

CONACYT



CENTRO DE INGENIERÍA Y DESARROLLO INDUSTRIAL

Especialidad de Tecnólogo en Mecatrónica

PROYECTO INDUSTRIAL TERMINAL

“Desarrollo de un sistema para la medición continúa de espesores por ultrasonido de tanques de almacenamiento para el robot explorador”

Presenta:

Ing. Luis Enrique Flores Ibarra

Tutor Académico:

M. C. y T. Julio César Solano Vargas



Santiago de Querétaro, Querétaro. Marzo 2016.

Agradecimientos

A **mis padres** quienes me han apoyado siempre para poder llegar a esta instancia de mis estudios, ya que ellos siempre han estado presentes para apoyarme moral y psicológicamente en cualquier momento de mis estudios.

A **mis hermanas** que han sido un pilar muy importante para poderme realzar en mi vida profesional, una sentó en mi la base de la responsabilidad y las ganas de salir adelante ante cualquier adversidad y mi otra hermana por apoyarme y entender siempre, espero y poderle servir de ejemplo en un futuro no muy lejano.

A **mi novia** que siempre ha estado presente en todo momento durante mi carrera y es un pilar muy importante para la culminación de la misma, que con su apoyo constante y amor incondicional logre sacar adelante mi carrera, sin olvidar que gracias a ella estudie esto.

A **mi asesor** el M. C. y T. Julio Cesar Solano Vargas, de quien he aprendido mucho y me ha ayudado a sacar este documento y mi proyecto adelante, pero sobre todo gracias por su amistad, conocimientos y atención que me brindó a lo largo de todo este tiempo. También a mis compañeros, maestros y doctores con los que tuve la dicha de compartir momentos especiales, pero sobre todo por su amistad brindada hacia a mí.

Por último, me tomo el espacio para agradecer a dos grandes instituciones, al **CONACYT** y a **CIDESI** que sin estos no tendría esta gran oportunidad de seguir preparándome profesionalmente.

¡¡Muchas gracias!!

Resumen

A continuación, se presenta un proyecto que se desarrollará en las instalaciones de Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI), como fundamentación del diseño de un sistema para la medición continua de espesores por ultrasonido de tanques de almacenamiento para el ROBOT EXPLORER (robot explorador).

Para el cual se tienen que tomar una serie de consideraciones que son fundamentales para comenzar con el desarrollo del proyecto, se comenzó por hacer un diseño conceptual del sistema completo desde el análisis del acoplante a utilizar y del diseño de los componentes mecánicos.

Las actividades fueron realizadas de la siguiente forma:

- ✓ Realizar pruebas con el sistema que se tiene.
- ✓ Realizar pruebas de medición continua con el transductor que contamos en el laboratorio, con el acoplante ultrasónico en gel.
- ✓ Realizar pruebas de medición continua con el transductor que contamos en el laboratorio, con otro tipo de acoplante ultrasónico.
- ✓ Realizar el diseño mediante software del sistema mecánico para la medición continua.

Teniendo contemplado los requerimientos, se obtuvo un primer prototipo conceptual de la construcción del sistema de medición continua, esto se piensa que se realice de manera de prototipo por medio de una impresión en 3D, esto para hacer las experimentaciones adecuadas con el sistema y de ahí evaluar sus resultados para realizar el sistema de manera definitiva (cambiar el material de fabricación).

Índice

Agradecimientos.....	2
Resumen	3
Índice de figuras.....	6
Índice de tablas.....	8
Capítulo 1.....	9
Antecedentes.....	9
1.1 Antecedentes.....	10
1.2 Justificación	11
1.3 Objetivo	12
1.3.1 Objetivo General	12
1.3.2 Objetivos Específicos	12
1.4 Alcances	13
1.5 Contenido.....	13
Capítulo 2.....	14
Introducción.....	14
2.1 Introducción.....	15
2.2 Tipos de locomoción para un robot explorador	15
2.3 robots móviles con ruedas	16
2.4 Robot Explorador.....	17
2.5 Sensores	18
2.5.1 Sensor Láser	18
2.5.2 Encoders.....	18
2.6 Controlador.....	20
2.6.1 Microcontrolador	20
2.6.2 FPGA.....	21
2.6.3 DSP	22
2.7 Medición de espesores por ultrasonido	23
2.7.1 Medición por contacto	23
2.7.2 Medición por inmersión	24
Capítulo 3.....	25
Pruebas Del Sistema De Medición	25
3.1 Análisis del sistema de medición actual	26

