1020
100	1	CILINDRO FESTO ADVU-20-25-P-A	
101	1	ESPINA ELASTICA 2x16	
102	8	TORNILLO ALLEN M3x20	
103	2	CONECTOR FESTO QS-1/8-6	
104	1	SENSOR INDUCTIVO ECFA 5.4x30	
105	3	TORNILLO ALLEN M4x8	
106	7	TORNILLO ALLEN M5x12	
107	3	TORNILLO ALLEN M8x45	
108	3	TORNILLO ALLEN M5x16	
109	5	TORNILLO ALLEN M5x20	
110	4	TORNILLO ALLEN M8x20	
111	4	TORNILLO ALLEN M8x25	
112	2	ESPINA CIL. 8x26	
113	1	CILINDRO ROTATIVO DSR-16-180-P	
114	1	ARO SEGUER 10	
115	1	CHAVETA 3x3x10	
116	2	TORNILLO ALLEN M5x25	
117	4	ISO 4032 TUERCA M4	
118	8	TORNILLO ALLEN M3x16	
119	2	GUSANILLO ALLEN M2x4	
120	4	BLOQUE DE MEDICION P/TRANSD. LINEAL	
121	4	TORNILLO ALLEN M8x20	
122	8	TORNILLO ALLEN M6x16	

PROYECTO	DISENO	APROBO
FECHA		
TITULO: CALIBRE MED. OP20 CPO. ACOP. MQ200		
CLIENTE:	ESC:	OT N°
N° DISENO		HOJA
CLIENTE:		DE

HECHO EN ARGENTINA



POS.	CANT.	DENOMINACION	MATERIAL
1	1	CANAL	CONST. SOLDADA
2	1	SOPORTE CILINDRO	CONST. SOLDADA
3	1	PERNO	SAE 1045
100	4	TORNILLO ALLEN M5x30	DIN 912
101	4	TORNILLO ALLEN CAB. FRESADA M5x8	DIN 912
102	4	TORNILLO ALLEN M8x25	DIN 912
103	1	CIL. NEUMATICO ADN-25-100-I-P-A	FESTO

PROYECTO	DIS-NO	APROBO
NUMERO		
TITULO:	DISPOSITIVO GIRADOR DE PIEZA	
CLIENTE:	ESC:	OT Nº
Nº DISEÑO		HOLAS
CLIENTE		DE -



Anexo III: Hoja de proceso de pieza

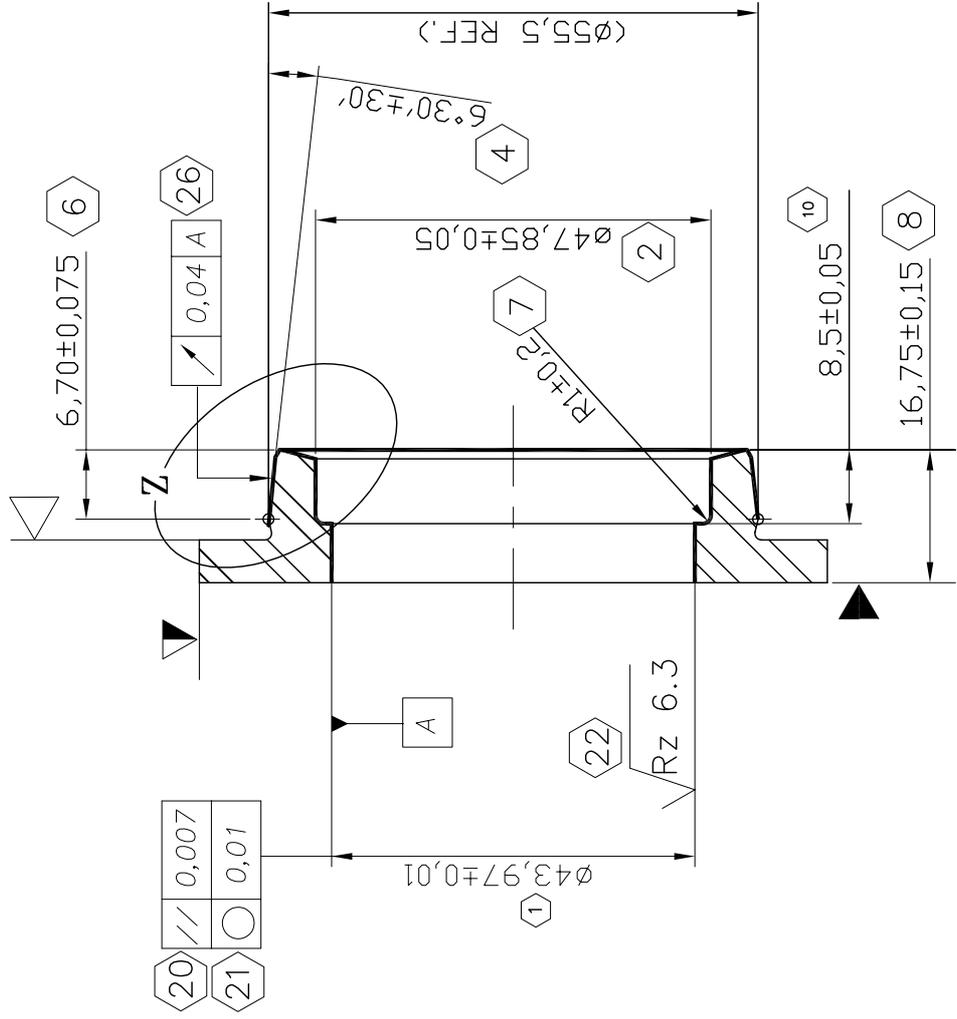
A continuación se adjunta la hoja de proceso de la piza a medir. Las cotas de relevancia para este calibre son:

- $\varnothing 43,97$, diámetro cuya tolerancia es de $\pm 0,01$ y requiere un paralelismo de 0,007 micrones. La redondez de 0.01 NO se controla en este calibre
- Cono cuyo ángulo debe ser $6^{\circ}30' \pm 30'$ y debe presentar un diámetro de $\varnothing 55,5$ a la cota $6,7 \pm 0,075$. El runout de 0,04 NO se controla en este calibre

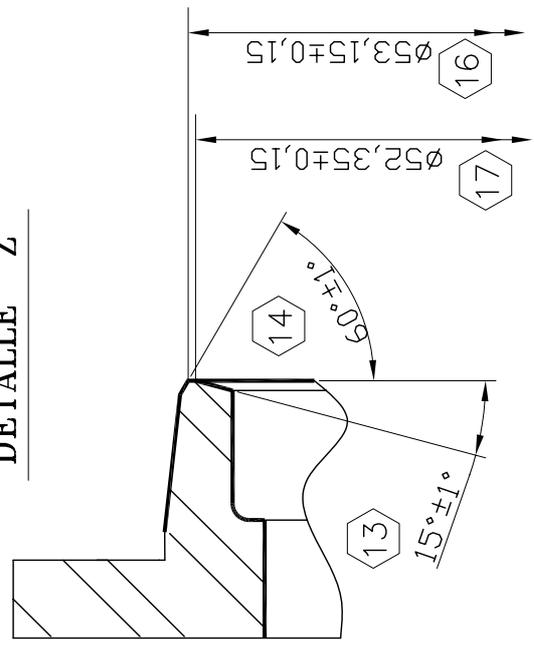
HOJA DE PROCESO – CROQUIS

PREPARO: LUCIANO
APROBO : J.CALDERON
FECHA EMISION: 16.06.01
HOJA 1 DE 1
CARPETA N° 15 MQ200

CONJUNTO	TRANSMISION MQ200	NUMERO	OPERACION	NOMBRE	NUMERO
PIEZA	CUERPO DE ACOPLAMIENTO	02T.300.041	MAQUINA	TORNEADO 1RA Y 2DA OP.	20
		02T.311.291...		TORNO EMAG BIFUSILLO	3634/3633



DETALLE "Z"



TERMINACION SUPERFICIAL
VW 13705 $\sqrt{Rz\ 25}$ 25

6	10/03/05	SE ELIMINA PIEZA 291.A	P.HEREDIA
6	21/11/03	ITEMS 1.1 Y 10.1 CAMBIADOS POR 3 Y 5	P.HEREDIA
5	08/04/02	SE AGREGA TORNO 3633	F.HERZ
4	21/02/02	SE AGREGA ITEM 26	P.HEREDIA
3	05/09/01	SE ELIMINA CARACT. 15	LUCIANO
2	01/09/01	REVISION GENERAL	LUCIANO
1	25/08/01	SE ACTUALIZA PARA 2.0L	LUCIANO
N°/C	FECHA	CAMBIO	INTERV.

CIERRE
 LOCALIZACION
 APOYO
 HERRAMIENTA
 ITEM DE CONTROL
 CAMBIO