



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DESARROLLO DE UNA PINZA ROBÓTICA CON CONTROL DE PRESIÓN IMPLEMENTADO MEDIANTE LABVIEW

AUTOR: AUSIAS VILA CASTELLÁ

TUTOR: JUAN MANUEL HERRERO DURÁ

COTUTOR: RAÚL SIMARRO FERNÁNDEZ

Curso Académico: 2015-16

A mis padres, sin vuestro apoyo no sería lo que hoy soy.

RESUMEN

En este proyecto se ha diseñado una pinza robótica dotada de un sensor de presión y otro sensor que permite detectar si hay pieza en ella.

La pinza se ha desarrollado a partir de un modelo ya existente sobre la cual se han realizado las modificaciones necesarias para poder cumplir las especificaciones del cliente. Para ello:

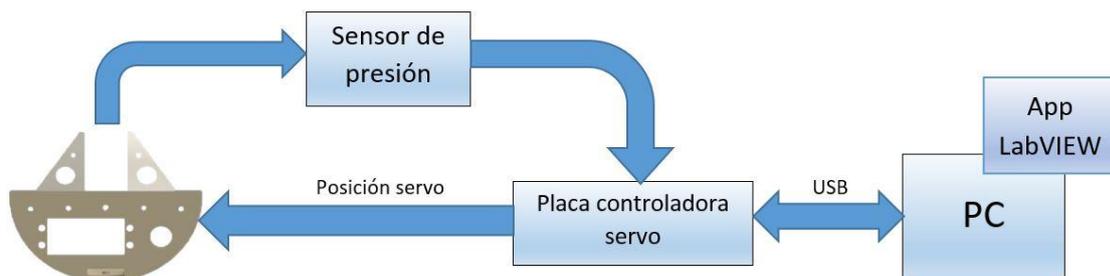
- Se ha obtenido el modelo 3D de la pinza original.
- Se han seleccionado los sensores adecuados y servomotor para la pinza.
- Se han modificado partes de dicha pinza permitiendo albergar el sensor de presión y el sensor de posición, para, más tarde, imprimir dicho diseño mediante una impresora 3D.

Por otra parte, se ha diseñado la electrónica, utilizando amplificadores, que permite acondicionar la señal de los sensores, implementándola un prototipo de dicha circuitería.

La adquisición de las señales de dichos sensores se ha llevado a cabo mediante el uso de la placa encargada de controlar el servomotor. Dicha placa dispone de conversores analógicos-digitales que se han usado, permitiendo así reducir los costes del prototipo.

Finalmente, se ha desarrollado una aplicación de control de presión, mediante el software LabVIEW, que permite al usuario interactuar con el sistema, para ejercer tanto un control manual de la pinza como automático mediante un algoritmo de tipo PID. Para el diseño de dicho controlador se han seguido los pasos clásicos de identificación del modelo del proceso, diseño y validación del controlador.

Destacar que el prototipo de pinza robótica desarrollado, cumple con las especificaciones de diseño establecidas, con un coste de fabricación más que aceptable. Lo que permite su uso como prototipo de prácticas en el área de ingeniería de control.



ÍNDICE DE DOCUMENTOS

1.- MEMORIA

2.- ANEXO DE PROGRAMACIÓN

3.- ANEXO DE DISEÑO

4.- MANUAL DE USUARIO

5.- PRESUPUESTO



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DESARROLLO DE UNA PINZA ROBÓTICA CON CONTROL DE PRESIÓN IMPLEMENTADO MEDIANTE LABVIEW

DOCUMENTO Nº1: MEMORIA

AUTOR: AUSIAS VILA CASTELLÁ

TUTOR: JUAN MANUEL HERRERO DURÁ

COTUTOR: RAÚL SIMARRO FERNÁNDEZ

Curso Académico: 2015-16

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1.- OBJETO DEL PROYECTO.....	1
2.- OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	2
3.- MOTIVACIÓN.....	3
4.- ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....	4
4.1.-Introducción y descripción del equipo.....	4
4.1.1.- Sensor de presión.....	4
4.1.2.- Diodo emisor y fototransistor.....	5
4.1.3.- Amplificador Rail to Rail.....	6
4.1.4.- RC Servo.....	7
4.1.5.- Controlador del RC Servo.....	7
4.2.- Control por Ordenador.....	8
4.2.1.- LabVIEW.....	8
4.2.2.- Matlab.....	9
4.2.2.1.-Ident.....	9
4.2.2.2.-Rltool.....	10
5.- ESPECIFICACIONES DE DISEÑO.....	11
6.- DESARROLLO DEL PROYECTO.....	12
6.1.- Desarrollo de la pinza.....	12
6.1.1.- Razón pinza escogida.....	12
6.1.2.- Modificaciones 3D.....	15
6.2.-Desarrollo electrónica.....	18
6.2.1.- Elección de la electrónica.....	18
6.2.2.- Construcción de la placa electrónica.....	20
6.3.- Desarrollo Controlador PID.....	22
6.3.1.- Modelo obtenido.....	22
6.3.2.- PID escogido.....	25
7.- RESULTADOS OBTENIDOS.....	27
8.- CONCLUSIONES.....	28
9.- FUTURAS MEJORAS.....	29
10.- BIBLIOGRAFÍA.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo 3D de la pinza.....	1
Figura 1: Gráfico Resistencia-Fuerza de un sensor de presión resistivo.....	4
Figura 2: Montaje recomendado del sensor de presión FSR.....	4
Figura 3: Gráficas Salida de tensión frente a presión según valores de resistencias.....	5
Figura 5: Montaje recomendado sensor infrarrojo.....	6
Figura 6: VI básico que lee una entrada y la muestra en un indicador.....	8
Figura 7: Obtención de modelos mediante ident.....	9
Figura 8: Lugar de las raíces en Rltool.....	10
Figura 4: Modelo 1 de la pinza.....	12
Figura 5: Modelo 2 de la pinza.....	13
Figura 6: Modelo 3 de la pinza.....	14
Figura 7: Modelo 4 de la pinza.....	14
Figura 8: Modelo escogido de la pinza.....	15
Figura 14: Modificación del ancho de la pinza.....	15
Figura 9: Especificaciones del sensor de presión.....	16
Figura 10: Especificaciones diodo emisor y fototransistor.....	17
Figura 17: Cambios realizados en la pinza con sensor.....	17
Figura 18: Modificaciones pinza sin sensor.....	18
Figura 11: Servomotor escogido.....	19
Figura 12: Controlador del servo escogido.....	20
Figura 13: Placa experimental.....	20
Figura 22: Vista superior de la placa.....	21
Figura 23: Vista inferior de la placa.....	21
Figura 24: Señal recogida y escalones seleccionados.....	22
Figura 25: Señal filtrada.....	23
Figura 26: Resultados de los cuatro modelos para el rango de datos 1.....	23
Figura 27: Resultados de los cuatro modelos para el rango de datos 2.....	24

Desarrollo de una pinza robótica con control de presión mediante LabVIEW

Figura 28: Resultados de los cuatro modelos para el rango de datos 3.....	24
Figura 29: Resultados de los cuatro modelos para el rango de datos 4.....	25
Figura 30: Lugar de las raíces con el PID aplicado.....	26

1.- OBJETO DEL PROYECTO.

Este proyecto tiene como objeto el desarrollo de una pinza robótica la cual pueda alojar un sensor de presión y un sensor infrarrojo formado por un led emisor y un fototransistor, así como una aplicación en LabVIEW que permita tener un control de la presión mediante un algoritmo PID.

Con esto se busca modificar el modelo 3D ya existente de la pinza con la intención de crear el espacio necesario para los sensores, además de realizar algunos cambios que ayuden con el paso de los cables a la placa.

Se persigue la sencillez en el montaje electrónico utilizando los canales de la placa controladora del servo tanto como entradas así como de salidas.

A parte se desea crear una aplicación en LabVIEW que permita al usuario cambiar entre un modo manual y un modo automático, el cual permita aplicar el algoritmo PID cuando desee. Además, esta aplicación permitirá ver otra información adicional del sistema y cambiar algunos parámetros.

Todo esto deberá cumplir con unas especificaciones de diseño minimizando el coste de la pinza.

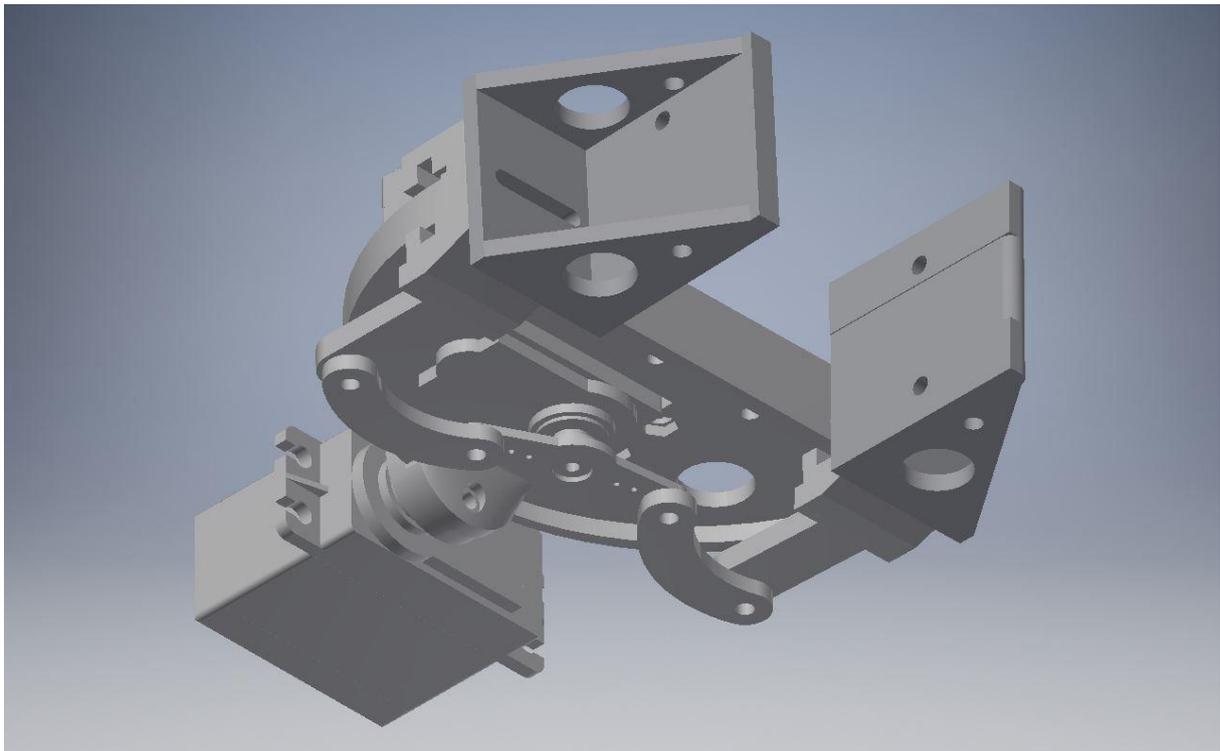


Figura 1: Modelo 3D de la pinza

2.- OBJETIVOS DEL PROYECTO.

El objetivo principal de este proyecto es el desarrollo de una aplicación en LabVIEW que permita controlar la apertura de la pinza en función de la presión dada en el sensor. Aun así se han seguido una serie de objetivos a lo largo de todo el desarrollo:

- Selección de los mejores componentes electrónicos para este proyecto, los cuales son el servomotor, el sensor de presión, el fototransistor y el fotodiodo (para detectar la presencia de la pieza).
- Obtención del modelo 3D de la pinza existente.
- Modificación de la pinza con el fin de añadir huecos y agujeros para incorporar los sensores y la posterior impresión 3D de la misma.
- Realización de todo el montaje necesario del circuito electrónico en una placa experimental soldando los componentes electrónicos a esta.
- Desarrollo de una aplicación en LabVIEW que permita tener control manual y automático de la pinza, con control de presión.
- Obtención de un modelo del proceso mediante varios escalones y la herramienta Ident de Matlab.
- Desarrollo y aplicación de una función PID con tal de cumplir las especificaciones.

3.- MOTIVACIÓN.

La principal motivación en este proyecto es la aplicación de los conocimientos adquiridos en diferentes asignaturas del grado de ingeniería en tecnologías industriales (GITI) como son tecnología electrónica, laboratorio de automatización y control (LAC) o ingeniería gráfica. Estos son el desarrollo y modificación de un objeto 3D, el uso del software LabVIEW, la utilización de Matlab, así como de sus herramientas Ident y Rltool.

Por otra parte, el desarrollo de un prototipo de bajo coste para prácticas de laboratorio, donde se puedan llevar a cabo ejercicios de control básico de presión.

4.- ANTECEDENTES DEL PROYECTO.

4.1- INTRODUCCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

4.1.2.- Sensor de presión.

En este caso se utiliza un sensor de presión resistivo cuyo funcionamiento reside en la disminución de resistencia conforme aumenta la fuerza sobre la superficie activa.

Tiene un comportamiento exponencial si se representa el voltaje de salida respecto a la fuerza y uno logarítmico si se representa la resistencia que ofrece respecto a la fuerza aplicada. Así pues, si se representa en una gráfica con una escala logarítmica, se puede trazar como una recta.

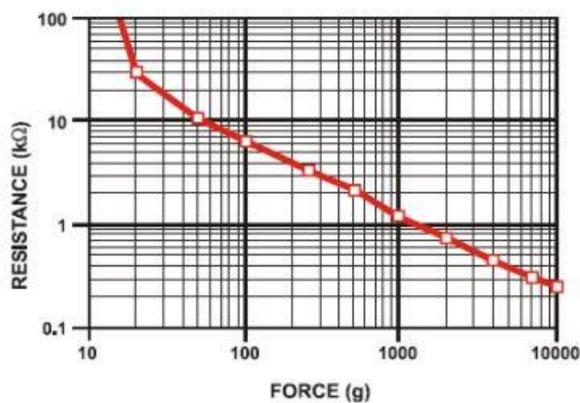


Figura 2: Gráfico Resistencia-Fuerza de un sensor de presión resistivo (interlinkelectronics.com)

El fabricante recomienda un montaje con un amplificador operacional realimentado negativamente, es decir, un seguidor. Éste funciona como un buffer de voltaje, ya que se tiene un circuito a la entrada el cual puede tener una resistencia muy grande (el sensor cuando no es presionado) y un circuito a la salida con una impedancia muy baja, así pues, con este seguidor, se consigue que el primer circuito no cargue demasiado al segundo circuito y funcione correctamente.

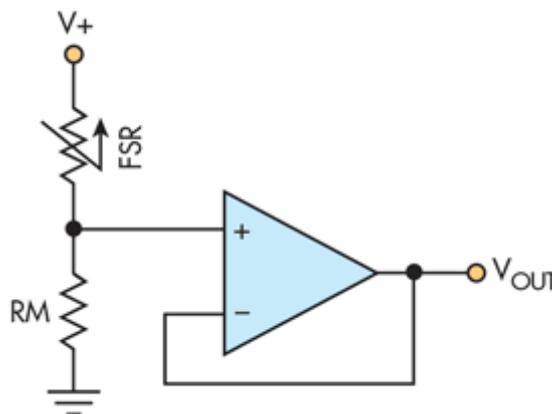


Figura 3: Montaje recomendado del sensor de presión FSR (interlinkelectronics.com)

De esta forma al aumentar la fuerza aplicada sobre el sensor éste reducirá su resistencia por lo que la caída de tensión en él disminuirá y la tensión a la salida será mayor. Con este dato será con el que se haga el seguimiento en el software del LabVIEW. Además, se dispone de una resistencia RM la cual permite limitar la tensión de salida aumentando o disminuyendo esta resistencia. Para este caso, el fabricante proporciona las curvas Voltaje de salida-Fuerza aplicada para diferentes resistencias.

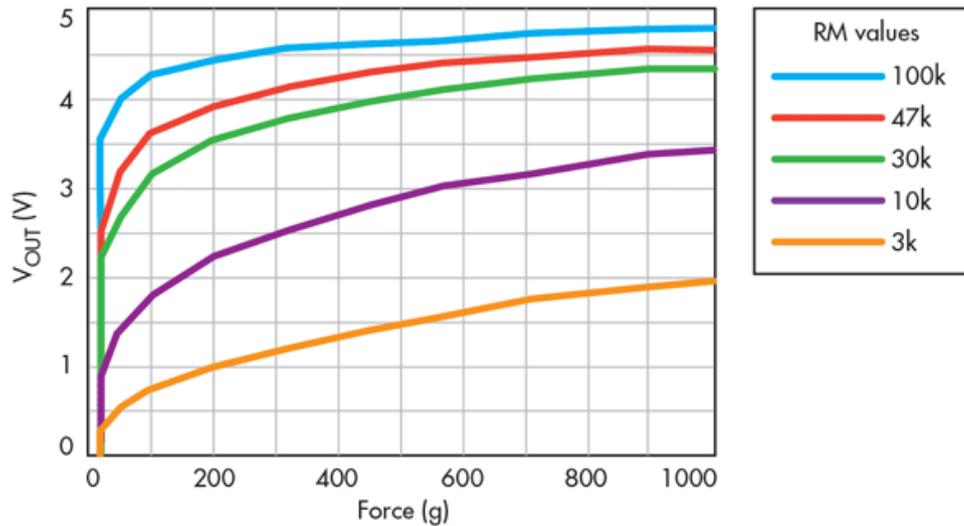


Figura 4: Gráficas Salida de tensión frente a presión según valores de resistencias (interlinkelectronics.com)

En este proyecto se utilizará un sensor FSR408 de la marca Interlink Electronics, el cual es de forma rectangular y muy alargada, además se puede recortar su longitud y todavía funciona correctamente. Esto hará posible la capacidad de recortarlo al tamaño deseado de la pinza.

4.1.2.- Diodo emisor y fototransistor

El diodo es un componente electrónico con dos terminales el cual sólo puede conducir corriente en un sentido. Así pues se comporta como un circuito abierto cuando es recorrido por tensiones inferiores a 0, aguantando hasta una tensión de ruptura, donde a partir de este punto el diodo deja pasar una gran cantidad de corriente a causa del efecto avalancha, además, permite el paso de esta para tensiones superiores a 0, ejerciendo como una pequeña resistencia.

Está formado por un material semiconductor, el cual suele ser cristal de silicio con impurezas que tenga una zona con electrones, o semiconductor N, y otra zona con huecos (portadores de carga positiva), o semiconductor P. Cuando se juntan se forma la unión PN, la cual deja pasar la corriente eléctrica desde la zona N (cátodo) hasta la zona P (ánodo) y no en la dirección opuesta. Así pues, cuando se polariza directamente, los electrones van ocupando los huecos y emiten fotones, de esta forma se le puede incluir al diodo componentes ópticos para modificar esta radiación, pudiendo llegar a emitir luz infrarroja.

En cuanto al fototransistor, éste trabaja de forma similar al diodo, pero a la inversa, cuando el fototransistor recibe fotones (generalmente luz infrarroja) genera electrones, por lo que aparece una intensidad.

Se realizará el siguiente montaje para crear un sensor infrarrojo.

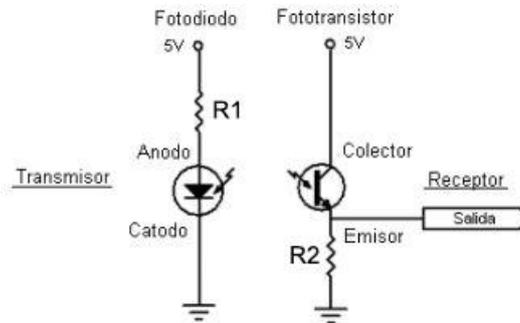


Figura 5: Montaje recomendado sensor infrarrojo

Así pues la resistencia R2 cuanto más grande sea mejor, así pasará más intensidad a la salida, por lo que en este proyecto se optará por una de 56KΩ. En cuanto la resistencia R1 deberá ser aquella que permita pasar la intensidad nominal del diodo, para aprovechar al máximo el led, y que emita la mayor intensidad de luz infrarroja. Así pues, el diodo es un LTE-4206, y en su hoja de especificaciones, el fabricante dice que la caída de tensión es de 1.2 V, por lo que en la resistencia deberá haber una caída de tensión del 3.8 V restantes. Según el fabricante, la intensidad normal que recorre el diodo es de 20 mA, por lo que, por ley de ohm, se halla la resistencia mínima R1 la cual es 190 Ω. En este caso, se salvarán un poco las distancias poniendo una resistencia de 270Ω.

$$V = R \cdot I$$

Fórmula 1: Ley de Ohm.

4.1.3.-Amplificador Rail to Rail

Un amplificador operacional es un componente electrónico que otorga una ganancia a una señal de entrada. Dispone de dos entradas y una salida. Si se realimenta se puede conseguir un comportamiento más predecible en la señal de salida y, además, hay diversas formas de montaje con lo que permite ajustar la ganancia deseada mediante ajuste de las resistencias colocadas en el montaje.