3.2 Medición continua con acoplante.....	27
3.2.1 Pruebas de medición utilizando como acoplante el gel.....	27
3.2.2 Pruebas de medición utilizando otro acoplante	29
Capítulo 4.....	31
Diseño Mecánico Conceptual.....	31
4.1 Restricciones del sistema	32
4.1.2.- Altura del transductor.....	32
4.1.2 Calibración del sistema	33
4.1.3 Espacio en el robot	35
4.2 Diseño conceptual del sistema.....	36
4.2. 1 Diseño de la base (Mouse Path).....	36
4.2.2 Diseño de la camisa para el sensor	37
4.2.3 Diseño de tapa para la camisa	38
4.2.4 Diseño de tapa del sistema	39
4.2.5 Resorte del sistema	40
4.2.6 Sujetador de tijeras	41
4.2.7 Tijeras de presión	42
4.2.8 Tijeras para la rotación.....	43
4.3 Diseño final del sistema	44
Capítulo 5.....	46
Resultados.....	46
5.1.- Medidas finales del diseño	47
5.1.1.- Largo del sistema.....	47
5.1.2.- Altura del sistema	47
5.1.3.- Ancho del sistema	48
5.1.4.- Comparación de medidas.....	49
5.2 Piezas elaboradas	49
5.2.1.- Mouse Path	50
5.2.2.- Camisa para el sensor	50
5.2.3.- Tapa para la camisa.....	51
5.2.4.- Tapa para el sistema	52
5.2.5.- Resorte del sistema	52
5.2.6.- Sujetador de tijeras	53

5.2.7.- Tijeras de presión	53
5.2.8.- Tijeras de rotación.....	53
5.3.- Diseño final.....	54
5.4.- Resultados prácticos	55
5.4.1.- Altura del transductor.....	55
5.4.2.- Fácil calibración del sensor	56
Conclusiones	57
Referencias	58

Índice de figuras

Figura 1.- Primer robot explorador (Raúl Fernández, 2010).....	11
Figura 2. - Clasificación de los robots móviles según su locomoción.	16
Figura 3.- Configuración de ruedas para distintas aplicaciones.	16
Figura 4.- Esquema general de un robot móvil.....	17
Figura 5.- Principio de los codificadores de posición incrementales para posiciones lineales y angulares.....	19
Figura 6.- Disco de un codificador digital (a) con pista externa para aumentar la resolución y codificador absoluto (b) basado en un código pseudoaleatorio.	20
Figura 7.- Microcontrolador.....	21
Figura 8.- FPGA marca XILINX modelo SPARTAN.	22
Figura 9.- DSP marca Texas Instrument.	22
Figura 10.- Medición continua.	23
Figura 11.- Medición por inmersión.....	24
Figura 12.- Transductor.....	27
Figura 13.- Gel acoplante.	28
Figura 14.- Patrón de calibración.	28
Figura 15.- DMS Go (Instrumento de medición).....	28
Figura 16.- Correcta ubicación del transductor.	33
Figura 17.- Conector Bnc (Vilafont, 2010).....	34
Figura 18.- Sistema mecánico de una pluma (D, 2014)	34
Figura 19.- Sistema gira y atora.	35
Figura 20.- Medidas en el robot para nuestro sistema.....	35

Figura 21.- Mouse Path (Vista frontal).....	36
Figura 22.- Mouse Path (Vista por sección).....	37
Figura 23.- Camisa para el transductor (Vista frontal).....	37
Figura 24.- Camisa para el transductor (Vista lateral).....	38
Figura 25.- Camisa para el transductor (Vista por sección).....	38
Figura 26.- Tapa de transductor (Vista frontal).....	39
Figura 27.- Tapa de transductor (Vista por sección).....	39
Figura 28.- Tapa del sistema (Vista frontal).....	40
Figura 29.- Tapa del sistema (Vista por sección).....	40
Figura 30.- Resorte.....	41
Figura 31.- Sujetador de tijeras (Vista frontal).....	41
Figura 32.- Sujetador de tijeras (Vista por sección).....	42
Figura 33.- Tijeras de presión (Vista frontal).....	42
Figura 34.- Tijeras de presión (Vista por sección).....	43
Figura 35.- Tijeras de rotación (Vista frontal).....	43
Figura 36.- Tijeras de rotación (Vista por sección).....	44
Figura 37.- Sistema de medición continua (Vista frontal).....	44
Figura 38.- Sistema de medición continua (Vista lateral).....	45
Figura 39.- Sistema de medición continua (Vista por sección).....	45
Figura 40.- Medidas finales (Largo del sistema “X”)......	47
Figura 41.- Medidas finales (Altura del sistema “Y”)......	48
Figura 42.- Medidas finales (Ancho del sistema).....	48
Figura 43.- Mouse Path (Vista frontal).....	50
Figura 44.- Mouse Path (Vista inferior).....	50
Figura 45.- Camisa para el sensor (Vista frontal).....	50
Figura 46.- Camisa para el sensor (Vista inferior).....	51
Figura 47.- Tapa para la camisa (Vista frontal).....	51
Figura 48.- Tapa para la camisa (Vista inferior).....	51
Figura 49.- Tapa para el sistema (Vista frontal).....	52
Figura 50.- Tapa para el sistema (Vista inferior).....	52
Figura 51.- Resorte del sistema (Acero inoxidable).....	52
Figura 52.- Sujetador de tijeras (Vista frontal).....	53