Sin embargo, los amplificadores operacionales tienen ciertas limitaciones y una de ellas es la saturación, esta provoca que la salida del amplificador operacional no sea igual a la de la fuente de alimentación, sino que llegue a un 80-90%, de esta forma el sensor de presión da lecturas erróneas.

Así pues, se opta por colocar un amplificador operacional Rail-to-Rail, el cual permite que la tensión de salida llegue a la misma que la tensión de alimentación tanto superior como inferiormente.

En este proyecto se opta por un MCP6002, el cual lleva dentro dos amplificadores operacionales rail-to-rail, por lo que el segundo operacional se aprovecha para hacer un amplificador de ganancia positiva, aunque en este proyecto se coloca dos resistencias iguales, consiguiendo un

amplificador de ganancia 1, dejándolo disponible para, en un futuro, poder hacer cambios y poder variar la ganancia solamente cambiando las resistencias.

4.1.4.-RC Servo

También conocido como servomotor de aeromodelismo, es un actuador el cual tiene la capacidad de colocarse en un punto estable dentro de su rango de operación. Consta de un motor de corriente continua el cual, al pasarle un voltaje, gira a gran velocidad pero sin ofrecer gran par. Para aumentar éste, se coloca una caja reductora la cual convierte la velocidad en torsión.

Así pues la posición del servo se controla mediante una señal PWM, es decir, una onda cuadrada la cual tiene un tiempo de nivel alto que se puede ir modificando para que la media de esta onda vaya variando. Con esto, según el voltaje que reciba el servo llegará a un ángulo u otro, esto se hace mediante un controlador de tipo P, el cual calcula el error entre el ángulo deseado y el actual, y pasa más voltaje al motor para que vaya más rápido si el error es grande y menor voltaje si el error es pequeño.

En la mayoría de servos el tiempo de señal en alto está entre 1 y 2 ms, los cuales lo posicionan en los dos extremos de giro (0° y 180°). Para los ángulos intermedios, el servo sigue una linealidad que sigue la fórmula

$$t = 1 + \frac{\emptyset}{180}$$

Fórmula 2: Tiempo de la señal en alto según el ángulo del servo

Donde t (ms) es el tiempo de la señal en alto y \emptyset (°) es el ángulo que va desde 0 a 180°.

En este proyecto se opta por un motor “Power HD High-Torque Servo 1501MG” de la marca Polulu.

4.1.5.-Controlador del RC Servo

Así pues para poder manejar y conectar el servomotor al ordenador, se necesita un controlador que pueda comunicarse vía puerto USB. Este permite asignar un servo a una de sus entradas/salidas y controlar tanto la posición, como la aceleración o la velocidad del servo.

4.2.-Control por Ordenador

4.2.1.-LabVIEW

LabVIEW es el software que se utiliza principalmente en este proyecto, el cual es una potente herramienta creada por National Instruments. Las aplicaciones desarrolladas en éste se llaman VIs (Instrumentos virtuales) los cuales constan de dos estaciones de trabajo, una es el panel frontal, el cual es la interfaz de usuario, lo que el usuario ve cuando el programa se está ejecutando. En esta pantalla se pueden seguir valores en tiempo real y es donde se colocan los controladores como los indicadores. La otra es el diagrama de bloques, que es donde se colocan una serie de iconos los cuales hacen cada uno una determinada función y se interconectan entre sí (Vizcaíno, J. R. L., & Sebastián, J. P., 2011).

Así pues como se puede ver en la figura, se tiene una entrada que cuando se cambia su valor, el indicador aumenta o disminuye según el valor que tenga la entrada. Este bucle se realiza infinitamente con un periodo del valor (en ms) que se coloca en la entrada "Period" hasta que se pulse el botón Stop.

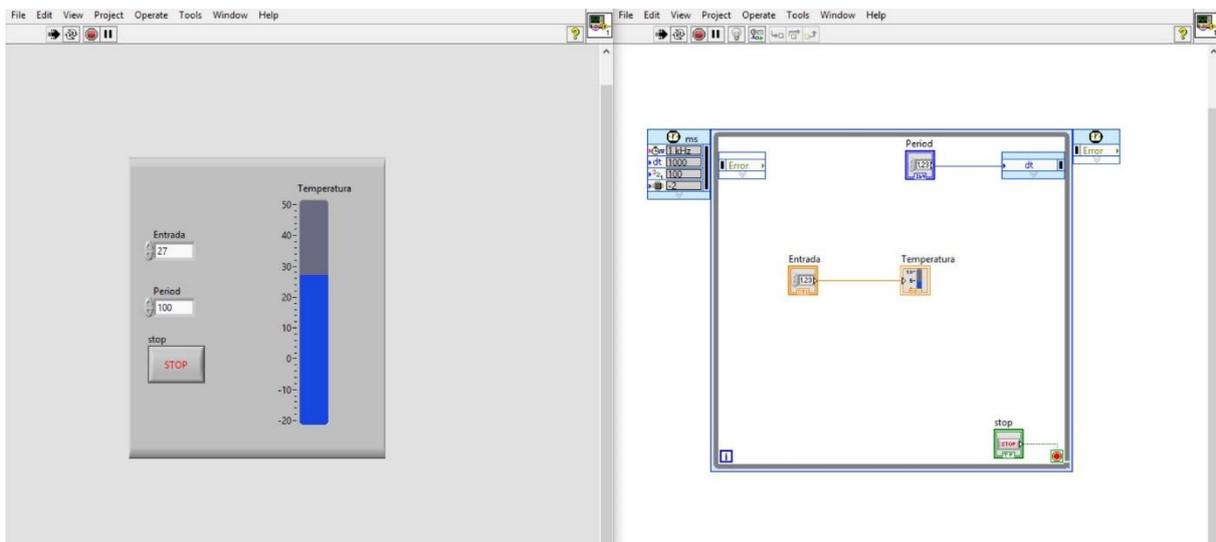


Figura 6: VI básico que lee una entrada y la muestra en un indicador

LabVIEW se basa en el lenguaje G (gráfico), el cual hace que la programación de los diferentes VIs se pueda hacer modular lo que la convierte en más sencilla y visual. Además permite hacer programas muy complejos que serían imposibles de hacer mediante los lenguajes de programación actuales.

Otro aspecto que hace a LabVIEW atractivo es que tiene la capacidad de trabajar con otros lenguajes de programación, así pues, en los VIs se puede incluir tanto lenguaje C++ como Matlab. En adición, una aplicación o VI se puede incluir dentro de otro VI a modo de subVI haciendo una determinada operación, lo que hace posible aún más la simplificación del código.

4.2.2.- Matlab

Matlab es un software muy utilizado tanto en Universidades como en centros de investigación y desarrollo. Es una herramienta de software matemático la cual tiene entre sus propiedades la capacidad de representar matrices, la representación de datos o funciones y la implementación de algoritmos (Moore, H. M. ,2007). Tiene un lenguaje de programación propio (lenguaje M) y algunas herramientas muy utilizadas en la industria de la automatización las cuales son Ident y RIttool (Vargas, M., & Berenguel, M. , 2004).

4.2.2.1.- Ident

Esta herramienta, llamada también “System Identification ToolBox”, es capaz de conseguir una ecuación del modelo de un proceso cuyos datos sean importados (Mazzone, V. , 2002). Para ello, se tiene que realizar un ensayo en el que se realice un escalón y se observe la respuesta del sistema. Una vez hecho esto, y si se han hecho varios escalones, ident permite seleccionar de todo el ensayo los escalones con su respectiva respuesta deseados e introducirlos en el banco de trabajo. Una vez se haya eliminado el punto de funcionamiento, ident permite estimar un modelo del proceso de la forma que prefiera el usuario, es decir, puede contar con delay o no, con uno o más polos, o con ceros reales.

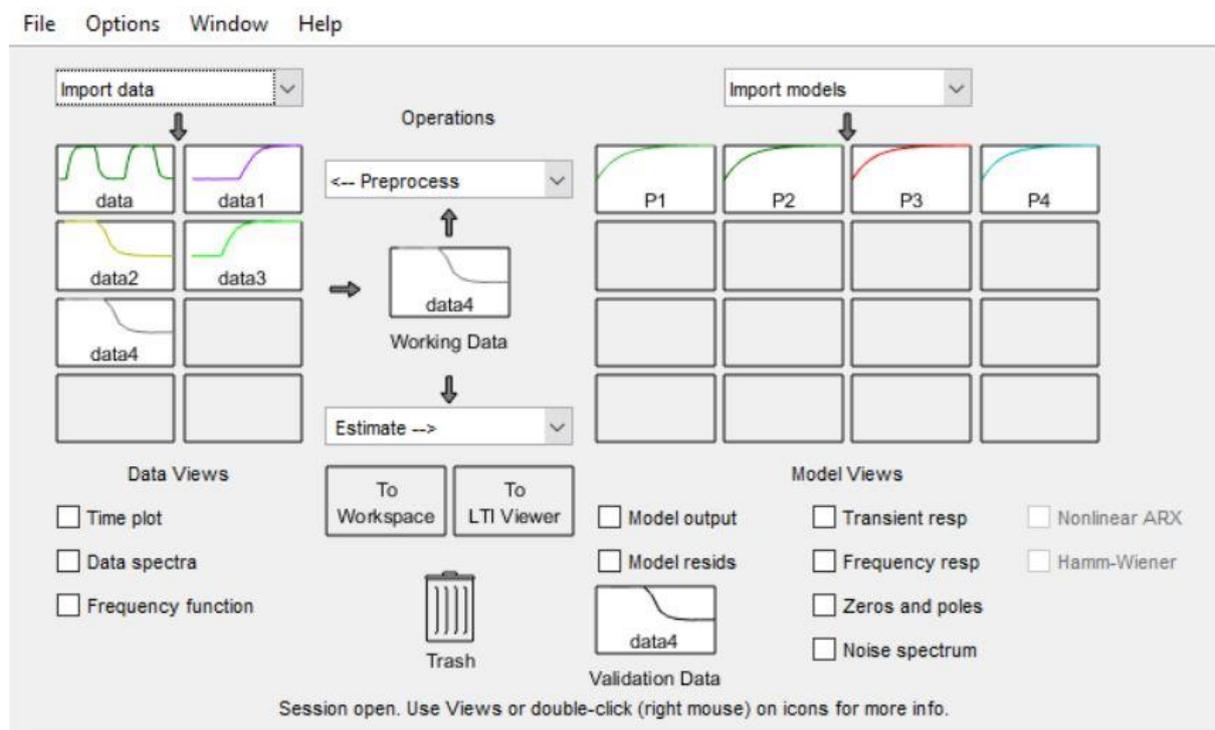


Figura 7: Obtención de modelos mediante ident

Ident estima un modelo del proceso y permite comparar la respuesta a un escalón respecto al real, dando un porcentaje de lo próximo que es a éste. También, si se han escogido varios escalones, ident permite sacar un modelo de cada uno de ellos para posteriormente comparar todos los modelos obtenidos con los datos utilizados, permitiendo así, escoger el modelo que más se aproxime y dé mejores resultados para los datos ensayados.

4.2.2.2.- Rltool

La herramienta Rltool permite, a partir de una función de transferencia, diseñar un PID pudiendo ver gráficamente el lugar de los polos. Así pues, Rltool permite añadir ciertas especificaciones de diseño como pueden ser el tiempo de establecimiento o la máxima oscilación. Se pueden añadir ceros, tanto reales como imaginarios, además de polos, integradores, reales o imaginarios y ver su influencia en el lugar de las raíces (lugar de los polos y ceros de una función de transferencia a medida que varía la ganancia). Mediante esta herramienta, la tarea de diseñar un PID se simplifica, ya que permite modificar el lugar de los polos variando su ganancia.

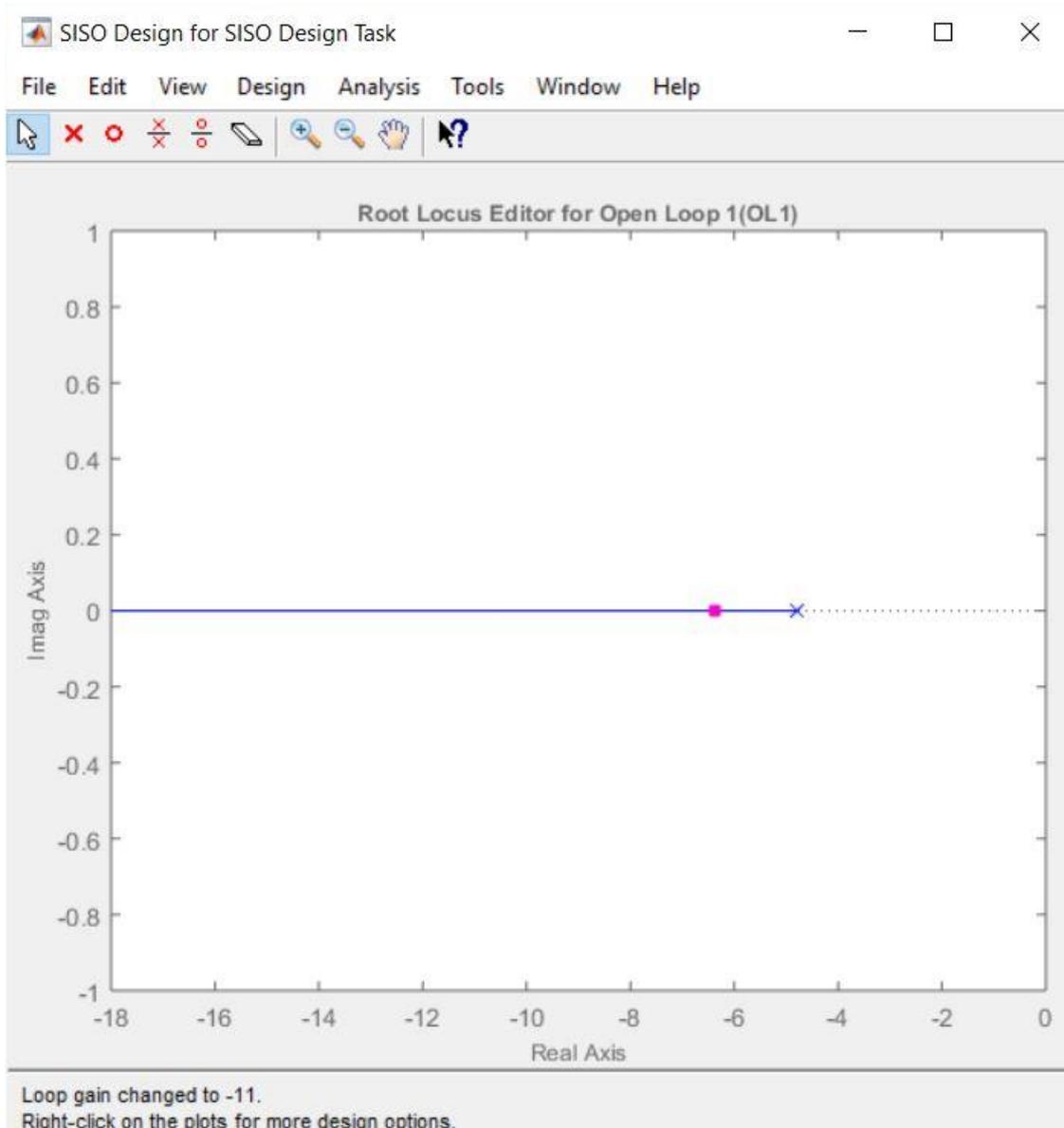


Figura 8: Lugar de las raíces en Rltool

5.- ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

Las especificaciones de diseño para la pinza de este proyecto son:

- La pinza debe ser imprimible en 3D, esto supone sin mecanismos complejos interiores o piezas realmente complicadas de colocar o imprimir, este hecho elimina las piezas demasiado pequeñas.
- La pinza debe ser ligera, por lo que su diseño electrónico deberá ser lo más simple posible. Además, debe tener al menos una parte plana con un ancho mínimo para que se pueda colocar el sensor de presión.
- El servomotor utilizado debe dar un buen par para que se puedan realizar correctamente los ensayos y sea capaz de apretar objetos con mayor resistencia a ser presionados.
- El Control PID debe ser lo más sencillo posible y debe conseguir un error de posición nulo, sin sobre oscilaciones. A parte, el tiempo de establecimiento será de 1 segundo.
- La interfaz de usuario de LabVIEW permitirá un switch de dos pantallas para un modo manual y otro automático, además de ofrecer la posibilidad de cambiar a una tercera y cuarta pantalla donde se permita ver información y configuración adicional en caso de que un técnico quiera supervisar el proceso.

6.- DESARROLLO DEL PROYECTO

6.1.- Desarrollo de la pinza

6.1.1.- Razón pinza escogida

El objetivo era encontrar pinzas que estuviesen subidas a plataformas de descargas de archivos 3D, como pueden ser Thingiverse o Grabcad, para tener que modificar únicamente la pieza donde se aloja el sensor de presión, por lo que se vieron varios modelos.

El primero, es el que corresponde al de la figura 9. Este modelo dispone de una zona plana donde se puede alojar el sensor de presión, y, aunque no fuera muy grande, se puede modificar para que éste cupiera.

Sin embargo, este modelo presentaba varios inconvenientes. El primero, era la forma de conecta el servomotor a los engranajes, ya que el modelo en 3D no disponía del hueco y crear uno el cual consiguiera alinear perfectamente el eje del servo con el eje del engranaje podría ser complicado. El otro inconveniente era que, con este mecanismo, las pinzas recorren un recorrido circular y no lineal, lo que podría ser un impedimento a la hora de presionar los objetos, ya que del movimiento podría dar errores de lectura.

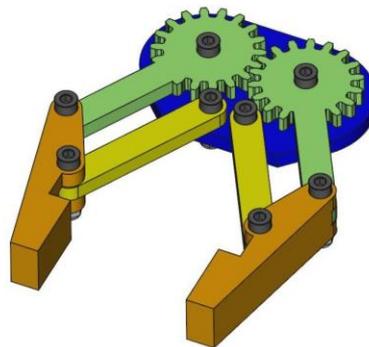


Figura 9: Modelo 1 de la pinza (iearobotics.com)

El segundo modelo corresponde al de la figura 10. Esta pinza destacaba por su robustez y por los 4 dedos que tiene. A pesar de esto, debido a las dimensiones de la pinza, esta podría resultar muy pesada además de demasiado grande para los objetos con los que se va a ensayar. A parte de esto, la conexión con el servomotor no era complicada ya que simplemente se cierra más o menos dependiendo de cuanto se gire el tornillo que se observa en la parte superior, aunque éste puede causar un gran rozamiento y que parte del par de fuerza del servomotor se desvíe en intentar vencer esa fuerza de rozamiento.

Esta pinza como ya se ha dicho tiene 4 dedos, lo que haría un poco impreciso un sistema con un sensor de presión, sin embargo, se podrían implementar dos sensores de presión de forma perpendicular, es decir, en dos dedos contiguos, para crear un mejor control de la presión sobre el objeto.

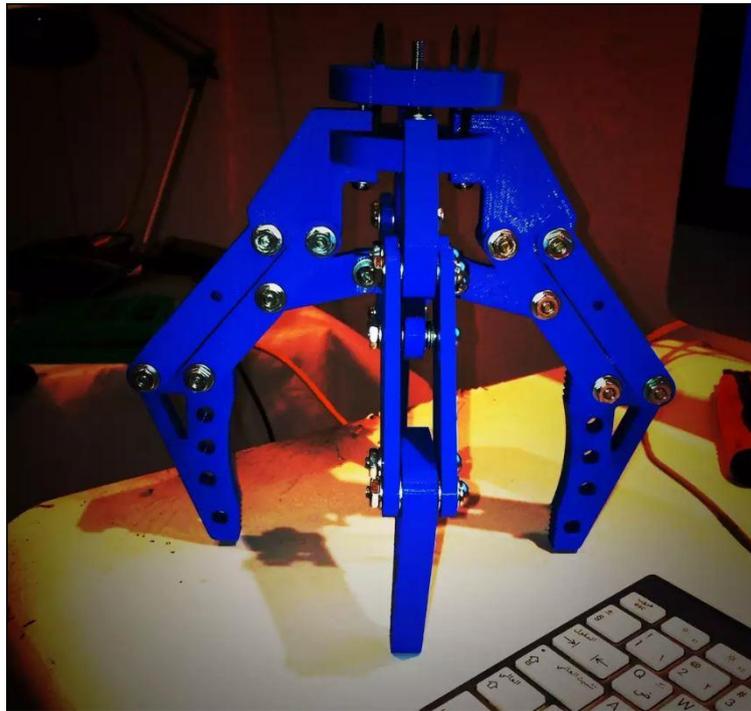


Figura 10: Modelo 2 de la pinza (thingiverse.com).

El tercer modelo es el de la figura 11. Este modelo era interesante ya que podía tener hasta 5 dedos, lo que haría una mejor sujeción de la pieza. No obstante, el contacto de esta pinza era puntual, cosa que no es interesante para el objetivo de este proyecto. Además, el recorrido es totalmente circular, lo que hace que si una pieza es grande, esta no se apoye correctamente en el sensor de presión y dé lecturas erróneas.