Figura 53.- Tijeras de presión (Vista frontal).....	53
Figura 54.- Tijeras de rotación (Vista frontal).	53
Figura 55.- Resultado final (Vista isométrica).	54
Figura 56.- Resultado final (Vista lateral).....	54
Figura 57.- Resultado final (Vista frontal).	55

Índice de tablas

Tabla 1.- Comparación de resultados.	30
Tabla 2.- Resultados de pruebas a diferentes alturas.....	32
Tabla 3.- Observaciones de las pruebas.....	33
Tabla 4.- Comparación final de medidas.	49

Capítulo 1

Antecedentes

1.1 Antecedentes

Los robots exploradores son aquellos que se han diseñado con el fin de conocer y explorar un lugar en concreto con el fin de evitar poner en peligro la vida de personas o conseguir acceso a entornos en los que el hombre no llega (Ali M. Mohamed, 2014). Este tipo de robots cuentan con cámaras integradas para capturar imágenes que posteriormente son retransmitidas a la base para su posterior análisis. Aunque los robots exploradores pueden ser controlados de forma remota, también existen unidades capaces de tomar decisiones gracias a que cuentan con inteligencia artificial.

Estos robots cuentan con orugas, ruedas o patas que les permiten desplazarse de acuerdo a la programación a la que fueron sometidos. Estos robots cuentan con sistemas de sensores, que son los que captan la información que dichos robots elaboran. Los móviles son utilizados en instalaciones industriales, en la mayoría de los casos para transportar la mercadería en cadenas de producción, así como también en almacenes. Además, se utilizan robots de este tipo para la investigación en lugares de difícil acceso o muy distantes, es por eso que en se los utiliza para realizar exploraciones espaciales o submarinas.

Uno de los primeros robots móviles fue creado en 1948 por W. Grey Walter construye Elmer Elsie, dos robots autónomos, porque este robot le gustaba explorar su entorno (Figura 1). Elmer y Elsie fueron equipados con un sensor de luz. Si encontraban una fuente de luz que se movía hacia ella, evitando o mover los obstáculos en su camino (Tadayuki Sogi, 2000).

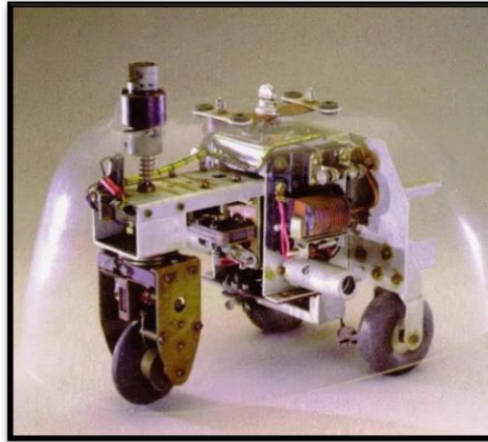


Figura 1.- Primer robot explorador (Raúl Fernández, 2010)

Aplicando tecnologías nuevas para ese entonces en la década de los 70's los robots móviles especializados en la exploración fueron ganando terreno, entre otros tipos de robots móviles. Tuvieron gran aceptación en el ámbito industrial y espacial.

Hoy en día es muy común encontrar a un sinnúmero de tipos de robots móviles tipo explorador de uso industrial, que desarrollan la tarea de analizar distintas zonas de trabajo, reduciendo significativamente el tiempo de trabajo, ya que esta tarea la hace de forma automática con la menor intervención humana posible a excepción de casos en las que el robot móvil llegue a sufrir una avería o algún inconveniente. Una de las causas por la cual el uso de estos robots móviles se encuentra en constante ascenso es consecuencia de su flexibilidad en cuanto a cambios en el papel que desempeñen.

1.2 Justificación

El mantenimiento de este tipo de estructuras cada día es más exigente, el sistema actual de medición ya no cumple con las necesidades del sector industrial, debido a que ahora se está solicitando una medición de manera continua y por consecuencia nuestro sistema no cumple las expectativas. Surge la necesidad de diseñar un nuevo sistema de medición para poder satisfacer las nuevas necesidades del sector industrial.

Es por eso que se propone el diseñar un nuevo sistema de medición continua, el cual cumplirá todas las necesidades que el nuevo sistema requiera, previniendo cualquier problema o situación que se presente durante alguna inspección.

1.3 Objetivo

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema para la medición de continua de espesores de tanques de almacenamiento de manera exacta; para implementarlo en el robot explorador, tomando como referencia el sistema actual de medición y basándose en la norma NRF-279-PEMEX-2011 de Petróleos Mexicanos. Implementando materiales apropiados para cumplir dicha norma.

1.3.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos que se tienen para este proyecto son los siguientes:

- Realizar pruebas con el sistema que se tiene, para analizar el funcionamiento del sistema.
- Realizar pruebas de medición continua con el transductor que contamos en el laboratorio, con la ayuda de un acoplante ultrasónico en gel.
- Realizar pruebas de medición continua con el transductor que contamos en el laboratorio, sustituyendo el acoplante usado anteriormente.
- Realizar el diseño mediante software del sistema mecánico para la medición continua, tomando en cuenta el almacenamiento del acoplante, la estabilidad del sensor para una medición correcta y la calibración del mismo.