Figura 11: Modelo 3 de la pinza (grabcad.com)

El siguiente modelo es el de la figura 12. Este modelo se caracteriza por ser controlado por un guante con resistencias sensibles a la flexión colocadas en cada dedo. De esta forma, su comportamiento se asemejaba al de una mano humana. A pesar de esto, los dedos de esta pinza no consiguen llegar a tocar la palma de la mano, lo que para piezas pequeñas sería muy difícil hacer un seguimiento de la presión aplicada.



Figura 12: Modelo 4 de la pinza (instructables.com).

Así pues, finalmente se optó por el modelo de la figura 13. Este modelo tiene una superficie plana, adecuada para colocar el sensor de presión, su desplazamiento es una línea recta, lo que hace mucho más sencillo el control de presión. El único inconveniente de este modelo es que se basa en dos pinzas moviéndose por un carril, lo que hace que aparezca una fuerza de rozamiento que podría ser perjudicial para el proyecto, aun así, se le aplicará aceite lubricante para que se desplace mejor y que esta fuerza se reduzca ligeramente.

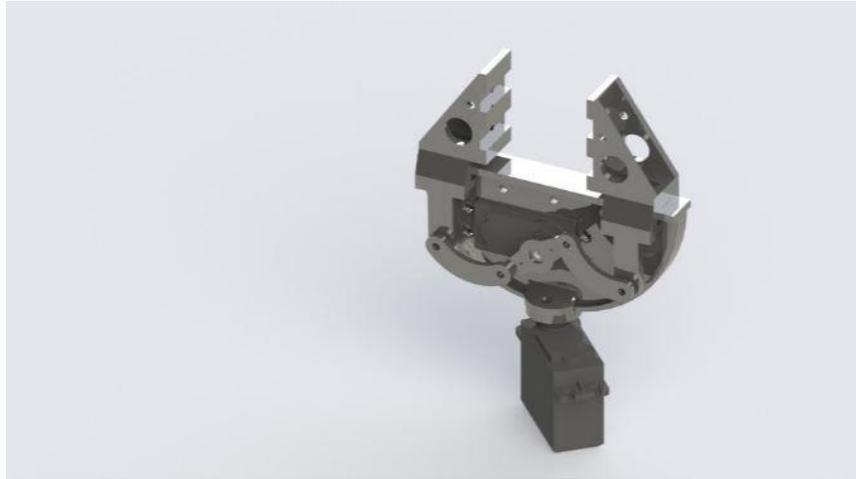


Figura 13: Modelo escogido de la pinza (grabcad.com).

6.1.2.- Modificaciones 3D

Una vez obtenida la pinza se ha procedido a realizar las modificaciones para incorporar los sensores previamente mencionados. Así pues, se ha optado por ensanchar la pinza hasta un total de 14 centímetros, con el fin de poder incorporar dos sensores infrarrojos, uno de inicio y otro de final de pieza.

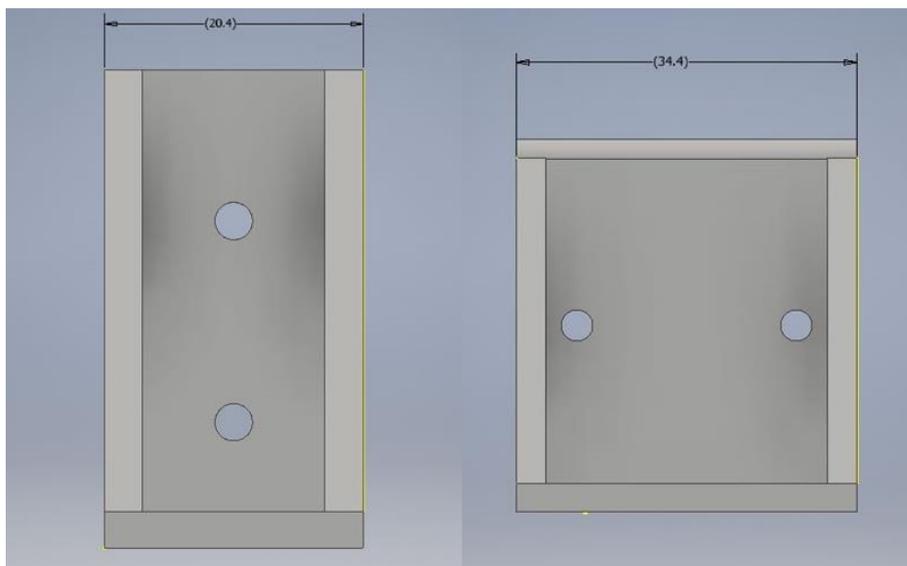


Figura 14: Modificación del ancho de la pinza.

Además, se ha aplanado la zona eliminando los escalones que incluía la pinza original y se han rellenado los dos agujeros que estaban en el centro de la pinza para aligerar. Una vez hecho esto, se ha creado una pequeña hendidura de 0.2 cm. con el fin de que el sensor de presión no sobresalga demasiado y quede de forma rasante con el resto de la superficie, el fabricante dice que el espesor esperado en el sensor de presión normalmente es de 0.41 cm., esto deja 0.2 de sensor que sobresalen respecto a la superficie restante, lo que permitirá lecturas adecuadas. Esta hendidura se ha creado con un ancho de 15.6 cm cuando el fabricante especifica que el ancho del sensor es de 15.2 ± 0.15 cm, esto se ha hecho para tener un margen de tolerancia ya que las impresoras 3D no suelen tener una precisión exacta debido a que el hilo de plástico fundido tiene un espesor el cual no se puede modificar, por lo que puede ser que sobrepase las medidas que se le han asignado.

Sensor Mechanical Data

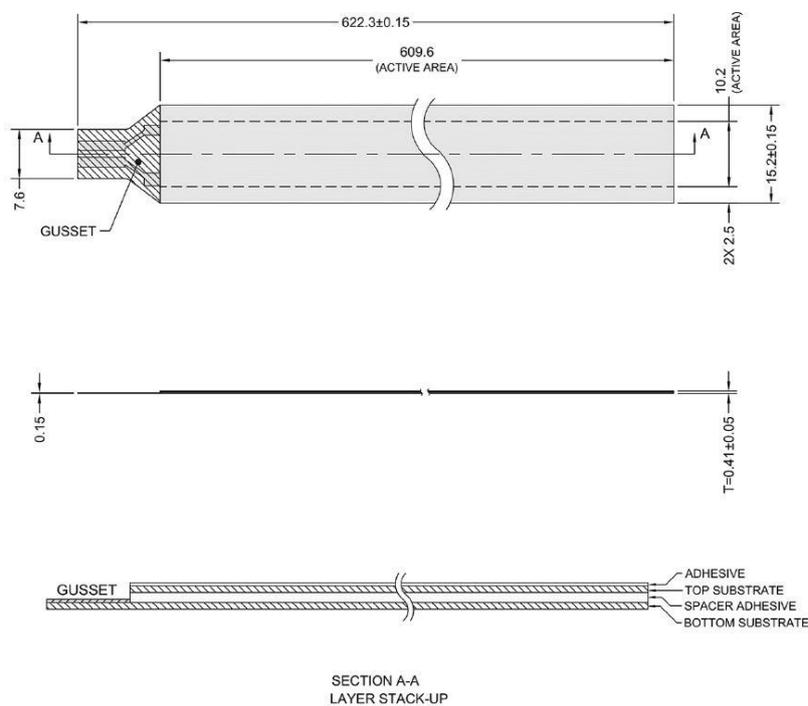


Figura 15: Especificaciones del sensor de presión (interlinkelectronics.com)

Se ha determinado que la mejor forma de pasar los cables que conectan al sensor de presión con el resto de la circuitería es por la parte superior, ya que la parte inferior conllevaba perforar parte del cuerpo de la pinza con el fin de pasar los cables sin que atascasen ni entorpeciesen el movimiento de la pinza. Por ello, se ha optado por colocar los cables por la parte de arriba y, para esto, se ha redondeado la esquina superior de la hendidura y la esquina de la parte trasera con el fin de no doblar en exceso los cables al pasarlos por la mencionada parte.

Para incluir los sensores, se ha consultado las medidas de estos en la hoja de especificaciones del fabricante y se ha observado que tanto el emisor led como el fototransistor tienen las mismas medidas.

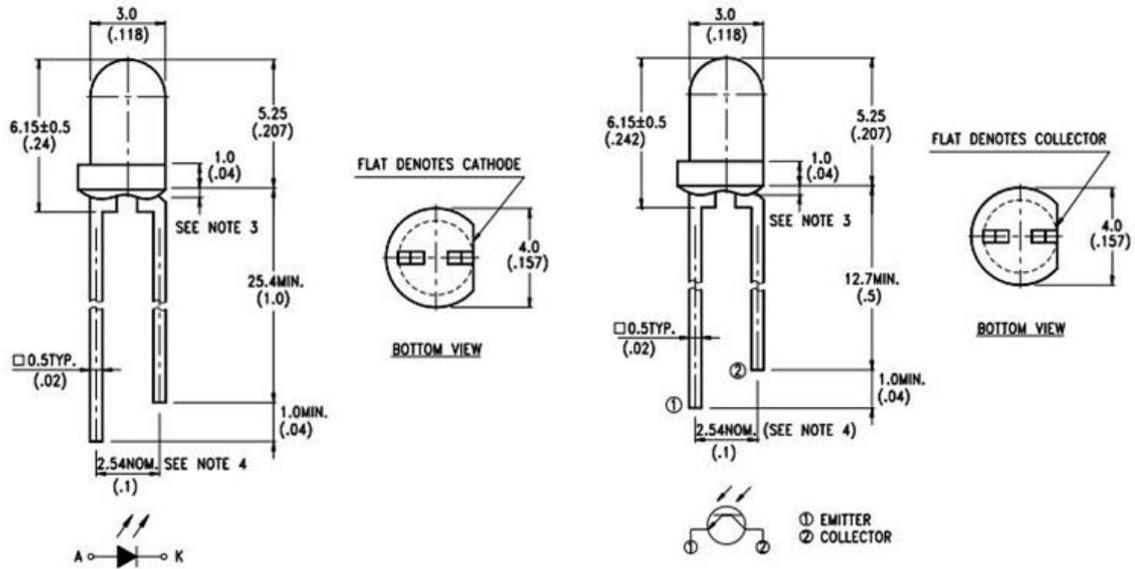


Figura 16: Especificaciones diodo emisor y fototransistor. (optoelectronics.liteon.com)

Según el fabricante el LED tiene un diámetro de 4 cm. en su parte más ancha y un diámetro de 3 cm. en su parte más estrecha. Por lo tanto, el objetivo es que se pueda introducir el LED y que la parte ancha sirva de tope, por esta razón se crea un agujero de 3.2 cm. de diámetro, dejando el margen de tolerancia previamente mencionado por el error de las impresoras 3D. Además, el objetivo es que cuando se introduzca el LED su parte superior quede rasante con la superficie. En la hoja de especificaciones del fabricante se observa que la longitud del LED es de 4.25 cm, por lo que se ajusta el ancho de la pinza a esta longitud.

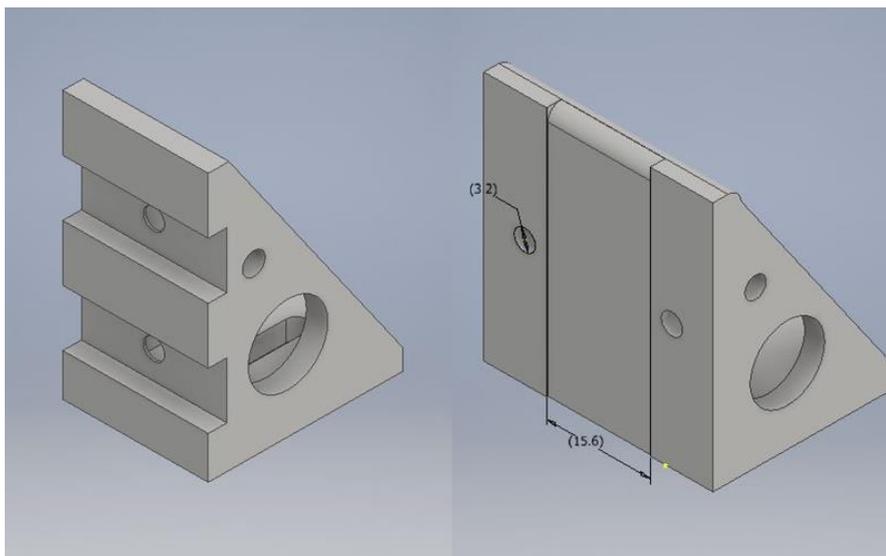


Figura 17: Cambios realizados en la pinza con sensor.

Sin embargo, en el otro lado de la pinza, al no requerir el acoplamiento de un sensor de presión no se crea la hendidura ni tampoco se redondea la parte superior, dejando sólo la amplificación del espesor y de la anchura de la pinza, para colocar los sensores infrarrojos.

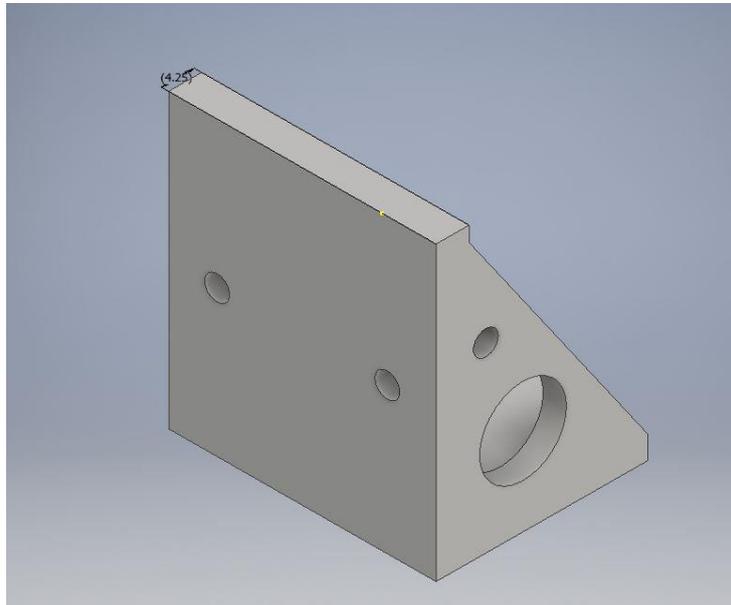


Figura 18: Modificaciones pinza sin sensor

6.2.-Desarrollo de la electrónica

6.2.1.- Elección de la electrónica

En este punto se explicará la razón de la electrónica escogida en este proyecto.

Respecto al sensor de presión, el fabricante da varios modelos de sensores que podrían ser útiles. Dispone de varios modelos con superficie circular, desde 7.6 mm de diámetro hasta 18.29 mm de diámetro, un modelo de superficie cuadrada con 44 mm aproximadamente de lado y un modelo de superficie rectangular el cual tiene hasta una longitud de 609.6 mm y 15.2 mm de ancho.

Las dimensiones del sensor de presión cuadrado son superiores a la superficie de la pinza por lo que podría ser un problema intentar adaptar la pinza a estas dimensiones. Los sensores de presión circulares requieren un contacto puntual, lo que crea un problema a la hora de colocar piezas ya que requeriría colocar la pieza perfectamente para que pudiera leer correctamente la presión.

Respecto al sensor de presión rectangular, su exceso de longitud es un problema para el proyecto actual, ya que se desea una longitud más corta que se acople con la altura de la pinza. Sin embargo, el fabricante comenta que este sensor se puede recortar a la longitud deseada manteniendo su funcionamiento normal.

Respecto a los sensores infrarrojos, en un comienzo, se busca primero el LED emisor, el cual tiene una gran variedad de fabricantes en el mercado. De todos estos emisores, se busca uno que disponga de emisión infrarroja y que sea un LED, ya que en el mercado se ofrecen emisores infrarrojos con formas cúbicas o rectangulares. Una vez visto esto se busca un LED que tenga un ángulo de visión lo más pequeño posible, haciendo de esta forma que la luz infrarroja se concentre para ir directo al fototransistor, el cual tiene la misma longitud de onda que el LED emisor, maximizando así la lectura obtenida. Además, el fototransistor también tiene un campo de visión reducido para de esta forma eliminar la posible luz infrarroja que pueda recibir de otros dispositivos o fuentes de luz.

Los factores para elegir el servo han sido varios. En un principio, interesa que el servomotor sea lo más barato posible, para no encarecer el proyecto, ya que en el mercado los precios de los servos varían desde los 5 \$ hasta los 300\$. Sin embargo se necesita que este motor ofrezca un buen par de fuerza, para que pueda conseguir que la pinza presione con suficiente fuerza con el fin de realizar diferentes ensayos. En adición a todo esto, interesa que el servomotor funcione con una tensión de alimentación de 5V ya que esta es la tensión con la que trabaja la tarjeta controladora que será mencionada más tarde. Así pues, primero se compró un "Power HD Standard Servo 6001HB" el cual ofrece un par de 6.7 kg-cm, no obstante, cuando se experimentó con él, no dio los resultados que se esperaban ya que al parecer su par era muy pequeño. Por consiguiente, se compró un "Power HD High-Torque Servo 1501MG" el cual ofrecía un par casi tres veces superior (17 kg-cm), consiguiendo un buen funcionamiento de la pinza



Figura 19: Servomotor escogido (valuehobby.com)

Por último el controlador del servo se ha escogido uno del fabricante del propio servo. Para concretar más, se ha escogido el más pequeño, que puede controlar hasta 6 servos, de los cuales se utilizarán 4, ya que se puede utilizar también como entradas, que se aprovechará para conectar los sensores. La placa escogida es la "Micro Maestro 6-Channel USB Servo Controller".

La placa se constituye como en la figura 20, en la cual hay que destacar que cada canal dispone de tres pines, uno de "signal" que será en el caso de una salida el que emita la señal para que el servo modifique su posición, y en caso de una entrada será adónde tiene que llegar el voltaje de salida. Este pin permite leer valores entre 0 y 5 V de forma digital enviando un valor de 0 a 1023. El pin central es aquel que suministra la tensión de alimentación al canal en cuestión y el pin derecho es la masa. La placa se conecta al ordenador mediante un cable USB mini, el cual es fácil de encontrar en el uso diario, por lo que hace la conexión más sencilla.

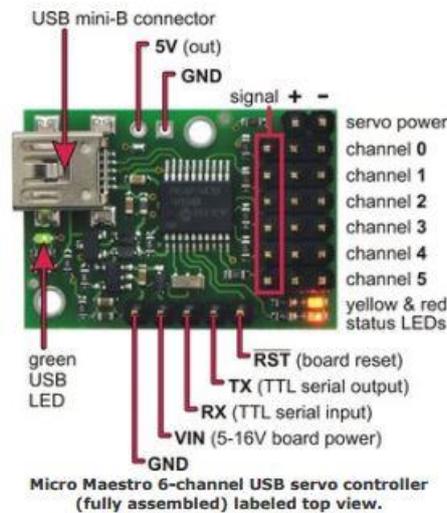


Figura 20: Controlador del servo escogido (polulu.com)

Así pues el fabricante incluye con la tarjeta, un ejecutable que añade los drivers para la placa y un software propio que permite modificar el valor de la posición de un servo, como su velocidad o aceleración. Además se pueden configurar estos canales como entradas y se puede ver una lectura de la entrada como un valor de 0 a 255, el cual representa una lectura de 0 a 5V.

6.2.2.- Construcción de la placa electrónica

Una vez elegidos los componentes se prosigue con la construcción de la placa electrónica, lo que hará una simplificación del montaje electrónico. Así pues, se deben realizar tres montajes electrónicos los cuales se le corresponden uno al sensor de presión, y otros dos a los sensores infrarrojos. Estos se harán en una placa experimental perforada, como la de la figura, y se soldarán con un soldador e hilo de estaño, por una parte se colocarán los cables y conexiones y por el otro lado se colocarán los componentes.

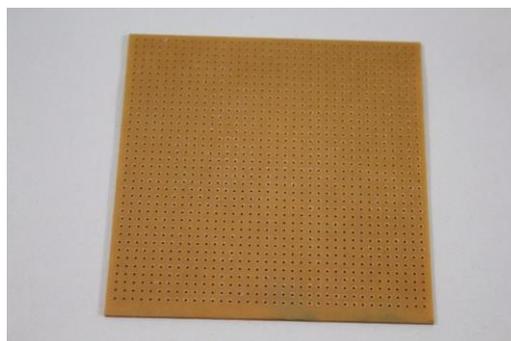


Figura 21: Placa experimental (mercadolibre.com)

De esta forma, la placa queda como en la figura 22, donde se ha aprovechado un conector 3x3 de pines (parte superior de la placa) para realizar una mejor conexión entre la placa y el controlador del servo, la cual se realiza con cables de pines hembra-hembra. También se ha dejado una fila de pines hembra para poder conectar los sensores a ella, en este caso, el sensor de presión se conecta en la parte inferior. Los componentes del sensor infrarrojo se conectan en los cuatro pines superiores de la placa, quedando arriba el fototransistor y abajo el LED emisor, la orientación de la parte plana de estos, tal y como está distribuida la placa, debe ser mirando hacia la parte inferior.