1.4 Alcances

Los alcances que se esperan obtener con la realización de este proyecto se presentan a continuación:

- Realizar la medición de espesores de manera continua cumpliendo todas las normas necesarias.
- Sustituir el acoplante ultrasónico en gel por otro tipo de acoplante.
- Optimizar lo mejor posible el nuevo acoplante que se utilizara.
- Diseño del sistema mecánico, que proporcione una medición confiable y continua.

1.5 Contenido

En el capítulo 2, se dará una introducción detallada de lo que es un robot explorador, sus partes mecánicas y electrónicas, así como las diferentes maneras de medir espesores por medio de ultrasonido. En el capítulo 3 se realizarán las pruebas necesarias para la medición continua de espesores con diferentes acoplantes. En el capítulo 4 con ayuda de un software CAD se hará un primer diseño en computadora del posible prototipo del sistema de medición continua y en el capítulo 5 se mostrarán los resultados obtenidos.

Capítulo 2

Introducción

2.1 Introducción

En la actualidad los avances obtenidos en el campo de la robótica han crecido inmensamente por el papel tan importante que juegan, ya que ayudan al desarrollo de la humanidad, todo esto es resultado de años de estudios y de construcción de artefactos complejos que materializan ideas para facilitar el trabajo que desarrolla un ser humano (Raúl Fernández, 2010). Es de importancia destacar los inicios de la robótica, el cual, tiene vestigios de iniciar en la civilización árabe, esto marca la pauta para darle sentido a ciertos mecanismos arcaicos y toscos que realizaban movimientos sistemáticos que ayudaban a desarrollar una actividad humana.

Al pasar de los años el avance en el estudio fue creciendo hasta llegar a contraste y poder tener un concepto más claro de lo que se hacía hasta el momento; esto fue gracias a un escritor checo llamado Capek el cual en su novela dramática “Rassum’s Universal Robots” donde hace mención de la palabra robot, que tiene raíces en la palabra “robota” que significa trabajo forzado o certidumbre. Tiempo después Asimov continuaba cimentando la base del concepto de robótica actual, en sus obras hace alusión a tres leyes de la robótica, los éxitos de estas obras literarios hicieron que muchos investigadores y científicos se centraran en este nuevo campo.

2.2 Tipos de locomoción para un robot explorador

Los robots en general se impulsan o generan su movimiento mediante distintas formas, a causa de esto surge una nueva clasificación según sea el tipo de locomoción o forma en la que se impulsa e inicia movimiento un robot móvil se puede clasificar en los siguientes tipos de locomoción como se puede ver en la figura 2 (Raúl Fernández, 2010).

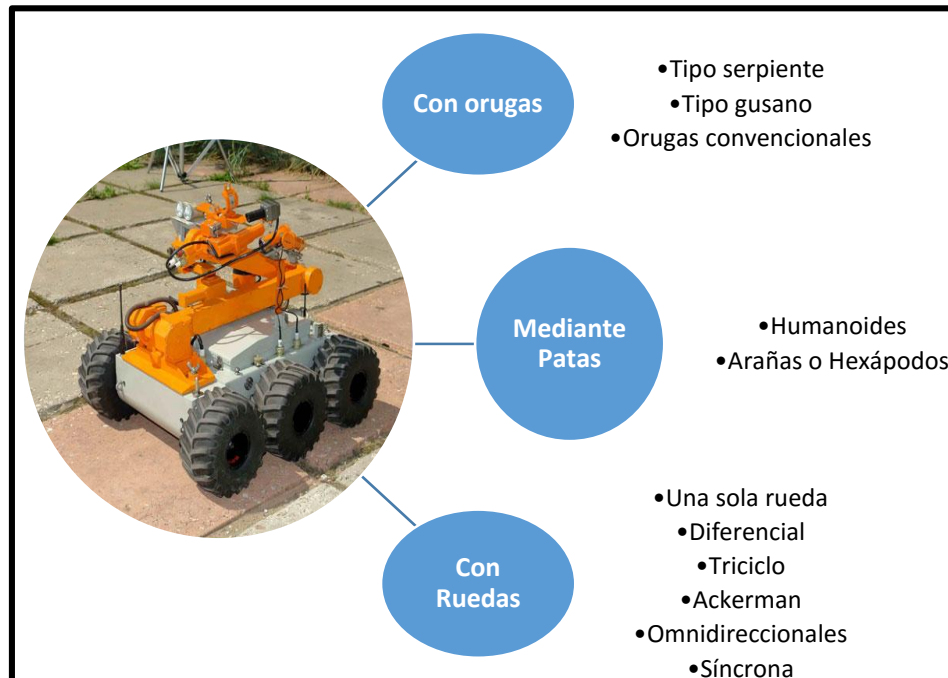


Figura 2. - Clasificación de los robots móviles según su locomoción.

2.3 robots móviles con ruedas

Se describe a un robot móvil como un dispositivo electromecánico el cual es capaz de desplazarse dentro de un entorno de trabajo, teniendo un sinnúmero de aplicaciones en áreas muy diversas de trabajo (Ali M. Mohamed, 2014). Para esto existen una serie de configuraciones para distintos tipos de ruedas los cuales tienen aplicaciones especiales.

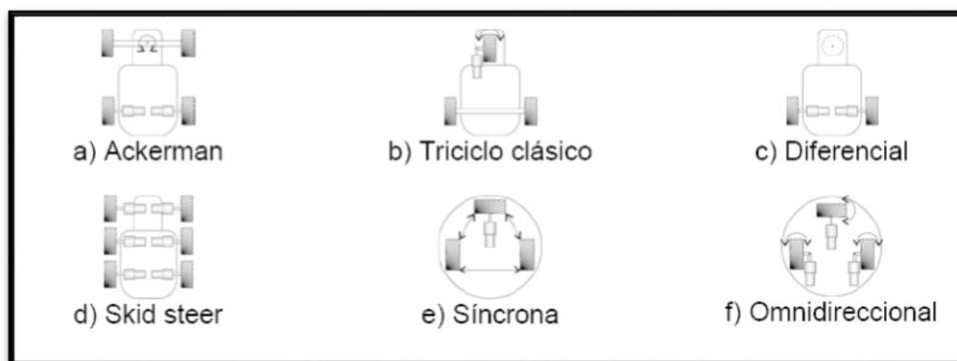


Figura 3.- Configuración de ruedas para distintas aplicaciones.

Esta investigación se centra en el desarrollo de un robot móvil con ruedas capaz de desempeñar actividades programadas dentro de un ambiente industrial, en su mayoría los robots móviles que se encuentran en los mercados son excesivamente caros y cuentan con funciones especializadas (poca flexibilidad), por lo que se espera conseguir modelos más generales y económicos, de tal forma que sean de fácil acceso a compañías que buscan actualizar y mejorar sus métodos de producción.

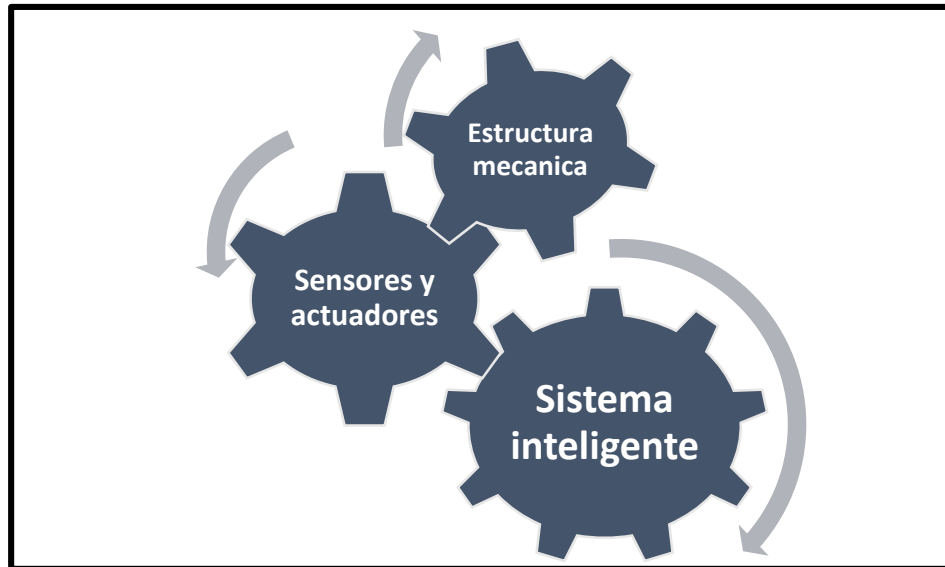


Figura 4.- Esquema general de un robot móvil.

2.4 Robot Explorador

Los robots exploradores son aquellos que se han diseñado con el fin de conocer y explorar un lugar en concreto con el fin de evitar poner en peligro la vida de personas o conseguir acceso a entornos en los que el hombre no llega (Mahmoud Tavakoli C. V., 2013). Este tipo de robots cuentan con cámaras integradas para capturar imágenes que posteriormente son retransmitidas a la base para su posterior análisis (Weimin Shen and Jason Gu, 2005). Aunque los robots exploradores pueden ser controlados de forma remota, también existen unidades capaces de tomar decisiones gracias a que cuentan con inteligencia artificial. También se les utiliza en trabajos peligrosos como en investigación en laboratorios, para el rescate de personas, localización de minas terrestres o exploraciones arriesgadas.

2.5 Sensores

De forma similar a los seres vivos, los sensores facilitan la información necesaria para que los robots interpreten el mundo real. Todo robot debe tener al menos un sensor con el que interactuar. La mayoría de los sistemas robóticos incluyen al menos sensores de obstáculos (bumpers) y algún sensor de guiado por infrarrojos o ultrasonidos (R. Lal Tummala, 2002).