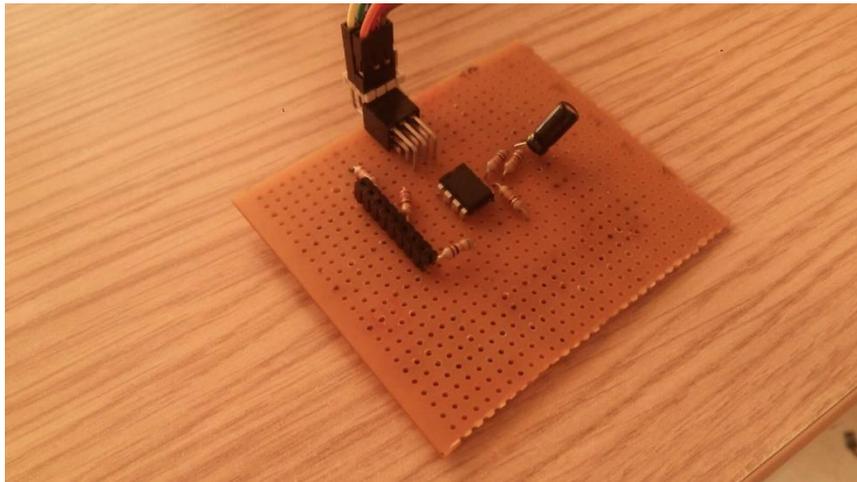


Figura 22: Vista superior de la placa

En la figura 23 se puede ver las conexiones entre los componentes (para más información acuda al esquema electrónico). Estas se han realizado mediante cables de cobre, si la conexión era de moderada longitud y pasaba por encima de otros cables, se dejaba el plástico aislante con el fin de evitar posibles cortocircuitos, si la longitud era pequeña entre dos conexiones, se utilizaba el cable sin aislante.

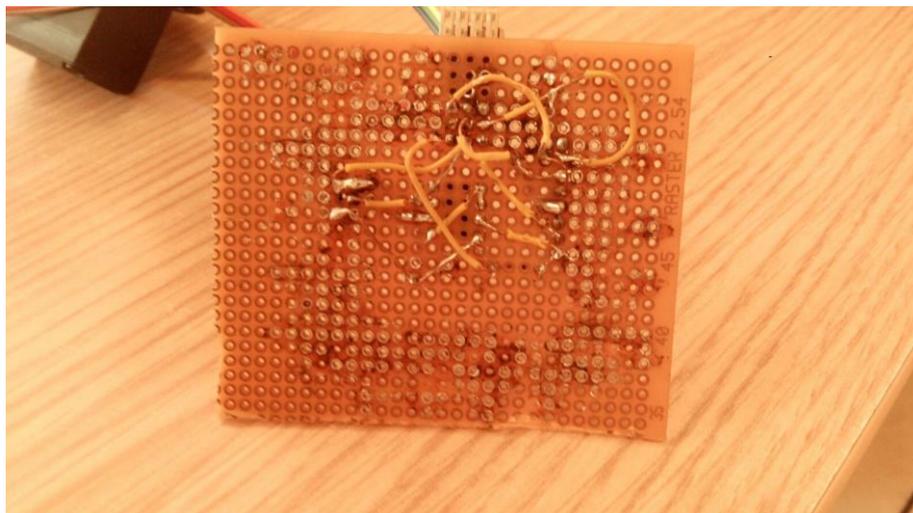


Figura 23: Vista inferior de la placa

6.3.- Desarrollo Controlador PID

6.3.1.- Modelo obtenido

Para obtener el modelo del proceso primero se desarrolló con el software creado en LabVIEW varios escalones, de la misma amplitud y con una determinada frecuencia. Esto se creó con una onda cuadrada conectada a la salida de voltaje del servo, por lo que este abría o cerraba según la señal de la onda cuadrada. Se obtiene la respuesta de la figura donde se puede observar, que cada vez que el escalón disminuye o aumenta, aparece un pico en sentido contrario, esto es un error de lectura del sensor. Así pues, se escogen dos escalones que puedan ser lo más fieles al proceso posible, por lo que se eligen los dos marcados en rojo, los cuales, el primero de ellos, no contiene ningún pico, mientras que el segundo, sólo contiene un pico cuando hace la bajada.

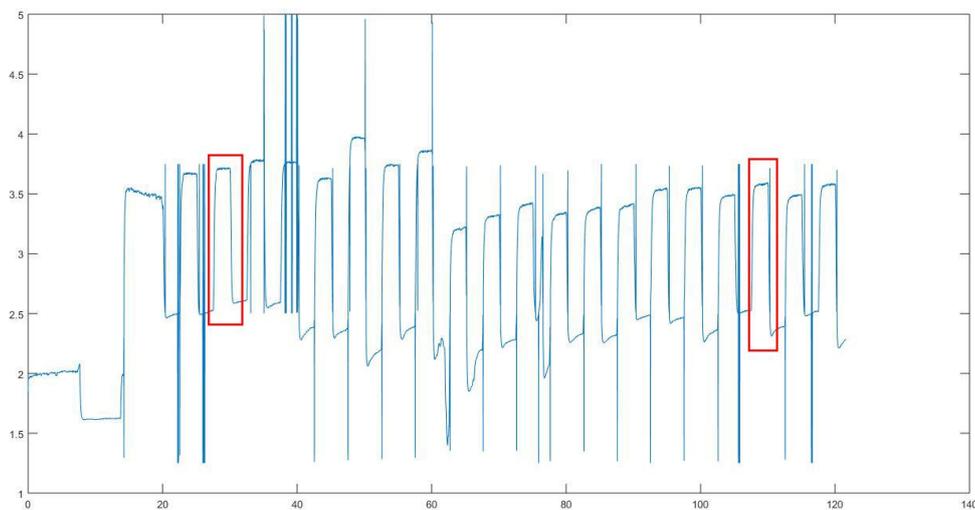


Figura 24: Señal recogida y escalones seleccionados

Esto se soluciona detectando en qué momento se crea el pico, para después, eliminar este y reemplazarlo por un valor el cual será la media entre el valor anterior y el valor siguiente en el tiempo. También se puede crear una función que detecte cuando hay un cambio brusco en el valor la salida, y cuando uno sea detectado que sea eliminado, no obstante el inconveniente de esta función es que el pico se realiza con cambios bruscos parecidos a los escalones, lo que la función no consigue diferenciar entre escalones o picos de error de lectura. Para este caso, como sólo es un pico se hace cambiando a mano el valor en el fichero de datos, dejando el escalón como en la figura 25.

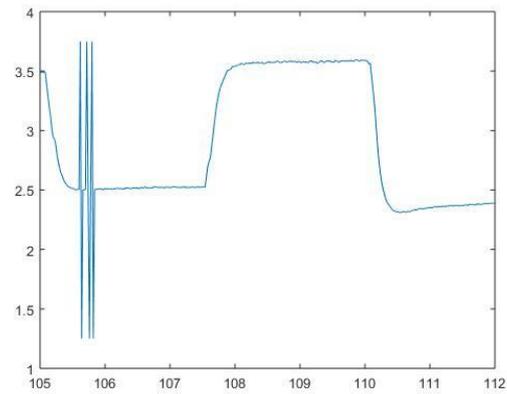


Figura 25: Señal filtrada

Una vez hecho esto, se procede a introducir los datos en Ident. En los cuales mediante la herramienta de “Select Range” se seleccionarán 4 rangos, dos correspondientes a la subida y dos correspondientes a la bajada. Una vez hecho esto, se llevarán estos datos al workspace de Matlab con el fin de eliminar el punto de funcionamiento, esto se consigue con las dos siguientes operaciones

$$\begin{aligned} \text{datos.u} &= \text{datos.u} - \text{datos.u}(1); \\ \text{datos.y} &= \text{datos.y} - \text{mean}(\text{datos.y}(1:5)); \end{aligned}$$

Se hace de esta forma ya que se exporta como un archivo tipo data, con el que se refiere a la salida como “y” y a la entrada como “u”.

Con esto realizado se importan de nuevo los datos con el punto de funcionamiento eliminado y se calculan cuatro modelos del proceso con las cuatro muestras. Se selecciona un modelo sin retraso y con un polo simple, para simplificar al máximo el PID. Una vez hallados los 4 modelos, se escoge uno de los datos y se hace una comparación para ver cuál de los 4 modelos se adapta mejor a los datos. Por tanto, se tienen los siguientes resultados:

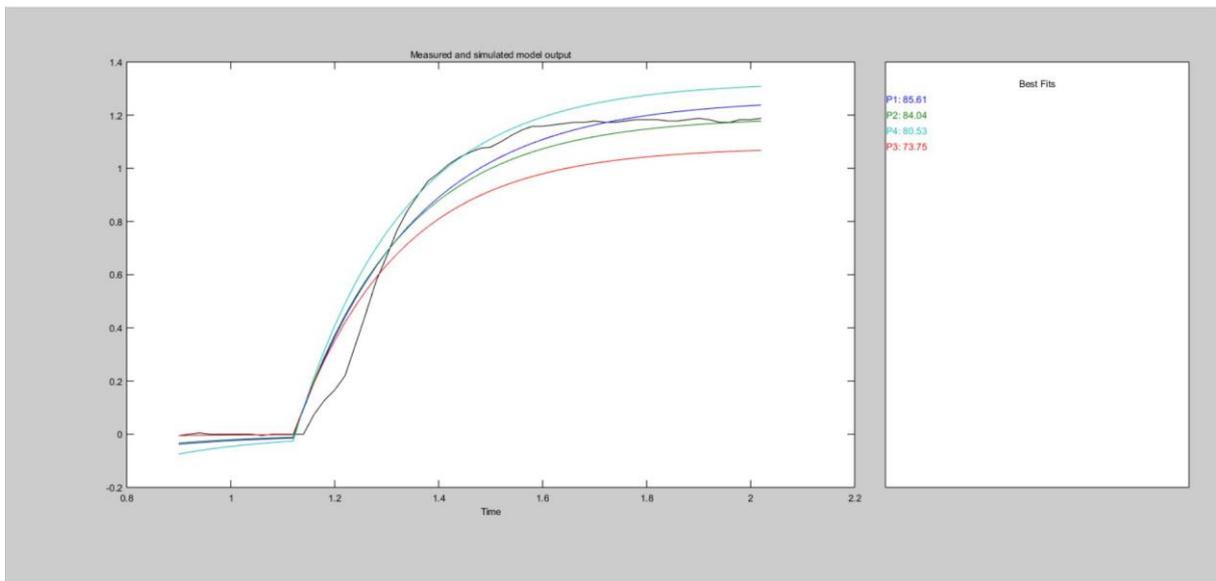


Figura 26: Resultados de los cuatro modelos para el rango de datos 1

Desarrollo de una pinza robótica con control de presión mediante LabVIEW

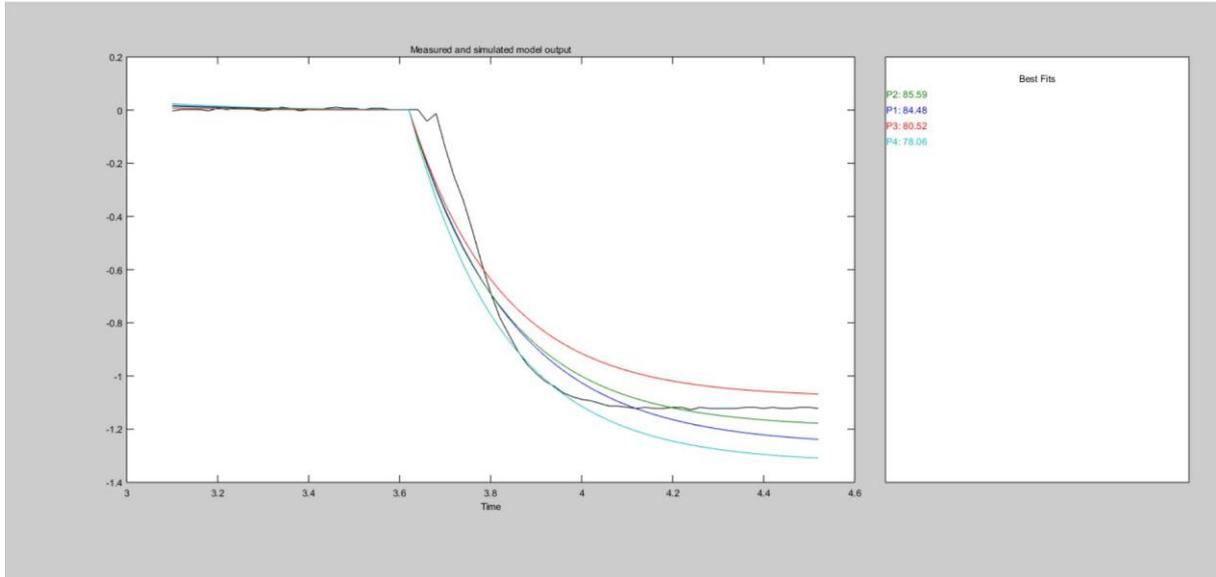


Figura 27: Resultados de los cuatro modelos para el rango de datos 2

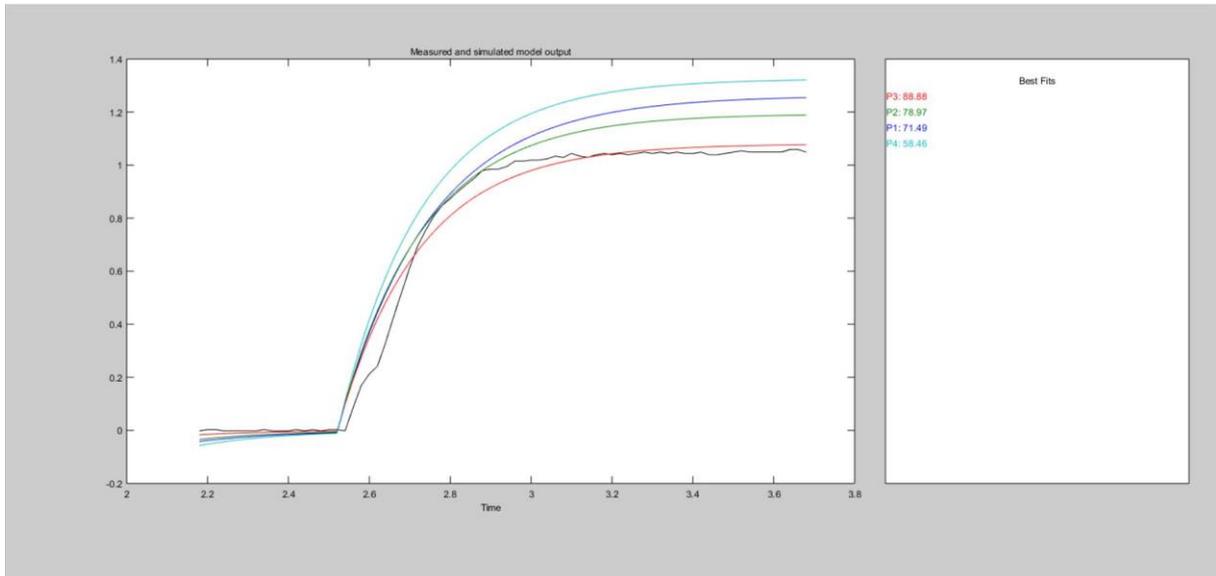


Figura 28: Resultados de los cuatro modelos para el rango de datos 3

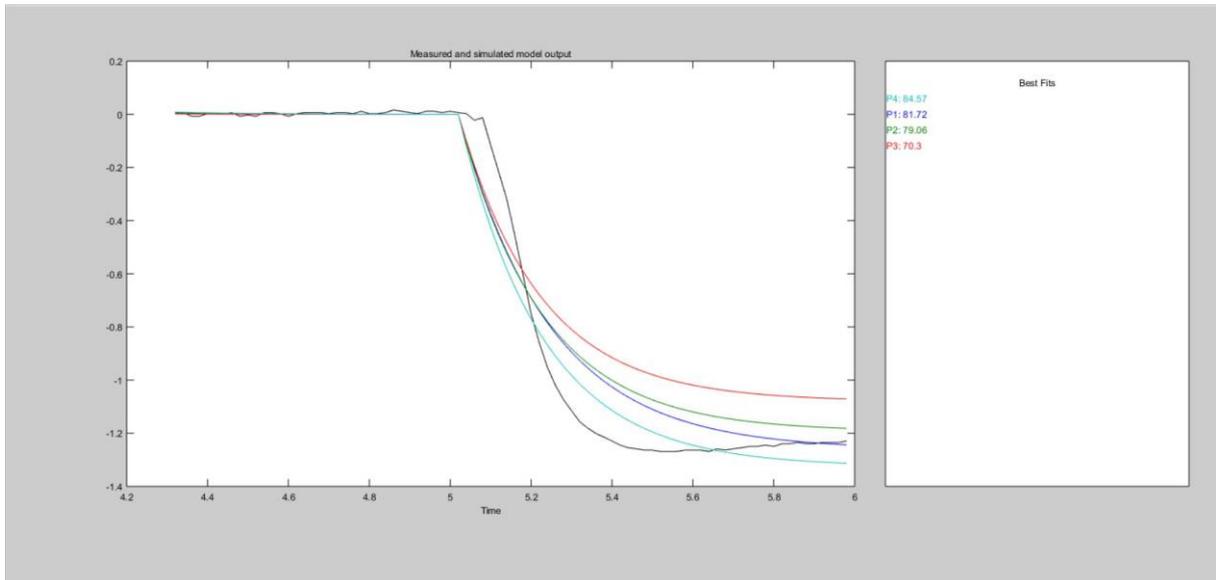


Figura 29: Resultados de los cuatro modelos para el rango de datos 4

Como se puede observar la línea negra sería la curva del proceso real y los demás colores son los diferentes modelos. Haciendo una valoración de la media de porcentaje de aproximación al proceso real, se obtiene que el modelo P2 es el que mejor se adapta con un 81.95% de aproximación. Así pues, a partir de ahora se tomara como función de transferencia del proceso:

$$G = \frac{-0.029837}{1 + 0.20819 \cdot s}$$

Fórmula 3: Función de transferencia del proceso.

6.3.2.- PID escogido

Utilizando la herramienta Rltool de Matlab se puede observar el lugar de las raíces y como cambia este según el PID que se le coloque. Así pues, como se quiere error de posición nulo, se coloca un integrador. Además, se coloca la condición de que el tiempo de establecimiento sea menor a 1 segundo. Además se coloca un cero real, creando de esta forma una elipse, por lo que se ajustará el cero hasta que el corte de esta elipse con el eje de abscisas esté justo en el punto donde cumpla justo la condición del tiempo de establecimiento, quedando de la manera representada en la figura 30

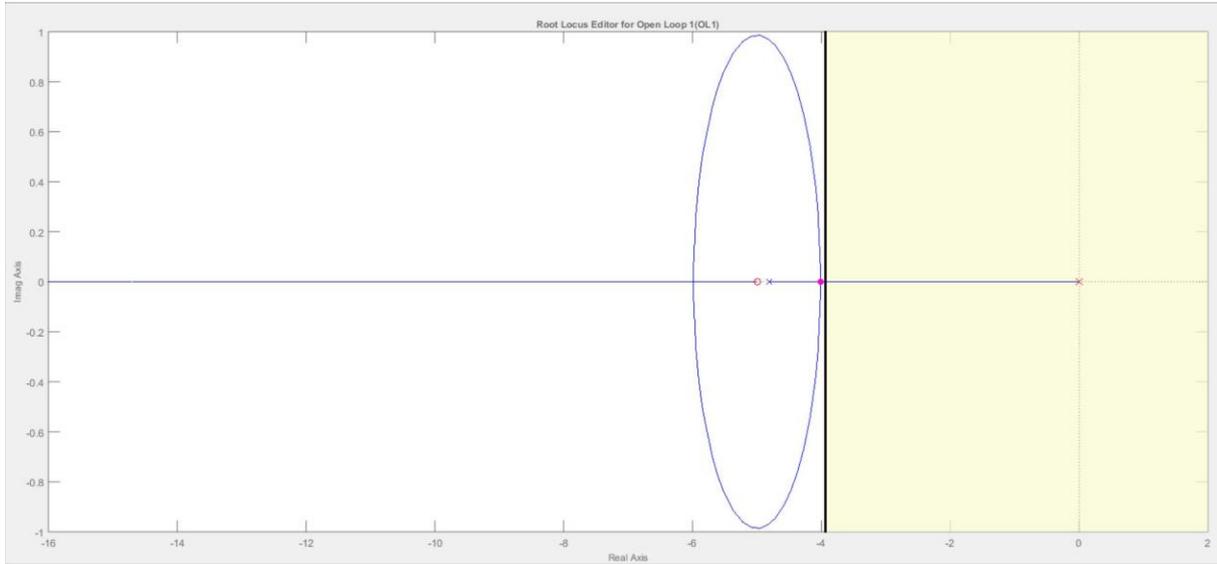


Figura 30: Lugar de las raíces con el PID aplicado.