Para entender un poco mejor describiremos lo que es un sensor; es un dispositivo que a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es función de la variable medida (Ali M. Mohamed, 2014).

El número de sensores disponibles para las distintas magnitudes físicas es tan elevado que no se puede proceder racionalmente a su estudio sin clasificación previamente de acuerdo con algún criterio.

Desde el punto de vista de ingeniería electrónica, es más atractiva la clasificación de los sensores de acuerdo con el parámetro variable: resistencia, capacitivo, inductancia, añadiendo luego los sensores generadores de tensión, carga o corriente, y otros tipos. Este tipo de clasificación permite reducir en pocos grupos y se puede hacer un buen estudio de los acondicionadores ordinarios para las magnitudes más frecuentes.

2.5.1 Sensor Láser

Un sensor de este tipo es un dispositivo que permite detectar con una gran precisión la posición en la que se encuentra un objeto en relación a un punto; tiene una importante aplicación al detectar la presencia significativa de pequeños objetos que pierden (R. Lal Tummala, 2002).

2.5.2 Encoders

La medida de posiciones lineales y angulares ha sido hasta el momento el único campo con abundantes desarrollos comerciales de sensores con salida digital, incluso antes de la era del microprocesador. Aun así, un grupo de estos sensores, solos denominados encoders incrementales, es de tipo “casi digital”, pero por razones de afinidad exponen aquí (Mariusz Giergiel, 2011).

2.5.2.1 Encoder incremental

En un codificador de posición incremental hay un elemento lineal o un disco con poca inercia que se desplaza solidario a la pieza cuya posición se desea determinar (Mahmoud Tavakoli C. V., 2013). Dicho elemento posee dos tipos de zonas o sectores, con una propiedad que las diferencia, dispuestas de forma alternativa y equidistante (Figura 5). De este modo, un incremento de posición produce un cambio definido en la salida si se detecta dicha propiedad cambiante con la posición mediante un dispositivo o cabezal de lectura fijo.

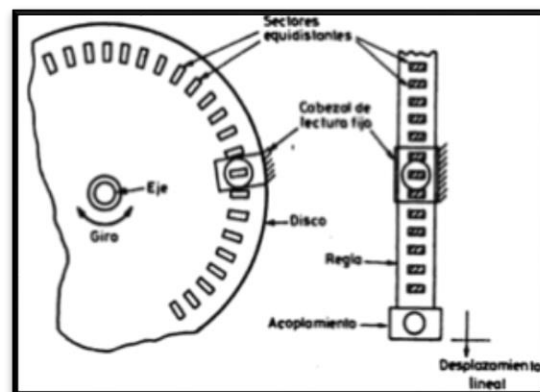


Figura 5.- Principio de los codificadores de posición incrementales para posiciones lineales y angulares.

2.5.2.2 Encoder Absoluto

Los codificadores de posición absolutos ofrecen a su salida una señal codificada correspondiente a la posición de un elemento móvil, regla o disco, con respecto a una

referencia interna (Ali M. Mohamed, 2014). Para ello, el elemento móvil dispone de zonas con una propiedad que distingue, y a las que asigna un valor binario “0” o “1”. Pero, a diferencia de los codificadores incrementales, hay varias pistas con zonas diferenciales y están agrupadas de tal forma que el sistema de lectura obtiene directamente, en cada posición del elemento móvil, el número codificado que da una posición (Figura 6). Cada pista representa un bit de salida, siendo la pista más interior la correspondiente al bit de mayor peso. Los tipos de sensores más empleados en este caso son los ópticos, con zonas opacas y transparentes y, en menor medida.

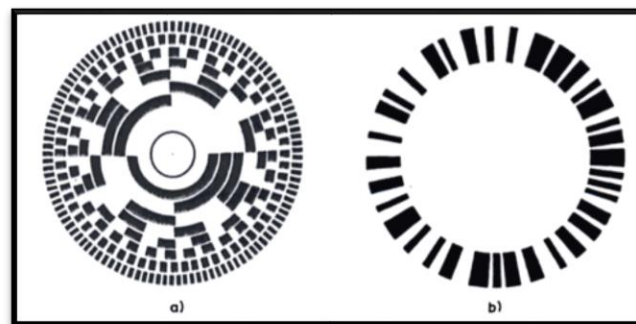


Figura 6.- Disco de un codificador digital (a) con pista externa para aumentar la resolución y codificador absoluto (b) basado en un código pseudoaleatorio.

2.6 Controlador

2.6.1 Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica (Mahmoud Tavakoli C. V., 2013). Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada y salida, (figura 7).

Por lo general, tendrán la capacidad para mantener la funcionalidad a la espera de un evento como pulsar un botón o de otra interrupción, el consumo de energía durante el

estado de reposo puede ser sólo nanovatios, lo que hace que sean adecuados para aplicaciones con batería de larga duración. Otros microcontroladores pueden servir para roles de rendimiento crítico, donde sea necesario actuar más como un procesador digital de señal (DSP), con velocidades de reloj y consumo de energía más altos.