De esta forma, el PID obtenido es :

$$PI = -112.29 \cdot \frac{(1 + 0.2 \cdot s)}{s} = -22.458 \cdot \left(\frac{1}{0.2 \cdot s} + 1\right)$$

Fórmula 4: PI obtenido.

Siendo $T_i=0.2$ y $K=-22.458$.

7.- RESULTADOS OBTENIDOS

El controlador PI funciona correctamente cuando se coloca el material con el que se ha ensayado. Sin embargo, se vuelve un poco inestable cuando se ensaya con otros materiales, como esponjas más duras. Sin embargo, esto es sólo un problema de la constante proporcional, ya que el PI responde bien ante un escalón, pero el valor varía entre valores muy grandes, por lo que reduciendo el valor de la constante proporcional se consigue reducir la variación de estos valores. Lo mismo pasa con esponjas más blandas, se necesita aumentar la constante proporcional, ya que ésta no es lo suficiente grande para alcanzar el punto de funcionamiento deseado y queda con un pequeño error de posición.

8.- CONCLUSIONES

Se ha podido ver como resultado un PI que se adapta perfectamente a las especificaciones de diseño, teniendo un tiempo de establecimiento menor al solicitado y con un error prácticamente nulo. Aún así, es complicado hacer un seguimiento perfecto de la presión, ya que esta depende del tipo de material que se esté presionando. Así pues, esta pinza podría servir para un material en concreto, pero si se quisiera para diferentes materiales, se debería cambiar constantemente la constante proporcional del PI según el tipo de material que pusiera. Además, el sensor de presión ofrece muy buenas lecturas cuando el material es del ancho de éste, esto puede ser debido a la hendidura que se creó en la pinza. A la misma vez, el sensor infrarrojo es apto para piezas de tamaño mínimo la distancia que hay entre los agujeros de los sensores, por lo que para piezas menores el sensor infrarrojo no detectará pieza.

Además, a pesar de poner aceite lubricante, la fuerza de rozamiento que ofrece la pinza es demasiado grande para pequeños desplazamientos que son los fundamentales en el control de presión, ya que la variable manipulada va variando entre un rango de valores pequeño. Esto se debe a la fuerza de rozamiento estática, ya que al deslizarse plástico sobre plástico, aparece una gran fuerza que se opone al comienzo de movimiento.

En cuanto a las características físicas solicitadas, éstas se cumplen dejando una pinza robótica compacta, ligera, con un presupuesto de bajo coste capaz de realizar un control de presión sin fallo alguno. Este ahorro económico es debido mayoritariamente al aprovechamiento de la placa controladora del servo para conectar las entradas como las salidas.

Respecto al software, este proporciona varias formas de trabajar con la pinza con lo que hace muy fácil la interacción con esta. Así pues, el usuario puede crear ensayos para nuevos materiales, puede activar el PID incorporado y, en caso de ser un técnico, puede ver más información con el fin de detectar errores.

9.- FUTURAS MEJORAS

Uno de los principales problemas es la fuerza de rozamiento, ésta se podría reducir drásticamente con la introducción de rodamientos, los cuales reducirían a prácticamente 0 la fuerza de rozamiento. Esto, simplemente sería creando huecos semiesféricos en la parte interior de la pieza deslizante, sobre la cual está colocada la pinza.

Conforme el actual diseño de la pinza, los cables del sensor de presión y de los sensores infrarrojos no están fijados, por lo que se podría crear una ranura con la que se pueda hacer pasar los cables y engancharlos, por la parte trasera de la pinza.

10.- BIBLIOGRAFÍA

1. Vizcaíno, J. R. L., & Sebastián, J. P. (2011). LabView: entorno gráfico de programación. Marcombo.
2. Moore, H. M. (2007). *MATLAB para ingenieros*. Pearson,.
3. Mazzone, V. (2002). Herramientas de MATLAB.
4. Vargas, M., & Berenguel, M. (2004). Introducción a Matlab y su aplicación al Análisis y Control de Sistemas.
5. Ierrobotics.com.
http://www.ierobotics.com/wiki/index.php?title=Freecad: Pinza_mecanica
6. Thingiverse.com. <http://www.thingiverse.com/thing:236777>
7. Grabcad.com.
https://grabcad.com/library/robotic-gripper-for-3d-printing-1/details?folder_id=883869
<https://grabcad.com/library/gripper-negro-con-servomotores-1>
8. Optoelectronics.liteon.com
<http://optoelectronics.liteon.com/en-global/Led/LED-Component/Detail/410/0/LTE-4206>
<http://optoelectronics.liteon.com/en-global/Led/LED-Component/Detail/414/0/LTR-4206E>
9. Interlinkelectronics.com.
<http://www.interlinkelectronics.com/FSR408.php>
http://www.interlinkelectronics.com/datasheets/Datasheet_FSR.pdf
10. wikipedia.org



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DESARROLLO DE UNA PINZA ROBÓTICA CON CONTROL DE PRESIÓN IMPLEMENTADO MEDIANTE LABVIEW

DOCUMENTO Nº2: ANEXO DE PROGRAMACIÓN

AUTOR: AUSIAS VILA CASTELLÁ

TUTOR: JUAN MANUEL HERRERO DURÁ

COTUTOR: RAÚL SIMARRO FERNÁNDEZ

Curso Académico: 2015-16

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.- Funciones creadas.....	1
1.1.- CTO	1
1.2.- CTO input.....	2
1.3.- Transform.....	2
1.4. Función PID.....	4
2.- Lectura/Escritura de datos.....	6
3.- Sistema de seguridad.....	7
4.- Bucle general.....	7
5.- Tabs.....	9

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Símbolo de la función CTO.....	1
Figura 2: Diagrama de bloques de CTO.....	1
Figura 3: Símbolo CTO input.....	2
Figura 4: Diagrama de bloques CTO input.....	2
Figura 5: Símbolo transform.....	2
Figura 6: Curvas de tensión de salida frente a presión según la resistencia colocada.....	3
Figura 7: Curvas y sus respectivas ecuaciones halladas.....	3
Figura 8: Diagrama de bloques de la función transform.....	4
Figura 9: Símbolo de la función PID.....	4
Figura 10: Diagrama de bloques de la función PID.....	5
Figura 11: Inicialización del VISA.....	6
Figura 12: Escritura de datos en el VISA.....	6
Figura 13: Lectura de datos en el VISA.....	7
Figura 14: Bucle de escritura de datos cuando hay un cambio en velocidad/aceleración.....	7
Figura 15: Bucle modo manual.....	8
Figura 16: Bucle modo automático.....	8
Figura 17: Bucle de Log-in.....	9
Figura 18: Muestra de usuario activo.....	9
Figura 19: Bucle de Log-out.....	9
Figura 20: Funcionamiento de cambio de páginas.....	10

1.- Funciones creadas

Estas funciones han sido creadas con el objetivo de simplificar al máximo el VI, ya que hay algunas operaciones repetitivas en el proceso de lectura o escritura de datos en la tarjeta Polulu.

1.1 CTO

El fabricante ofrece tres formas de programar y transmitir datos a los canales existentes, las cuales son el protocolo compacto, el protocolo Polulu o el protocolo minissc. Se prueban las tres opciones y se comprueba que la primera es la más sencilla y la que mejor respuesta da. Así pues, el fabricante nos avisa que para escribir la posición, la velocidad o la aceleración, se deberá enviar una cadena de datos de la forma: X, número de canal, bits menores del valor objetivo, bits mayores del valor objetivo.

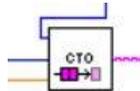


Figura 1: Símbolo de la función CTO

X, es un número en hexadecimal que varía según se quiera transmitir la posición (x84), la velocidad (x87) o la aceleración (x89). El número de canal es el canal donde va a enviar la información, en este proyecto como se tienen 6 canales, estos van numerados del 0 al 5. A continuación va la apertura de la pinza, dato de la cual se transmite en los microsegundos que está la señal en alto del PWM que activa el servomotor. Por consiguiente, el dato que se puede manejar está en cuartos de milisegundo, por lo que se debe multiplicar por cuatro al pasar el dato.

El fabricante especifica que primero se deben enviar los bits menores, por lo que se crea una máscara de siete unos (x7F) y se crea un "and", y para los bits mayores, se desplazan los bits hacia la derecha 7 posiciones, dejando en este momento los bits mayores en las menores posiciones.

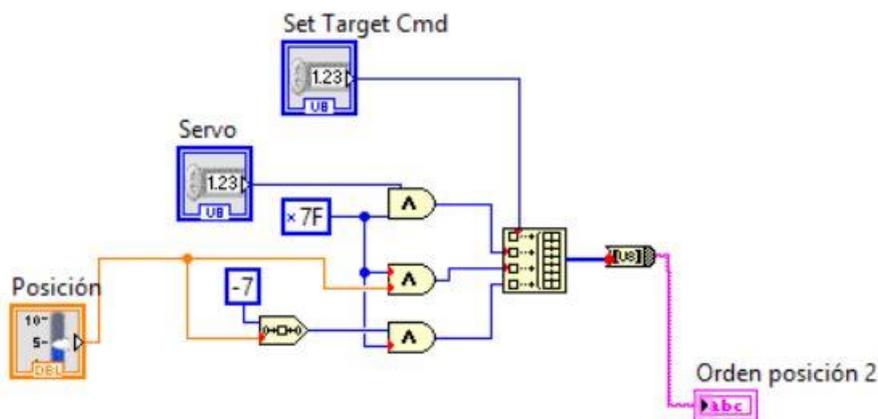


Figura 2: Diagrama de bloques de CTO

Ese mismo funcionamiento es lo que realiza la función CTO, creando al final una cadena de caracteres que se enviará al VISA.

1.2. CTO input

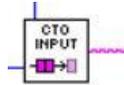


Figura 3: Símbolo CTO input

De la misma forma que para transmitir datos, la tarjeta Polulu también sirve para recibir datos, por lo que, al igual que para la posición, velocidad y aceleración, para recibir información también se debe enviar una cadena de caracteres a la tarjeta para acometer la operación. Sin embargo, al ser una orden de lectura, no se le transmite un valor objetivo, por lo que la cadena de caracteres, según el fabricante, debe ser de la forma: 0x90, número de canal.

Por lo tanto al no tener que enviar ningún valor se puede suprimir toda la parte que separaba los bits mayores de los menores en el CTO.

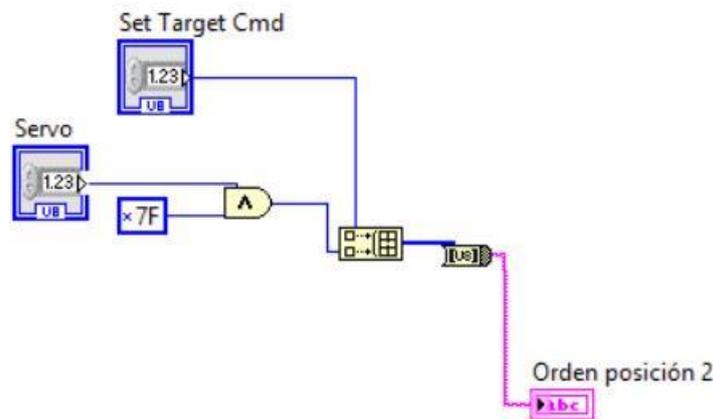


Figura 4: Diagrama de bloques CTO input.

1.3 Transform.

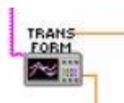


Figura 5: Símbolo transform.

Cuando se lee un valor del sensor de presión, este se lee entre 0 y 5V, no obstante, lo que interesa es saber este valor cuál es en fuerza G. El fabricante nos proporciona la curva de la figura 6, por lo que se deberá hallar la ecuación que defina esta curva.

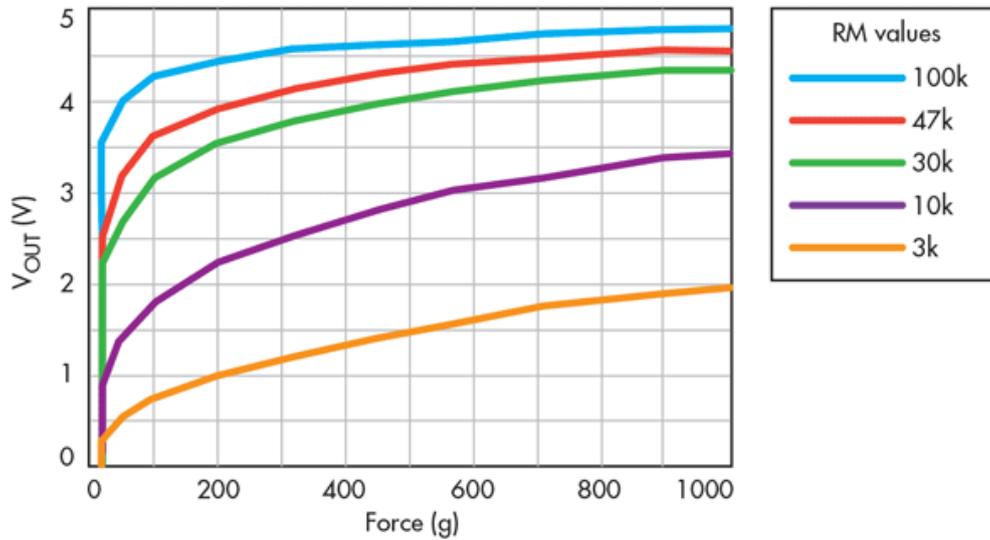


Figura 6: Curvas de tensión de salida frente a presión según la resistencia colocada.

Así pues, la curva utilizada en este proyecto es la que corresponde a la curva morada, ya que en este proyecto se ha utilizado una resistencia de 10KΩ. Se calcula aproximadamente varios puntos hasta poder definir la curva en Excel.

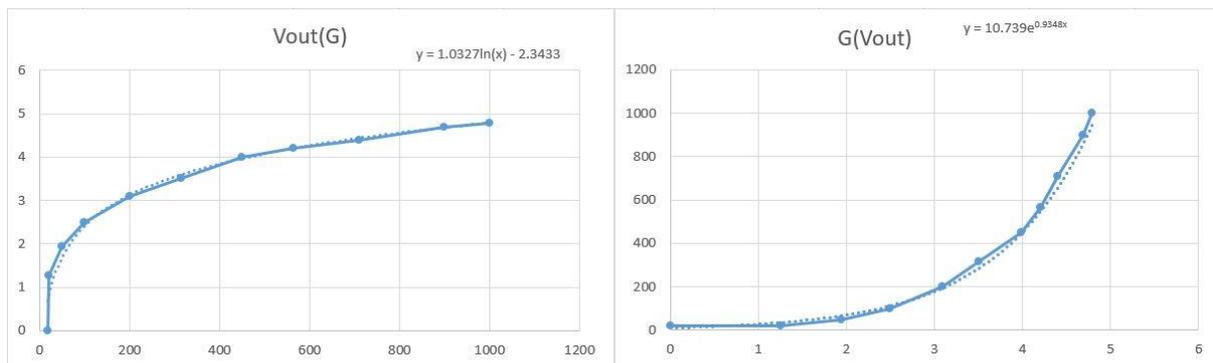


Figura 7: Curvas y sus respectivas ecuaciones halladas.

De esta forma, Excel puede calcular una ecuación que defina a la curva, tan solo se debe seleccionar que sea de tipo logarítmica para la figura de la izquierda y de tipo exponencial para la figura de la derecha. Se puede observar que en este caso las tensiones llegan hasta 5 V cuando en la gráfica dada por el fabricante llegaba a 3.5V, esto se debe a que experimentalmente el sensor registraba hasta 5V, cuando, según el fabricante, esto no debería ser así ya que sólo llega a 3.5 V, así pues, todos los puntos tomados han sido multiplicados por un factor (1.44) que aproximara el último punto a 5V.

Por lo tanto, una vez sabida la ecuación que define la curva, lo único que hay que hacer es recoger el dato leído, transformarlo a un número decimal que, según el fabricante estará ente 0 y 1023, transformar este número en voltios mediante la recta que relaciona el número obtenido con los voltios y luego transformar ésta en fuerza G.

Esto es lo que realiza la función “transform”, además se resta 10.739 para que en V=0 la fuerza G sea igual a 0, ya que sin esto daría que hay una fuerza en voltaje cero, cosa que es incorrecta.

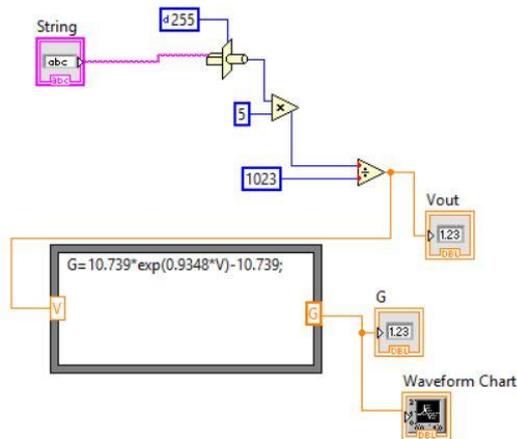


Figura 8: Diagrama de bloques de la función transform

1.4. Función PID

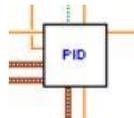


Figura 9: Símbolo de la función PID

Se ha insertado la función que realiza el PID, a la cual se le introduce:

- El rango que debe tener el punto de funcionamiento deseado, junto con éste
- La variable controlada, es decir, la fuerza G que se lea del sensor de presión
- Los parámetros del PID, los cuales son P, Ti y Td, aunque en este caso no se utiliza Td al tratarse de un PI
- Ts, que es el periodo en segundos
- El rango que puede tener la variable manipulada, es decir la apertura de la pinza. Cabe recordar que ésta se transmite como los microsegundos que esta la señal en alto en el PWM del motor.
- Un booleano que determinará si se aplica el PID o se entra en modo manual
- La variable manipulada manual, en caso de que se encuentre en modo manual.

Mediante esta función, en modo manual se introduce la variable manipulada y esta se pasa al proceso de escritura, sin embargo, cuando se cambia a automático, esta última variable se guarda y se pasa al PID, ya que será el punto de funcionamiento.

Desarrollo de una pinza robótica con control de presión mediante LabVIEW

El código calcula el error existente entre la variable controlada y el punto de funcionamiento deseado, y a partir de él calcula la parte proporcional y la parte integral del PI. Más adelante en el código, se aplica una función anti-windup, la cual elimina cualquier aumento o reducción de la parte integral si se supera el límite del rango de la variable manipulada, y ésta se limita al máximo o el mínimo del rango.

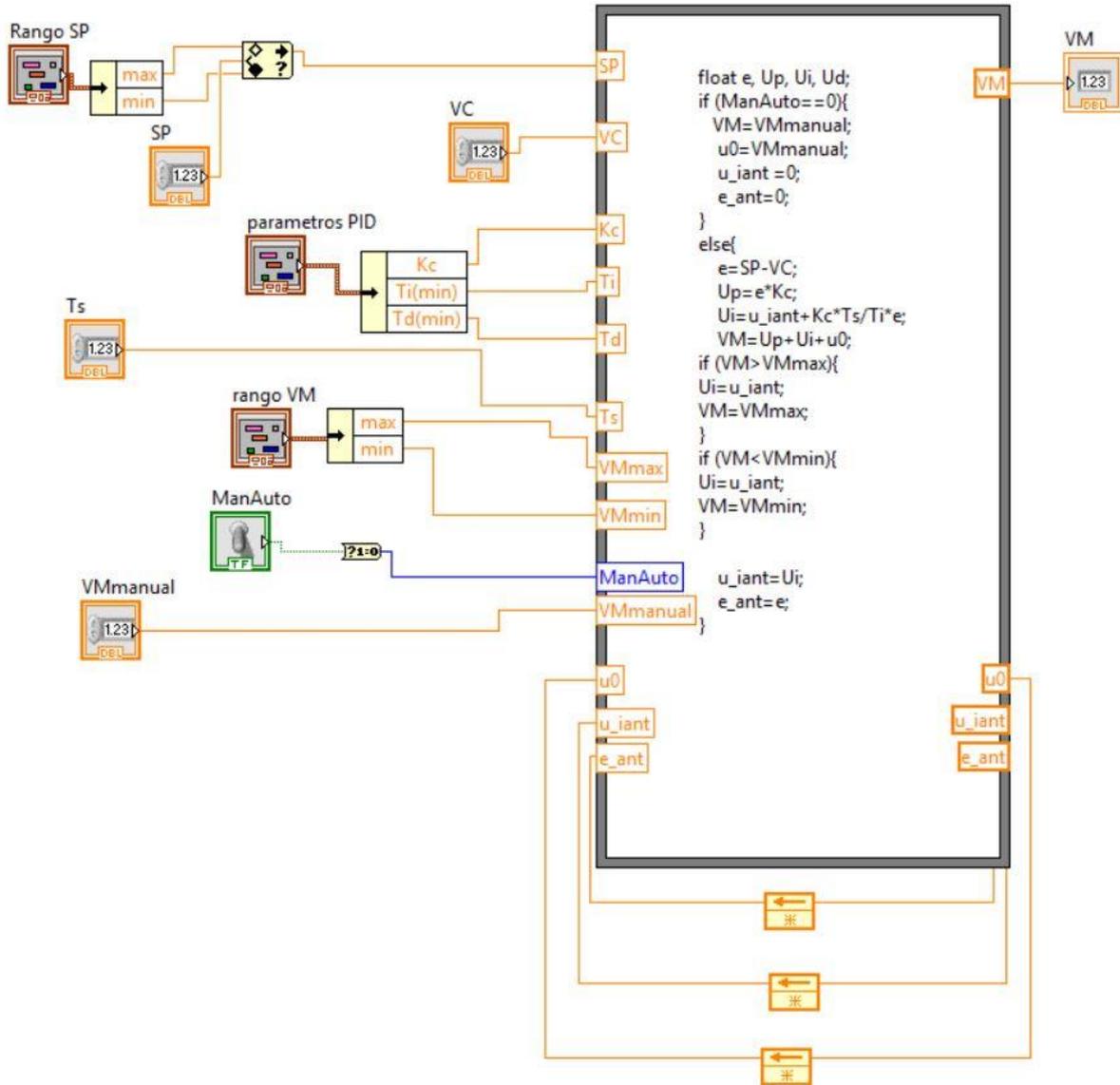


Figura 10: Diagrama de bloques de la función PID

2. Lectura/Escritura de datos.

Para la escritura de datos sencillamente se debe escribir mediante la función de Visa write de LabVIEW, se debe pasar el puerto serie el cual se inicia al principio del programa, el error que puede ocurrir, ya que todos los visa tienen una entrada de error y una salida de error, de modo que si se acomete algún error en alguno de ellos, las siguientes órdenes de VISA no se ejecutan.

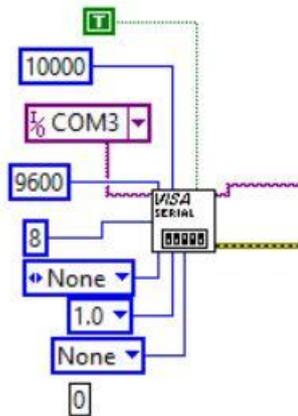


Figura 11: Inicialización del VISA.

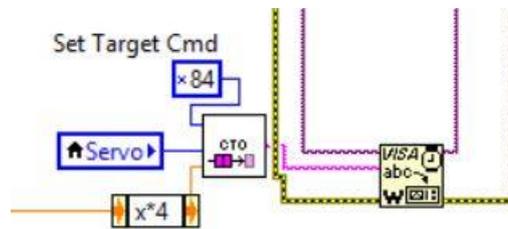


Figura 12: Escritura de datos en el VISA.

Como se puede ver en la figura 11, se inicializa el VISA y este tiene como salidas el puerto serie y el error, a continuación en la orden de escritura se introduce el puerto serie, el error, y el valor a escribir, explicado anteriormente.

Sin embargo para la orden de lectura, es diferente, ya que esta tarjeta requiere primero efectuar una orden de escritura que determine que se va a realizar una lectura de una canal en concreto.

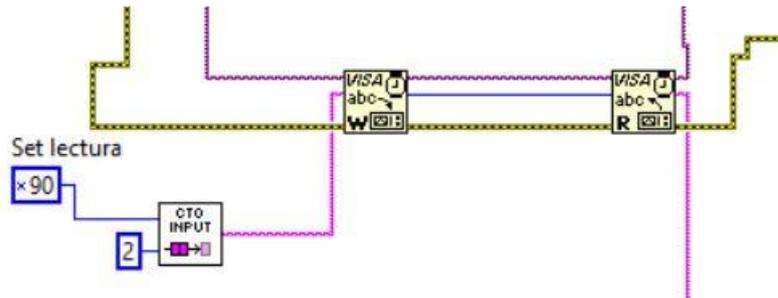


Figura 13: Lectura de datos en el VISA

Esto es lo que se observa en la figura 13, en la que se transmite una cadena de caracteres la cual ordena que se efectúe una escritura y de qué canal, para posteriormente efectuar una lectura y recoger los datos leídos.

3. Bucle general.

El programa dispone de dos bucles más importantes. El primero de ellos se realiza siempre y cuando se modifique el valor de la velocidad/aceleración. En este se introduce el nuevo valor, se escribe en la tarjeta mediante la forma vista en el apartado 2 y se muestra la cadena de caracteres introducida por un indicador que estará visible en una pantalla de “información”

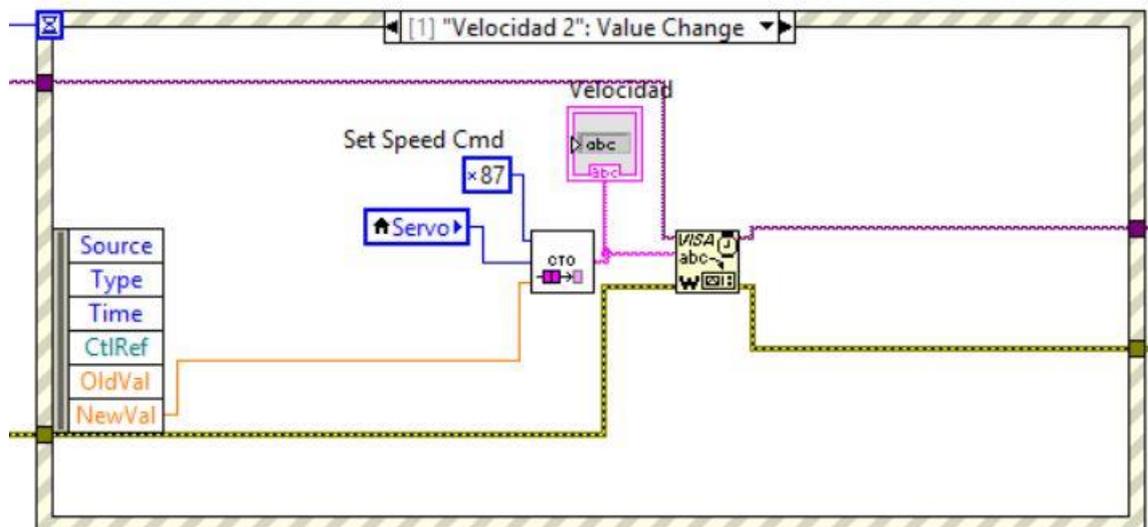


Figura 14: Bucle de escritura de datos cuando hay un cambio en velocidad/aceleración

Se tiene un bucle central, el cual alterna entre el modo manual y el modo automático. Así pues, el modo manual tiene la opción escribir el valor de la posición del servo de modo manual o también ofrece la opción de sumar una onda cuadrada al valor que se quiera escribir. Así pues, este valor se guarda para la siguiente iteración del bucle, ya que si este valor no ha cambiado, no se efectúa la escritura. Si cambia se detecta y se ejecuta el bucle de escritura situado a la derecha. Así pues, si se

Desarrollo de una pinza robótica con control de presión mediante LabVIEW

pulsa el botón de “crear onda” un selector cambia la entrada que llega al bucle de escritura y envía un valor que es el resultado del valor escrito más la onda creada más abajo, de la cual se puede modificar su amplitud.

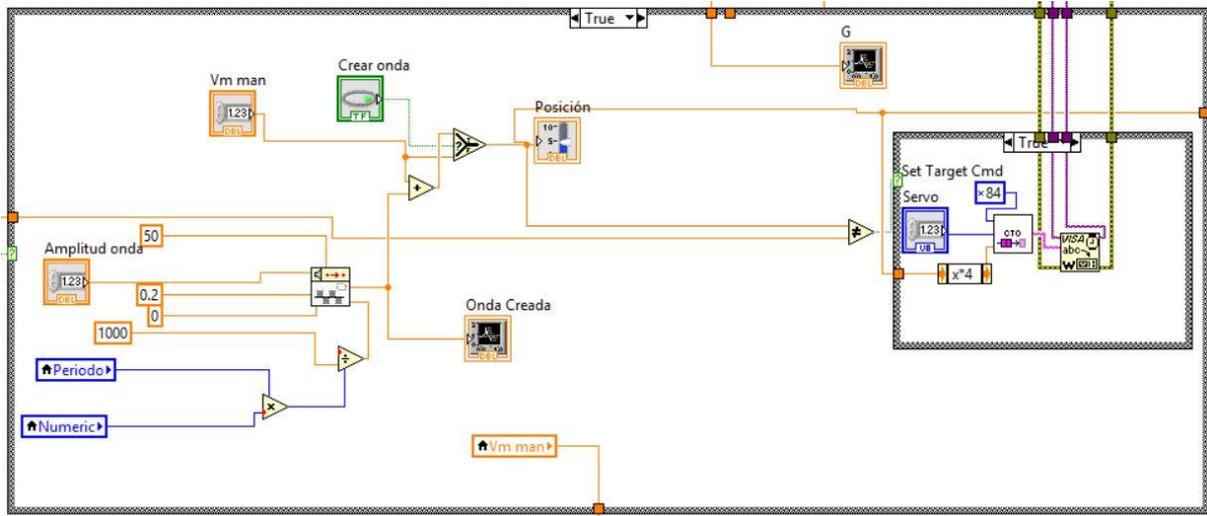


Figura 15: Bucle modo manual

Respecto al modo automático, éste simplemente utiliza la función PID descrita anteriormente, introduciendo el valor de la variable controlada en voltios, ya que los ensayos han sido realizados en voltios, por lo que se utiliza la fórmula logarítmica que transforma presión a voltios de salida. Si se selecciona “activar PID” el algoritmo comenzará a funcionar, si este no se pulsa, la variable podrá ser manipulada por el usuario manualmente.

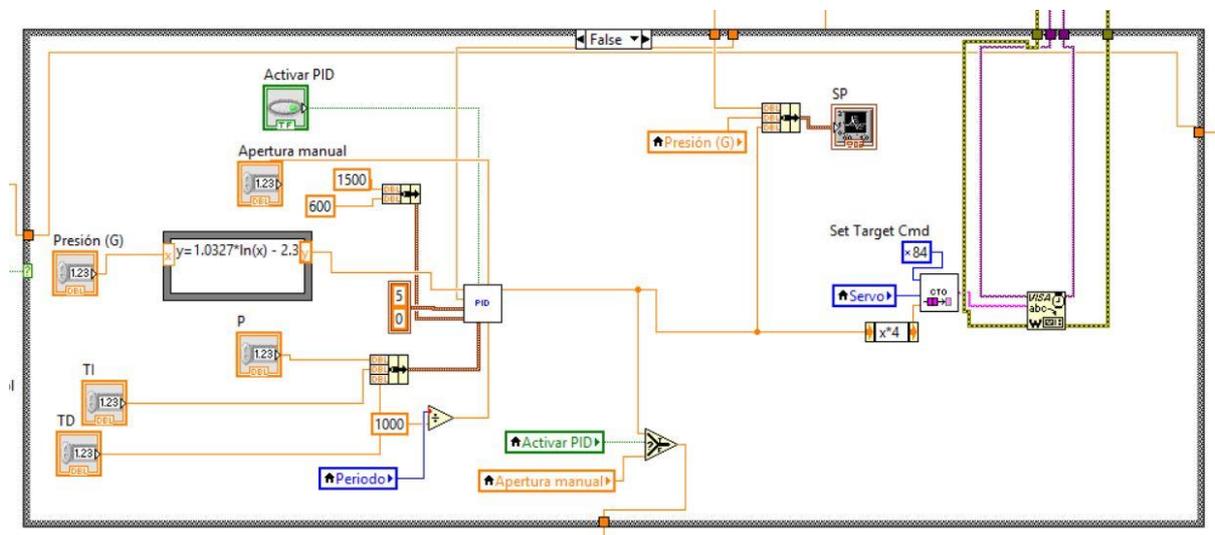


Figura 16: Bucle modo automático

4. Sistema de seguridad

Se ha habilitado un sistema de inicio de sesión de usuarios para mayor seguridad. Así pues se puede introducir en la interfaz un usuario y contraseña y cuando se pulsa el pulsador de log-in, este introduce el nombre y la contraseña en el dominio del ordenador (midominio) y se le especifica que es local, si la autenticación es correcta, no dará ningún error.

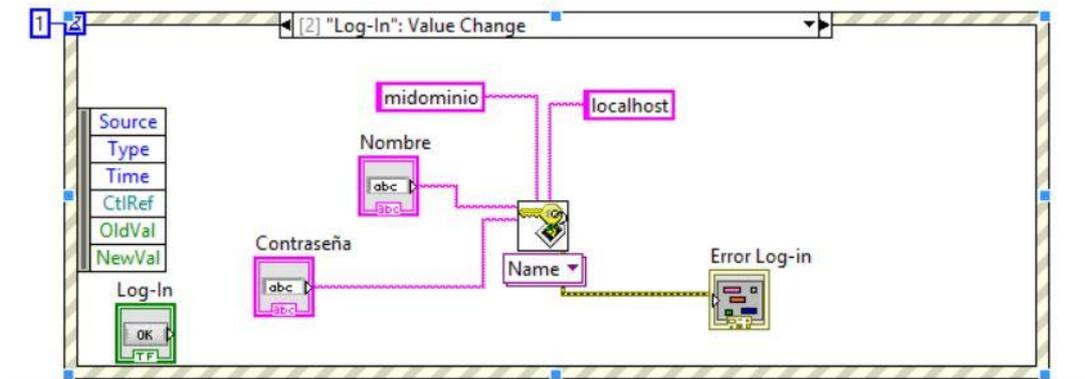


Figura 17: Bucle de Log-in

También se ha habilitado un sistema que enseña en la interfaz que sesión está iniciada.

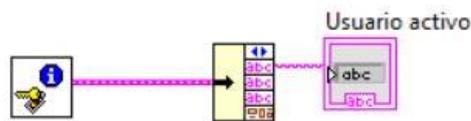


Figura 18: Muestra de usuario activo

Y por último un pulsado de cierre de sesión, el cual cambia el usuario iniciado a ningún usuario, por lo que en la interfaz no se podría utilizar nada.

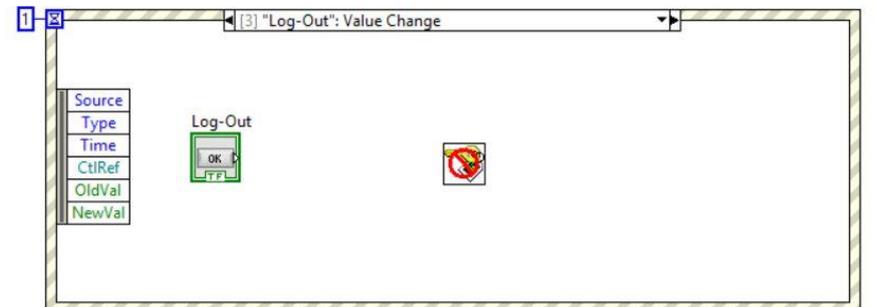


Figura 19: Bucle de Log-out

4. Tabs

La interfaz dispone de 4 pantallas las cuales cambian según el botón que se pulse. Para acometer esta función se han colocado tres botones, de los cuales dos pasan entre páginas.

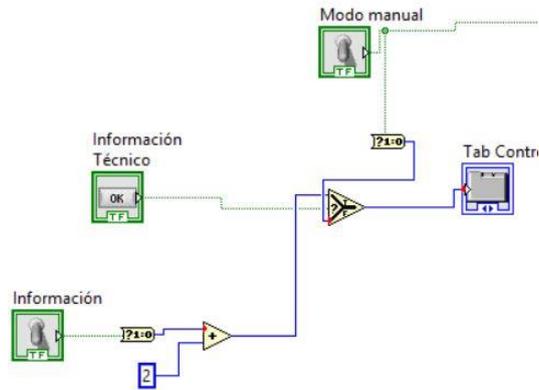


Figura 20: Funcionamiento de cambio de páginas

Para cambiar entre páginas, se debe pasar un número que designa la pantalla deseada, así pues, si se desea la página cuatro se deberá enviar un tres. Para esto, un botón elige entre dos booleanos, uno de los cuales es el modo manual/modo automático y el otro es información/configuración. Esto último sólo es visible por el técnico, por lo que se habilita con el botón información técnico. El primer booleano envía un valor entre 0 y 1, y el segundo booleano envía un número entre 2 y 3, por lo que el botón de “información técnico” elige quien envía los datos.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DESARROLLO DE UNA PINZA ROBÓTICA CON CONTROL DE PRESIÓN IMPLEMENTADO MEDIANTE LABVIEW

DOCUMENTO Nº3: ANEXO DE DISEÑO

AUTOR: AUSIAS VILA CASTELLÁ

TUTOR: JUAN MANUEL HERRERO DURÁ

COTUTOR: RAÚL SIMARRO FERNÁNDEZ

Curso Académico: 2015-16

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.- Sensor de presión.....	1
2.- Sensor infrarrojo.....	3

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema electrónico del montaje del sensor de presión.....	1
Figura 2: Disposición de los pines del chip MCP6002.....	1
Figura 3: Montaje electrónico del sensor de presión en la placa experimental.....	2
Figura 4: Montaje del sensor infrarrojos en la placa experimental.....	3

1.- Sensor de presión.

El montaje del sensor de presión es aproximadamente el descrito en el apartado 4.1.1 de la memoria, sin embargo como el chip de este proyecto está formado con dos amplificadores operacionales se utilizarán ambos, uno conforme señala el fabricante y otro como un amplificador de ganancia positiva.

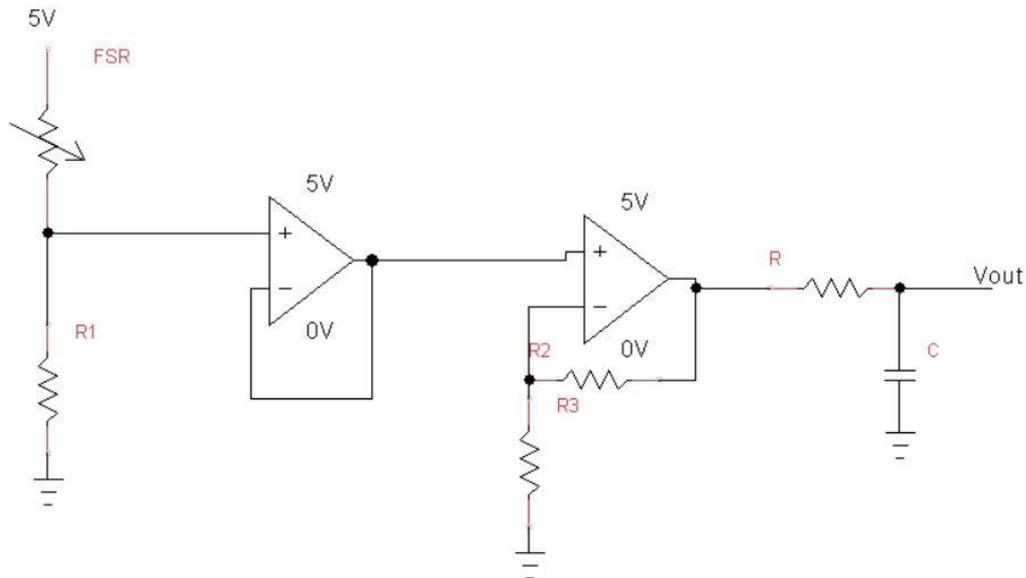


Figura 1: Esquema electrónico del montaje del sensor de presión

La resistencia R1 es de 10 K Ω , ya que su curva según el fabricante es más lineal. Las resistencias R2 y R3 se pondrán del mismo valor ya que la ganancia es $G = 1 + \frac{R2}{R1}$, por lo que de esta forma se consigue ganancia unitaria por lo que se tiene un seguidor.