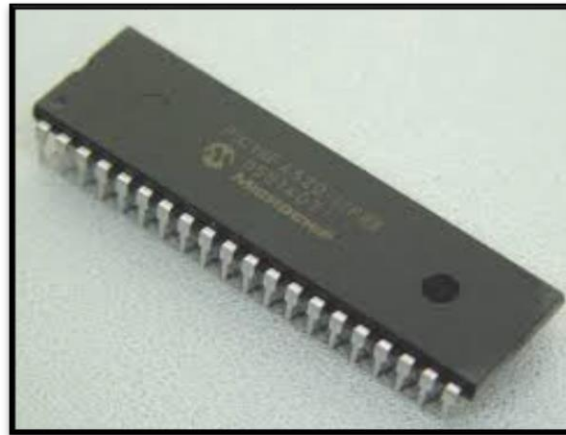


Figura 7.- Microcontrolador.

2.6.2 FPGA

Un FPGA del inglés “Field Programmable Gate Array”, es decir, “Arreglo de Compuertas Programables en Campo”, se puede ver en la figura 8, es un dispositivo semiconductor que puede ser programado después de la fabricación (Mariusz Giergiel, 2011). En lugar de limitarse a cualquier función de hardware predeterminado, un FPGA permite programar características y funciones del producto, adaptarse a las nuevas normas y volver a configurar el hardware para aplicaciones específicas, incluso después de que el producto se ha instalado en el campo, de ahí el nombre de "campo programable" (Fabien T^ache, 2010).



Figura 8.- FPGA marca XILINX modelo SPARTAN.

2.6.3 DSP

Un DSP (Digital Signal Processor) o Procesador Digital de Señales es un microprocesador especializado en el análisis de señales en tiempo real, mostrado en la figura 9. Se caracteriza por poseer un set de instrucciones que permiten manejar de manera eficiente el procesamiento de una señal (Weimin Shen and Jason Gu, 2005). Un DSP proporciona una rapidez y baja latencia, que permite el procesamiento de señales en tiempo real, y aun así siendo una herramienta de bajo consumo.



Figura 9.- DSP marca Texas Instrument.

2.7 Medición de espesores por ultrasonido

Las mediciones con ultrasonido utilizan ondas sonoras de alta frecuencia que se transmiten en un material para detectar discontinuidades o localizar a los cambios en las características del material. El sonido se introduce en el objeto que está siendo examinado y los reflejos de imperfecciones internas, áreas de impedancia acústica, o variando las superficies geométricas son devueltos a un receptor (Mahmoud Tavakoli C. V., 2013). Este tipo de medición solo puede hacer de dos maneras, por medio de contacto y por medio de inmersión.

2.7.1 Medición por contacto

Se emplea en contacto directo con la pieza, donde los materiales de prueba son relativamente planos y uniformes. Las mediciones con transductores de contacto directo son a menudo las más simples de implementar y, generalmente, son la primera opción para aplicaciones de medición de espesores (figura 10) (Fabien T^ache, 2010).



Figura 10.- Medición continua.

2.7.2 Medición por inmersión

Estos sensores no hacen contacto de ningún tipo con la pieza a medir, sino que por lo general, tanto el transductor como la pieza están sumergidos en un fluido (que actúa además como acoplante) y se usan con mayor frecuencia en un sistema de escaneo automático (figura 11) (Fabien T^hache, 2010).



Figura 11.- Medición por inmersión.

Capítulo 3

Pruebas Del Sistema De Medición

3.1 Análisis del sistema de medición actual

El sistema de medición actual con el que cuenta el robot explorador consta de

- Un pistón: hace subir y bajar el sensor de medición.
- Una camisa: protege al sensor.
- Dos engranes: hacen funcionar al pistón.
- Motor: activa los engranes.
- Un tope mecánico: detiene la activación del motor.
- Tijeras mecánicas: facilitan la estabilidad del sensor al momento de realizar las mediciones.

La forma de trabajar de este sistema es básicamente:

- El usuario activa por medio del control de mando el modo de medición.
- Esta acción activa al motor que a su vez hace girar los engranes.
- Estos hacen bajar al pistón que está unido a la camisa que protege al sensor.
- Cuando el sensor se encuentra en contacto con la placa, al mismo tiempo, el tope mecánico detiene el giro del sensor.
- Cuando el motor está detenido, se espera cierto tiempo para activar el regreso del pistón, el cual se logra solo invirtiendo el sentido de giro del motor.
- Para detener este nuevo giro, de nueva cuenta el tope mecánico lo detiene.

Estas acciones se repiten cada vez que el usuario lo solicite por medio del control de mando.

Tras el análisis del sistema con el que cuenta el robot explorador, nos damos cuenta que realiza una medición de manera puntual, y el propósito de este proyecto es hacer la medición de manera continua y por consecuencia el sistema actual no nos servirá del todo para nuestro nuevo sistema.