Los pines del chip con los dos amplificadores operacionales, según el fabricante se constituyen de la siguiente forma:

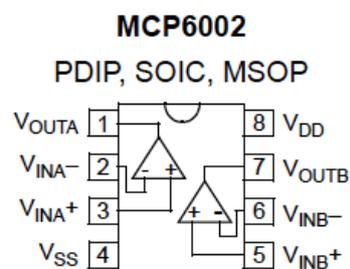


Figura 2: Disposición de los pines del chip MCP6002

Así pues, en la placa experimental se ha dispuesto el montaje eléctrico de la siguiente manera:

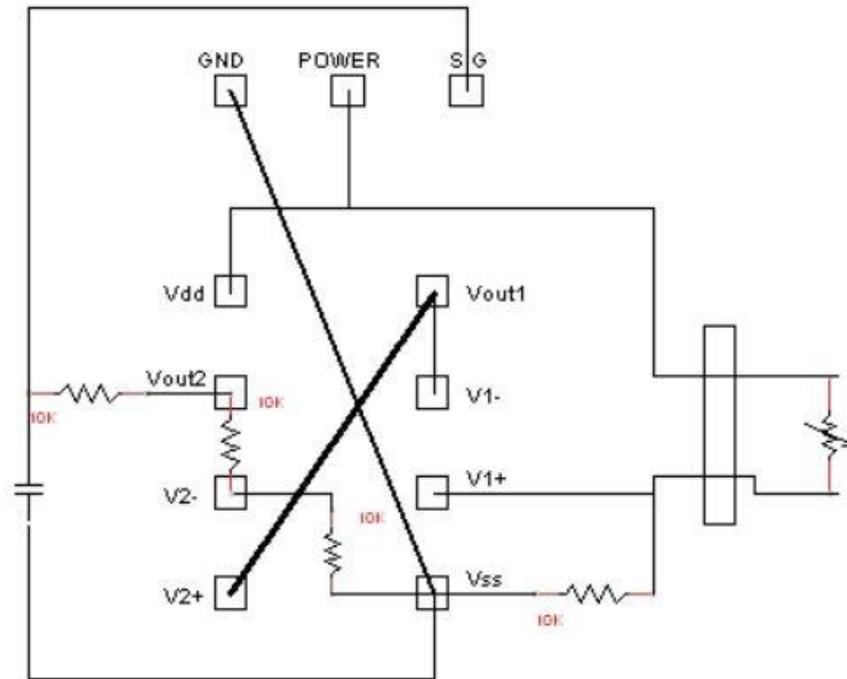


Figura 3: Montaje electrónico del sensor de presión en la placa experimental

Se puede observar que cada vez que hay que alimentar algún componente electrónico se aprovecha la salida de "power" y todas las masas se conectan a "Vss" del amplificador, que de este se dirige un cable hasta "gnd". Se tiene que tener en cuenta que al tratarse de la parte trasera del chip, todos sus pines se ven reflejados.

2. Sensor infrarrojo

El montaje del sensor infrarrojo se ha realizado conforme el descrito en el apartado 4.1.2 de la memoria. De esta forma, en la placa experimental se ha conectado de la siguiente forma:

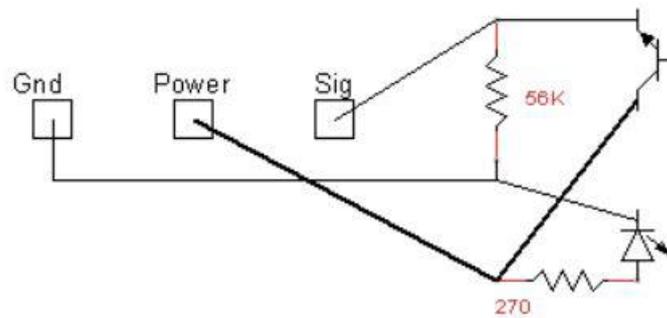


Figura 4: Montaje del sensor infrarrojos en la placa experimental

Se ha conectado por el lado porque a la hora de conectar la placa Polulu con la placa experimental se utiliza un conector 3x3, lo que hace que los dos sensores infrarrojos se conecten uno por la izquierda, otro por la derecha y el sensor de presión por la parte inferior. Se puede observar que se ha aprovechado tanto el "power" como el "gnd" para la alimentación y la masa del diodo emisor y el fototransistor, respectivamente.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DESARROLLO DE UNA PINZA ROBÓTICA CON CONTROL DE PRESIÓN IMPLEMENTADO MEDIANTE LABVIEW

DOCUMENTO Nº4: MANUAL DE USUARIO

AUTOR: AUSIAS VILA CASTELLÁ

TUTOR: JUAN MANUEL HERRERO DURÁ

COTUTOR: RAÚL SIMARRO FERNÁNDEZ

Curso Académico: 2015-16

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.- Pantalla principal.....	1
1.1.- Pantalla central.....	2
1.2.- Animación y muestra de usuario.....	6
1.3.- Sistema de inicio de sesión.....	7
2.- Pantalla de pieza no detectada.....	8

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Pantalla principal del programa.....	1
Figura 2: Pantalla modo manual del programa.....	2
Figura 3: Interruptor en modo PID.....	3
Figura 4: Pantalla modo automático del programa.....	3
Figura 5: Interruptor "Información técnico" encendido, seleccionado en configuración.....	4
Figura 6: Pantalla configuración del programa.....	4
Figura 7: Pantalla "información" del programa.....	5
Figura 8: Animación de la pinza.....	6
Figura 9: Sistema de inicio de sesión.....	7
Figura 10: Pantalla del supervisor.....	7
Figura 11: Pantalla del usuario.....	8
Figura 5: Pantalla cuando no se detecta pieza.....	8

1.- Pantalla principal.

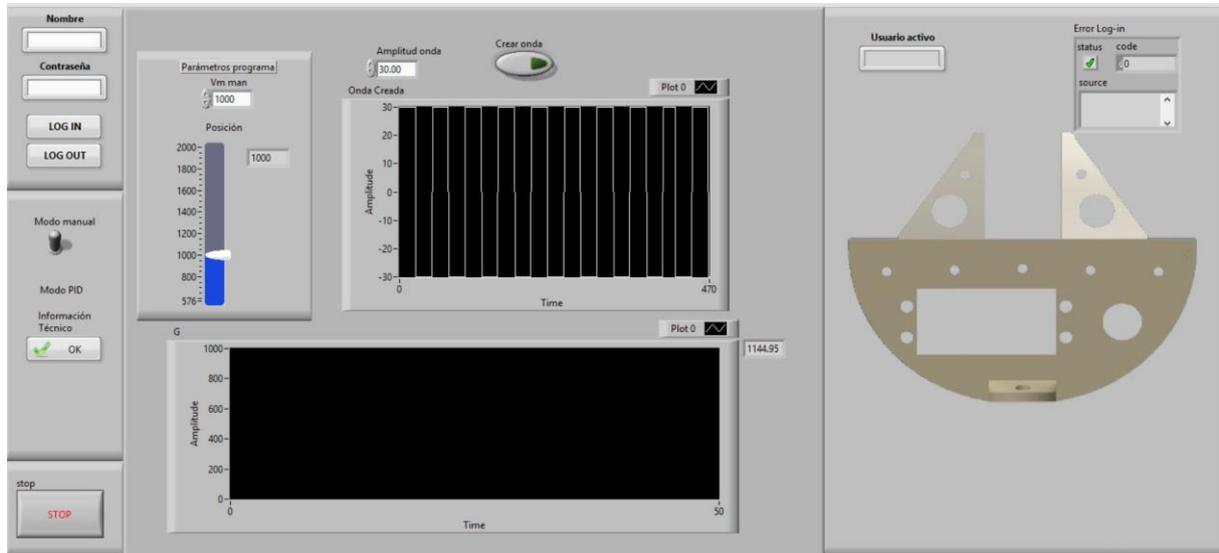


Figura 1: Pantalla principal del programa

Esta es la pantalla que aparece al abrirse el programa la cual dispone de 5 módulos:

- En la esquina superior izquierda dispone de un sistema de inicio de sesión
- En la esquina inferior izquierda se encuentra el botón de Stop
- En el centro se encuentra la pantalla principal, la cual dispone de 4 páginas que van cambiando conforme se pulsan los tres botones del módulo de la izquierda (uno está oculto, se hace visible conforme se pulsa "información técnico")
- A la derecha se encuentra una animación que muestra en tiempo real la apertura de la pinza, trasladando lo que se ve en la realidad a la pantalla, además de mostrarse el usuario activo y el error de log-in

1.1.- Pantalla central

La pantalla central dispone de 4 páginas las cuales se van alternando según los botones que se pulsen a la izquierda. La primera pantalla es la del modo manual.

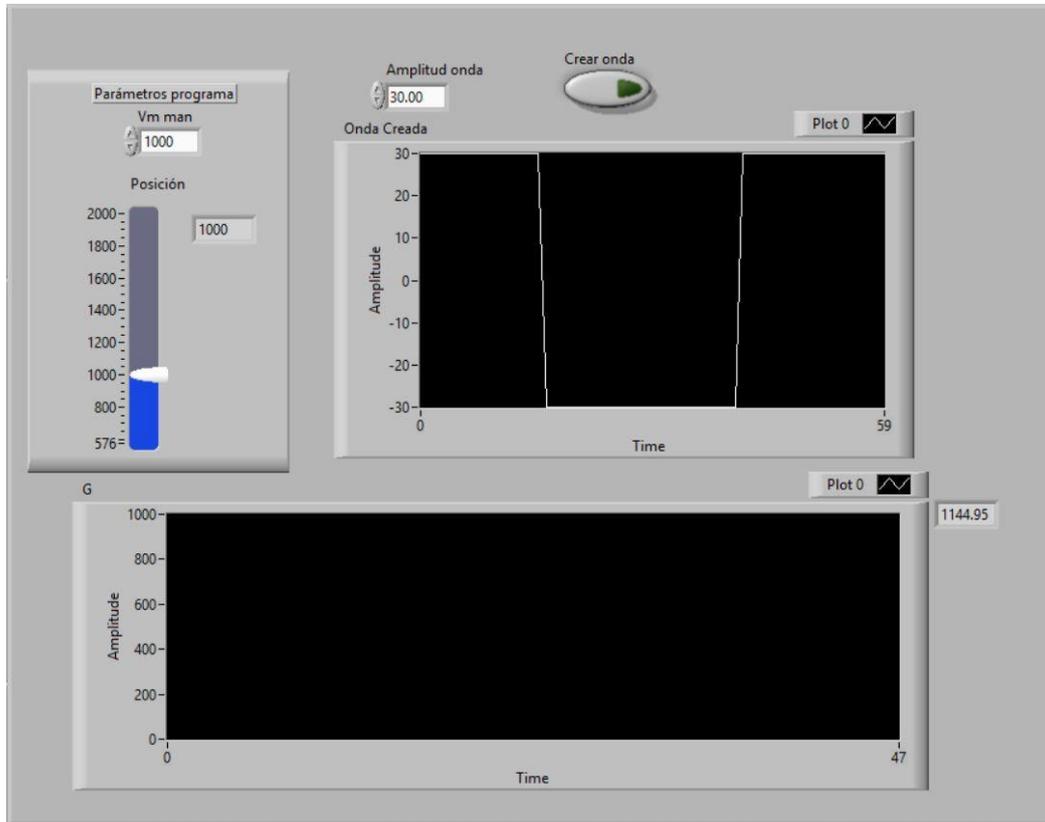


Figura 2: Pantalla modo manual del programa

En esta se puede modificar manualmente el grado de apertura de la pinza mediante el controlador "Vm man" y debajo dispone de un indicador que señala la posición escrita. Además, se puede hacer que este grado de apertura oscile entre dos valores, los cuales son el resultado de sumar la onda de la derecha con el valor escrito en "Parámetros programa". La amplitud de esta onda se puede modificar haciéndola mayor o menor y para empezar a aplicar esta suma se pulsa el botón "Crear onda".

En el gráfico de la derecha aparece dibujada la onda creada, y en el gráfico inferior aparece la fuerza G que está leyendo el sensor de presión.

Desarrollo de una pinza robótica con control de presión mediante LabVIEW

Cuando se cambia el interruptor de “modo manual” a “modo PID” en la pantalla central aparece la página donde se puede implementar el PID.



Figura 3: Interruptor en modo PID

La pantalla es la siguiente:

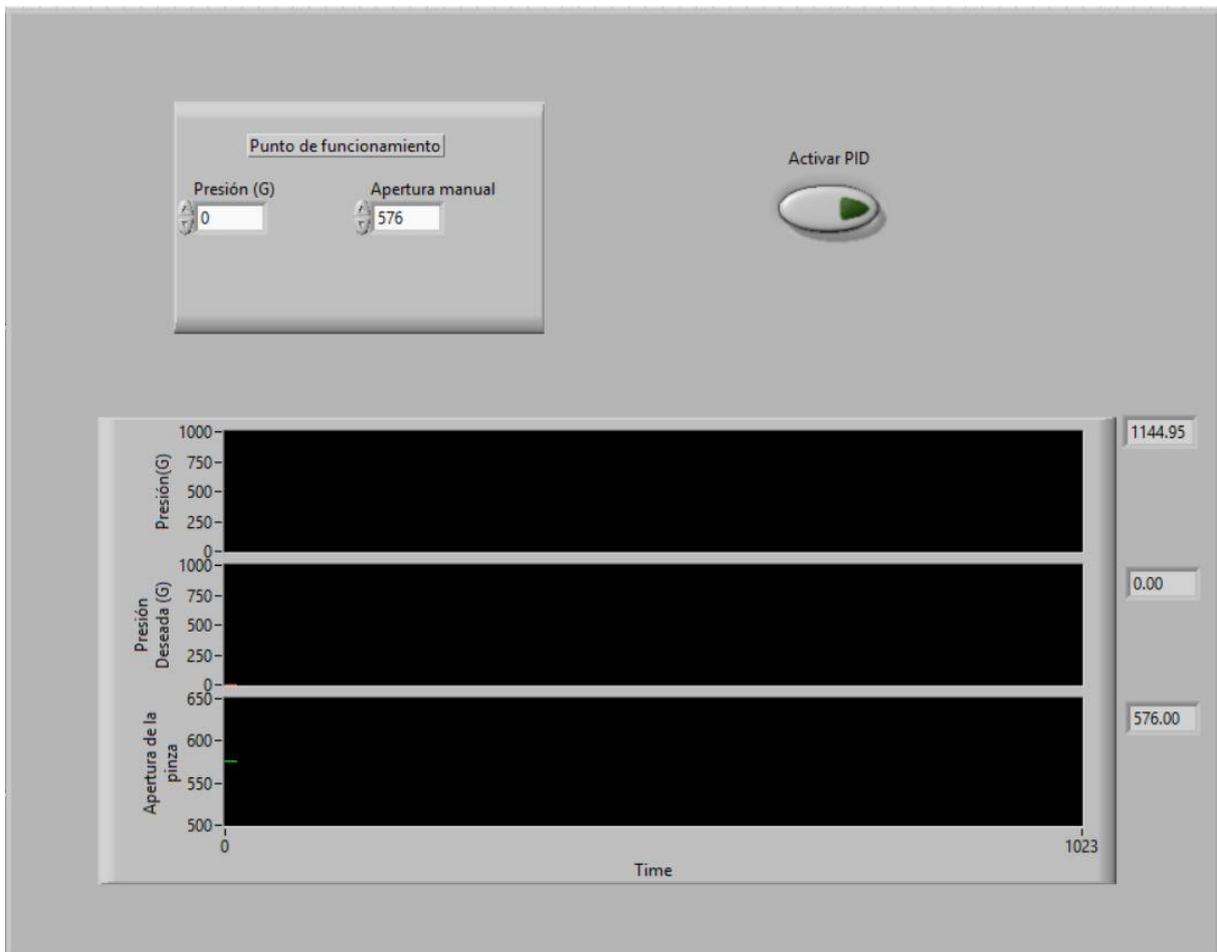


Figura 4: Pantalla modo automático del programa

Desarrollo de una pinza robótica con control de presión mediante LabVIEW

En esta pantalla se puede modificar manualmente la apertura de la pinza mediante “Apertura manual”. Cuando se desee activar el PID se debe pulsar el botón “Activar PID” lo que hará que empiece a funcionar éste y en las tres gráficas inferiores se podrá hacer un seguimiento de la presión en el sensor, la presión deseada (el setpoint) por el usuario, la cual se introducirá en el control de “Presión (G)” y la apertura de la pinza, que es la variable manipulada por el PID.

Una vez se pulse el botón “Información técnico”, desaparece el interruptor de Modo manual/modo automático y aparece uno debajo que deja elegir entre “Información” o “Configuración”



Figura 5: Interruptor "Información técnico" encendido, seleccionado en configuración

Así pues cuando esta selecciona la opción “Configuración” aparece la siguiente pantalla:

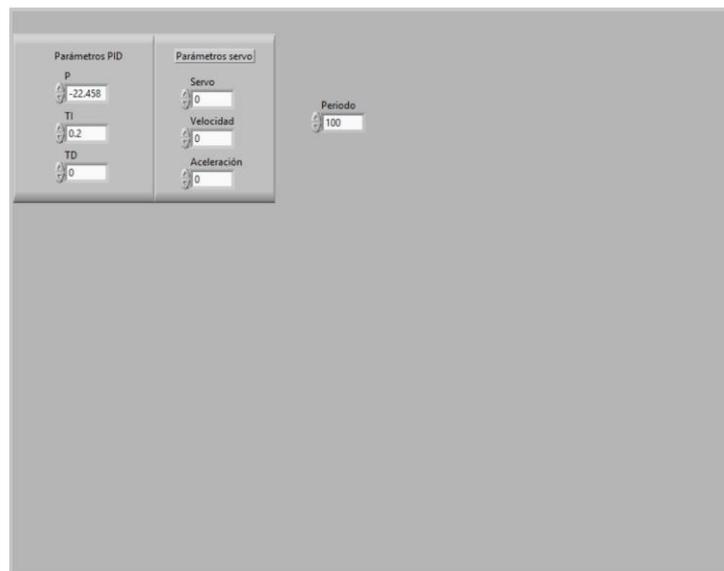


Figura 6: Pantalla configuración del programa

Desarrollo de una pinza robótica con control de presión mediante LabVIEW

En ella se pueden cambiar todos los parámetros más avanzados como es el canal donde esta conectado el servo ("Servo"), los parámetros del PID, la velocidad y aceleración del servo (según el fabricante si se envía una velocidad o aceleración 0 significa que es ilimitada) y el periodo del programa.

Si se cambia de posición el interruptor y se activa "Información", aparece la siguiente pantalla:

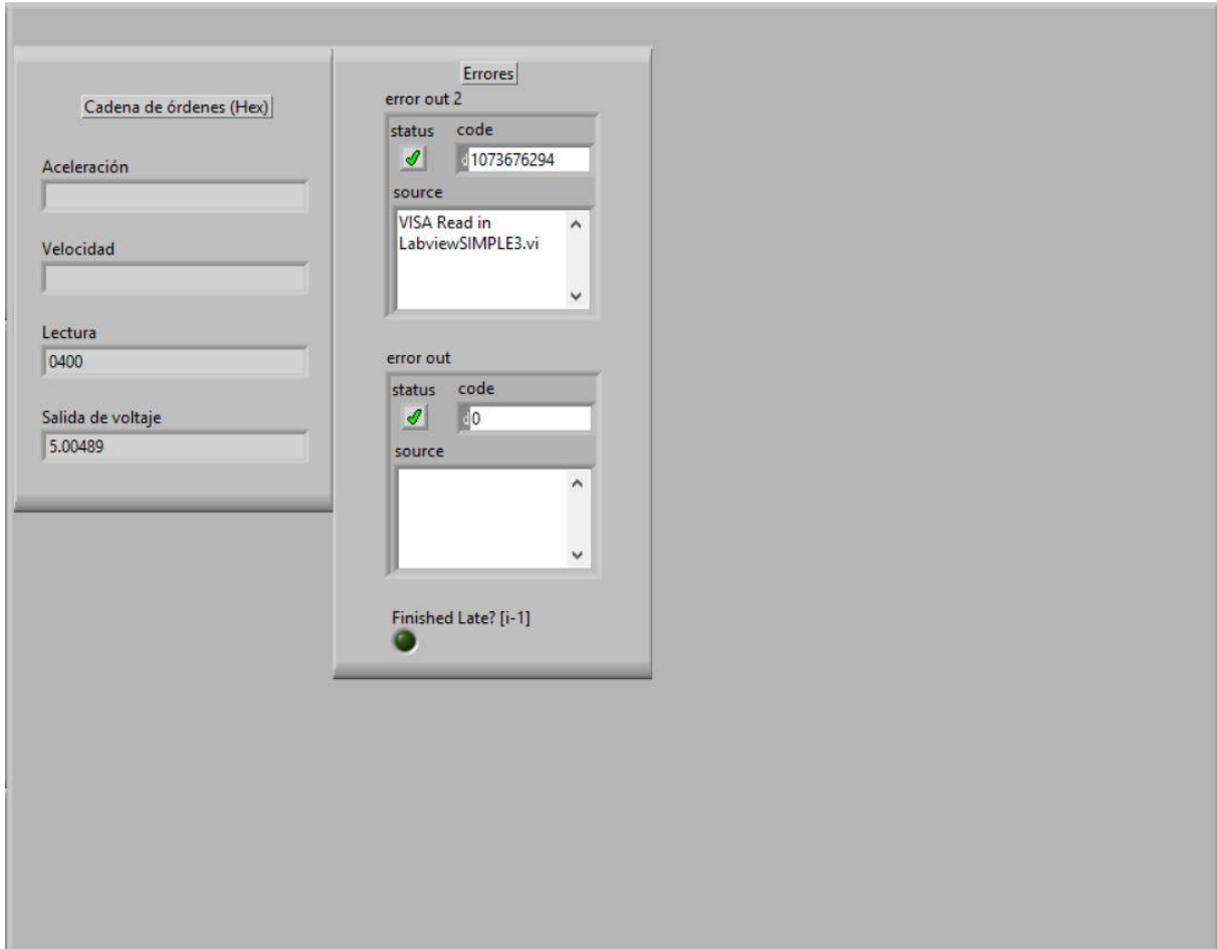


Figura 7: Pantalla "información" del programa

En ella se muestra información adicional como son los errores de escritura o de lectura, las cadenas de órdenes que se han enviado para la aceleración y la velocidad en hexadecimal. La lectura en hexadecimal que se realiza en el sensor de presión y esta misma transformada a tensión.

Con esto se puede realizar un seguimiento en caso de comportamiento erróneo, pudiendo ver si es un error de lectura o un error de software.

1.2.- Animación y muestra de usuario

Se ha dispuesto de una animación que emula al movimiento de la pinza. Esta pinza emulada se abre o cierra al mismo tiempo que la real, mediante el dato de la variable manipulada. Además, en esta pantalla se muestra el usuario que ha iniciado sesión y la pantalla por si ha habido algún error en el inicio de sesión.

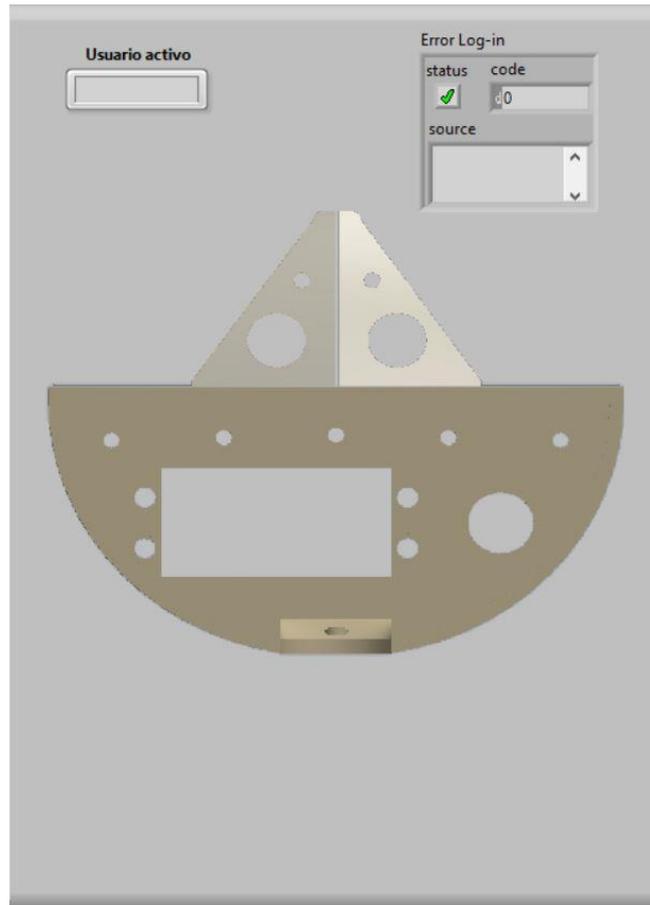


Figura 8: Animación de la pinza.

1.5.- Sistema de inicio de sesión



Figura 9: Sistema de inicio de sesión.

El primer módulo descrito es el del sistema de inicio de sesión, el cual se puede escribir un nombre de usuario y contraseña.

Así pues, si el usuario es inválido, no se inicia sesión o se pulsa el botón de log-out, desaparecerán todos los módulos excepto el actual.

Se han habilitado 3 usuarios con sus respectivas contraseñas los cuales son: usuario, supervisor y técnico. El técnico tiene acceso a todo lo visto anteriormente, sin embargo, el supervisor no tiene acceso al botón de la información del técnico y el usuario no tiene acceso al nombrado botón, y tampoco a todo lo relacionado con la creación de la onda en el modo manual como es el gráfico, el botón o el control de la amplitud.

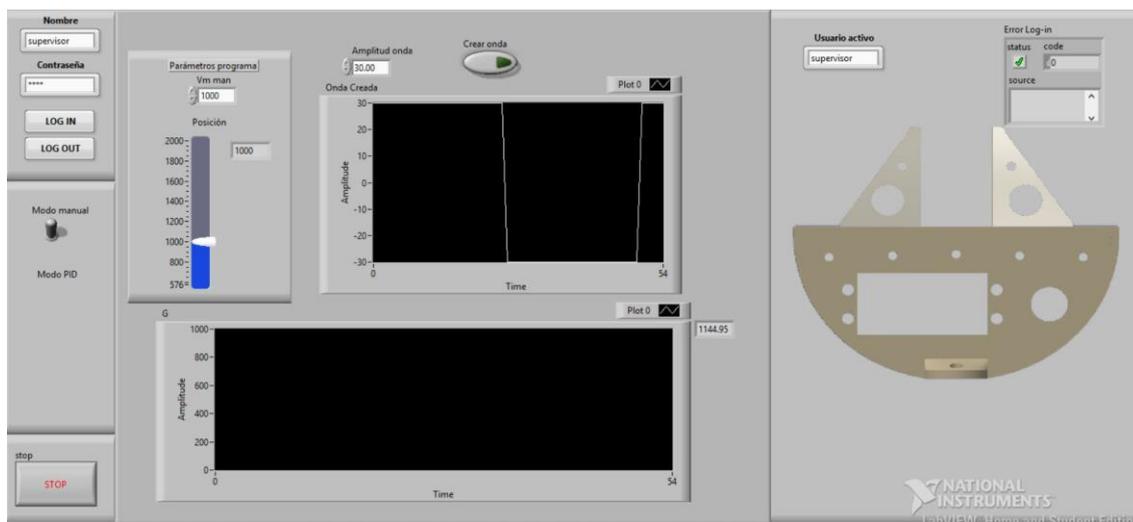


Figura 10: Pantalla del supervisor

Desarrollo de una pinza robótica con control de presión mediante LabVIEW

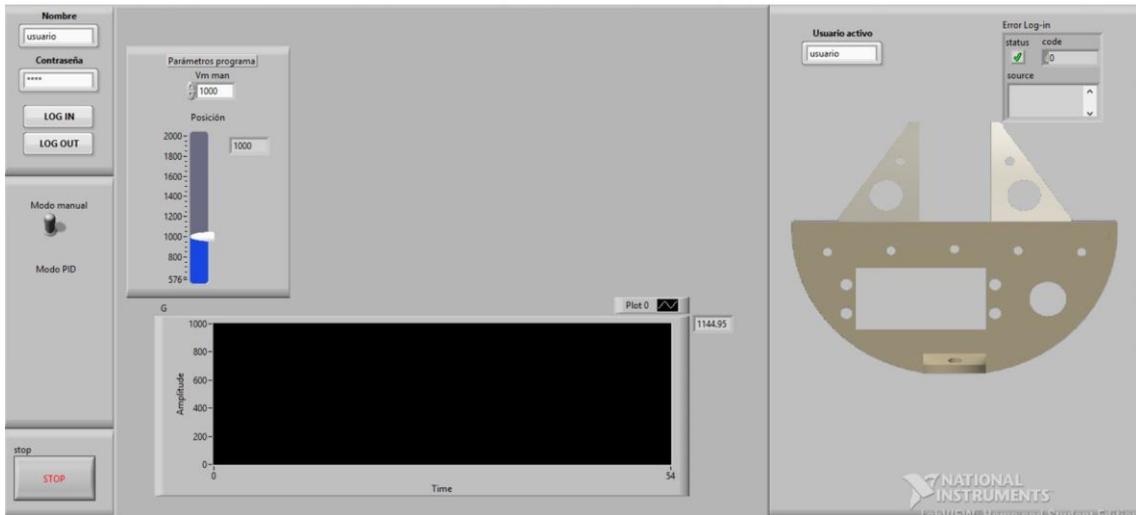


Figura 11: Pantalla del usuario

1.6. Pantalla de pieza no detectada

Si el sensor infrarrojo no detecta pieza directamente esconde la pantalla central y los botones de la izquierda y en pantalla se muestra un texto en el que pone “Pieza no detectada”.

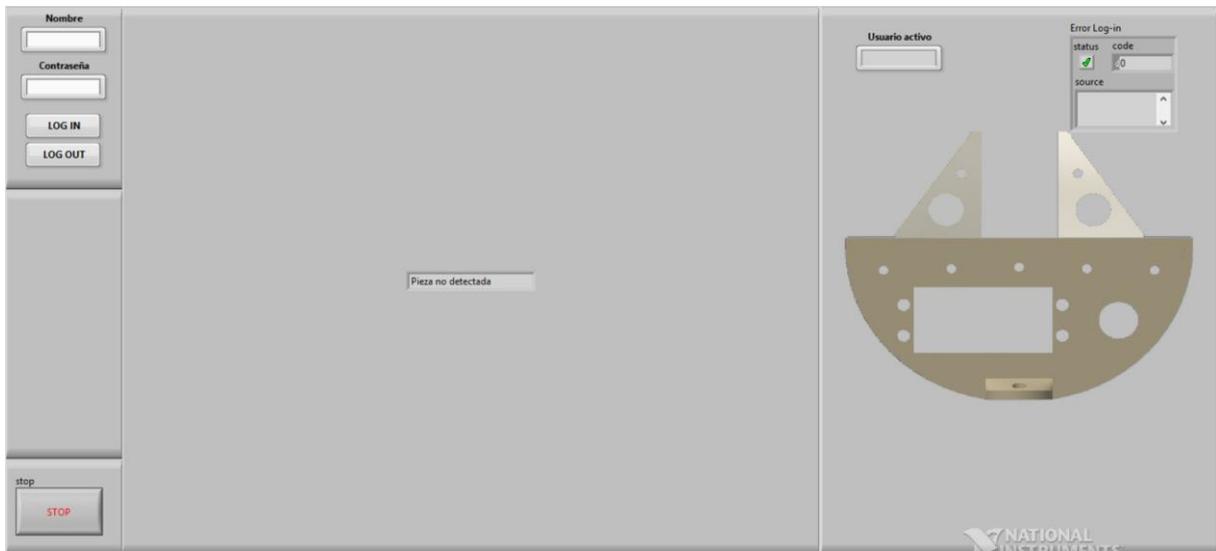


Figura 12: Pantalla cuando no se detecta pieza.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DESARROLLO DE UNA PINZA ROBÓTICA CON CONTROL DE PRESIÓN IMPLEMENTADO MEDIANTE LABVIEW

DOCUMENTO Nº5: PRESUPUESTO

AUTOR: AUSIAS VILA CASTELLÁ

TUTOR: JUAN MANUEL HERRERO DURÁ

COTUTOR: RAÚL SIMARRO FERNÁNDEZ

Curso Académico: 2015-16

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.- Introducción.....	1
2.- Presupuesto.....	1
2.1.-Definición de unidades de obra.....	1
2.2.- Cuadro de precios.....	1
2.2.1.- Cuadro de precios nº1: Mano de obra.....	2
2.2.2.- Cuadro de precios nº2: Materiales.....	2
2.2.3.- Cuadro de precios nº3: Presupuesto de ejecución material.....	4
3.- Presupuesto de ejecución por contrata.....	5

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Costes de la mano de obra.....	2
Tabla 2: Costes de los materiales.....	2
Tabla 3: Amortización de las herramientas utilizadas.....	3
Tabla 4: amortización del software.....	3
Tabla 5: Amortización del hardware.....	4
Tabla 6: Presupuesto de ejecución material.....	4

1.- Introducción

En el siguiente documento se va a realizar un estudio económico del actual proyecto. Como se trata de la elaboración de una aplicación informática, se planteará diferente que el presupuesto de una construcción o instalación eléctrica.

El proyecto ha sido realizado completamente por un graduado en ingeniería industrial, el cual se considerará empleado en una empresa dedicada a los automatismos. Se ha considerado que el cliente ha solicitado directamente una pinza con un control sobre un sensor de presión, dejando para la empresa tanto el desarrollo de la pinza, el desarrollo de la aplicación como el montaje electrónico, por lo que se incluirá todo lo utilizado en el presupuesto final.

Al tratarse de un trabajo de final de grado no se incluirá el IVA en el presupuesto, sin embargo, sí que se tendrá en cuenta el beneficio industrial y los gastos generales.

2.-Presupuesto

2.1.- Definición de unidades de obra

A continuación se definen las unidades de obra en las que se divide el presupuesto:

- UO1.- Materiales: Se incluyen aquellas piezas o materiales que han sido necesarios para la construcción de la pinza.
- UO2.- Montaje del equipo: Donde se incluye las horas de montaje electrónico, soldadura, traslado, almacenamiento del prototipo, así como la puesta a punto de las unidades de hardware y software para su correcto funcionamiento (drivers, LabVIEW, Matlab). Además se incluye el desarrollo en 3D de la pinza y su imprenta.
- UO3.- Desarrollo de la aplicación: Incluye las horas de identificación y cálculo, así como las designadas en utilización del software y desarrollo del programa en LabVIEW.
- UO4.- Redacción del documento: Incluye las horas que ha utilizado el graduado en ingeniería industrial en redactar el documento del proyecto.

2.2.- Cuadro de precios

En el siguiente apartado se han definido los cuadros de precios de:

- Mano de obra: En el que se incluye el jornal, el cual trata del de un graduado en ingeniería industrial.
- Material: Incluye el material comprado, así como la amortización del software y el hardware.

2.2.1.- Cuadro de precios nº1: Mano de obra

El presente proyecto lo ha realizado íntegramente un graduado en ingeniería industrial, por lo que su jornal es:

COSTES	TOTAL (€)
Salario Bruto al año	20000
Pluses (Transporte, Herramientas, etc)	800
Seguridad Social (Base de cotización, accidentes, desempleo, etc)	6500
Gratificaciones extra (Vavaciones)	5100
Varios (horas extra)	1050
Total a facturar por año	33450
Total a facturar por jornada (220 días laborables)	152,05
Total a facturar por hora (8 horas/jornada)	19,00

Tabla 1: Costes de la mano de obra

El graduado en tecnologías industriales ha empleado un tiempo en el desarrollo de la pinza y su respectiva aplicación de mes y medio, teniendo en cuenta que trabaja 8 horas al día y que cada mes dispone de 22 días laborables, el total de horas trabajadas es:

$$\text{Horas trabajadas} = 1.5 \cdot 22 \cdot 8 = 264 \text{ horas}$$

2.2.2.- Cuadro de precios nº2: Materiales.

En cuanto a los materiales de este proyecto, se hará un estudio de la amortización del software y hardware utilizados, así como de algunas herramientas utilizadas. Además, se dispondrá del precio total de los materiales utilizados para este proyecto como son los sensores o el plástico de la impresora 3D. Cabe recordar que se compró una unidad de cada material excepto del fototransistor y el emisor LED que se compraron dos unidades.

Material	Precio unitario
Sensor de presión	20.59 €/unidad
Emisor LED infrarrojo	0.48 €/unidad
Fototransistor	0.39 €/unidad
Plástico PLC	0.015 €/cm ³
Servomotor	19.95€/unidad
Tarjeta Polulu	19.95 €/unidad

Tabla 2: Costes de los materiales

Así pues para calcular el precio por centímetro cúbico del plástico PLC de la impresora 3D, se dispone de que una bobina de este filamento cuesta aproximadamente 15 € en el mercado, teniendo 3 mm de espesor y aproximadamente 140 m de longitud, El volumen total que puede ser impreso por una bobina en centímetros cúbicos es:

$$V_{bobina} = L \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4} = 14000 \cdot \pi \cdot \frac{0.3^2}{4} = 989.601 \text{ cm}^3$$

Fórmula 1: Cálculo del volumen de plástico impreso.

Por lo que el precio de plástico por cm^3 impreso es:

$$\text{Precio PLC impreso} \left(\frac{\text{€}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{15}{989.601} = 0.015 \text{ €/cm}^3$$

Las pinzas impresas son de 9.3 cm^3 cada una.

Además las herramientas que se han utilizado han sido únicamente el soldador y el filamento de estaño, el cual se despreciará su coste, ya que no se ha utilizado gran cantidad.

Herramienta	Precio total (€)	Precio a amortizar
Estación Soldadura Hrv6653	209.33€	0.396 €/hora

Tabla 3: Amortización de las herramientas utilizadas

Se ha estima que se utiliza la estación de soldadura aproximadamente 2 horas al día, habiendo 264 días laborables, se utiliza un total de 528 horas. Así pues, el precio a amortizar se ha calculado como:

$$\text{Precio a amortizar} = \frac{\text{Precio estación soldadura(€)}}{528} \left(\frac{\text{€}}{\text{hora}} \right)$$

Por otro lado se han utilizado diferente software para la realización de este proyecto. En la siguiente tabla se muestra el software utilizado junto con el precio de su licencia y su amortización. Cabe nombrar que la licencia de Matlab cuesta 2000€ renovándose cada 2 años, la licencia de Windows 10 se actualiza cada 3 años, costando 150 € y la licencia de Autodesk inventor se renueva cada 3 años, costando 5.560€.

Software	Precio licencia (€/año)	Precio a amortizar (€/hora)
Matlab	1000	0.714
LabVIEW	1080	0.77
Windows 10	50	0.0357
Autodesk inventor	1855	1.325
Microsoft Office	70	0.05

Tabla 4: amortización del software.

Se ha considerado que este software se utiliza 1400 horas al año. Teniendo en cuenta las licencias y el tiempo de amortización, el precio a amortizar de cada programa se ha calculado como:

$$\text{Precio a amortizar} = \frac{\text{Precio software(€/año)}}{1400 \text{ h/año}} \left(\frac{\text{€}}{\text{hora}} \right)$$

Desarrollo de una pinza robótica con control de presión mediante LabVIEW

Por último, en el caso del hardware, se ha utilizado un ordenador y la impresora 3D . De esta forma, la amortización del ordenador queda:

Hardware	Precio total (€)	Precio a amortizar (€/hora)
Ordenador (incluyendo periféricos y cables de conexión)	800 €	0.378
Impresora 3D	500 €	0.625

Tabla 5: Amortización del hardware

Se ha considerado que el ordenador se utiliza en las 8 horas de la jornada laboral, habiendo 264 días laborales, quedan en 2112 horas al año. Sin embargo la impresora 3D al no utilizarse tanto, se considera que se utiliza 800 horas al año.

2.2.3.- Cuadro de precios nº3: Presupuesto de ejecución material.

Descripción	Importe unitario	Cantidad	Coste calculado (€)
UO1.- Materiales			
Sensor de presión	20.59 €/unidad	1 unidad	20.59
Emisor LED infrarrojo	0.48 €/unidad	2 unidades	0.96
Fototransistor	0.39 €/unidad	2 unidades	0.78
Plástico PLC	0.015 €/cm ³	989.601 cm ³	14.84
Servomotor	19.95€/unidad	1 unidad	19.95
Tarjeta Polulu	19.95 €/unidad	1 unidad	19.95
UO2.- Montaje de equipo			
Graduado en Ingeniería Industrial	19.00 (€/hora)	132 horas	2508
Amortización Autodesk inventor	1.325 (€/hora)	132 horas	174.9
Amortización impresora 3D	0.625 (€/hora)	132 horas	82.5
Amortización estación soldadura	0.396 (€/hora)	132 horas	52.27
Amortización Windows 10	0.0357(€/hora)	132 horas	4.71
Amortización ordenador	0.378(€/hora)	132 horas	49.89
UO3.- Desarrollo de la aplicación			
Graduado en Ingeniería Industrial	19.00 (€/hora)	132 horas	2508
Amortización ordenador	0.378(€/hora)	132 horas	49.89
Amortización Matlab	0.714(€/hora)	132 horas	94.24
Amortización Labview	0.77(€/hora)	132 horas	101.64
Amortización Microsoft office	0.05(€/hora)	132 horas	6.6
Amortización Windows 10	0.0357(€/hora)	132 horas	4.71
UO4.- Redacción del documento			
Graduado en Ingeniería industrial	19.00 (€/hora)	36 horas	684
Coste total			6398.45

Tabla 6: Presupuesto de ejecución material.

Se ha estimado que el graduado en ingeniería industrial ha gastado la mitad del tiempo al montaje del equipo y la otra mitad al desarrollo de la aplicación, siendo este valor de 132 horas, haciendo un total de 264 horas trabajadas. Respecto a la redacción del documento, se ha estimado que se ha empleado 36 horas consiguiendo un total de 300 horas trabajadas por el graduado en ingeniería industrial.

3. Presupuesto de ejecución por contrata

Una vez calculado el presupuesto total del proyecto, se le añade el beneficio industrial y los gastos generales, que son el 6% y el 23% del presupuesto de ejecución material respectivamente.

$$P. de ejecución por contrata = (1 + 0.23 + 0.06) \cdot 6398.45 = 8254 \text{ €}$$