3.2 Medición continua con acoplante

Debido a la aplicación a la que está dedicado el robot explorador, un aspecto muy importante a considerar es la exactitud de nuestra medición, porque el proporcionar una medición falsa puede causar daños fatales a largo o a corto plazo, es esa una razón de implementar una medición continua.

El robot explorador actualmente cuenta con un sensor (transductor) que está especialmente diseñado para hacer una medición de manera puntual, pero en el laboratorio se tiene un sensor que puede realizar mediciones tanto de manera puntual como de manera continua.

Para poder realizar una medición con el transductor con el que se cuenta en el laboratorio, el sensor necesita un acoplante, ya sea en gel o algún otro, la utilización de acoplante en la medición es fundamental, debido a que el sensor no mide sin algún tipo de acoplante.

3.2.1 Pruebas de medición utilizando como acoplante el gel

Para la realización de las pruebas fueron hechas en el área del laboratorio, para las cuales solo se necesitó del transductor (Figura 12), el gel acoplante (Figura 13), el patrón de calibración (Figura 14) y un instrumento de medida (DMS Go) (Figura 15).



Figura 12.- Transductor.



Figura 13.- Gel acoplante.

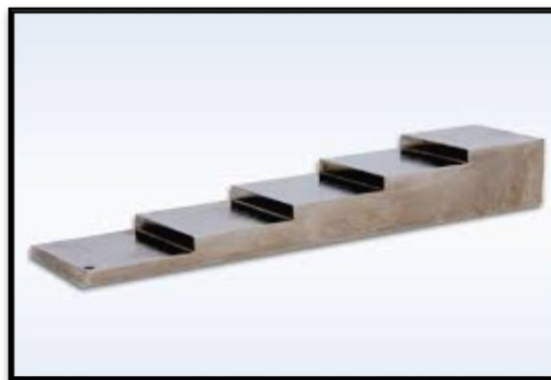


Figura 14.- Patrón de calibración.



Figura 15.- DMS Go (Instrumento de medición).

El procedimiento de realización de las pruebas fue:

- Conectar el transductor al DMS Go.
- Colocar un poco de gel al transductor en la parte de abajo.

- La medición puntual se realiza en la parte de los escalones del patrón, esto para ver calibrar el sensor.
- Una vez calibrado, se le vuelve a poner gel al transductor.
- Se coloca en la parte contraria del patrón (zona lisa) y se desliza de arriba hacia abajo, es decir, de la parte más delgada a la más gruesa y viceversa, de esta manera realizamos la medición continua.

Tras hechas las pruebas necesarias con el transductor, llegamos a la conclusión de que utilizando ese sensor y con el acoplante en gel, nos proporciona una medición de ± 0.005 mm de precisión de manera puntual, para una medición de manera continua, la utilización del gel no es muy conveniente, debido a que no es mucha la distancia que se puede medir, a causa que el gel se queda en la placa y no puede ser utilizado de nueva cuenta y en la medición de sensor poco a poco va siendo errónea hasta no medir nada.

3.2.2 Pruebas de medición utilizando otro acoplante

Al igual que las pruebas anteriores, estas fueron realizadas en el laboratorio, se utilizó el mismo material, lo único que cambio fue el acoplante a utilizar.

El acoplante debe de ser un líquido más o menos viscoso que se utiliza para permitir el paso de las ondas del transductor a la pieza bajo examinación, ya que las frecuencias que se utilizan para materiales metálicos no se transmiten en el aire. Las características a considerar para un acoplante son:

- Humectabilidad. (capaz de mojar la superficie y el palpador)
- Viscosidad adecuada.
- Baja atenuación. (que el sonido se transmita al 100%)
- Bajo costo.
- Removible.
- No toxico.
- No corrosivo.
- Impedancia acústica adecuada.

Para estas pruebas se decidió utilizar agua como acoplante, debido que es más fácil conseguir y su costo es más factible. Actualmente, otros sistemas de medición usan como utilizan el agua como acoplante, la diferencia que habrá en el manejo del acoplante es que el robot explorador podrá realizar la medición completa de un tanque de almacenamiento con menor cantidad de agua que los otros sistemas, por consecuente el desperdicio de agua será menor, este es un aspecto importante a considerar para el diseño del nuevo prototipo.

Tras realizar las pruebas de medición necesarias utilizando como acoplante el agua, se obtuvieron resultados muy similares en referencia a lo que fueron obtenidos anteriormente con el gel.

A continuación, se mostrará un cuadro comparativo entre ambas pruebas (Tabla 1)

Tabla 1.- Comparación de resultados.

Tipo de Medición	Acoplante	
	Gel	Agua
Medición puntual horizontal	√	√
Medición continua horizontal	√	√
Medición puntual vertical	√	√
Medición continua vertical	√	√

En esta tabla se puede observar que ambos acoplantes realizan una buena medición con una margen de error muy pequeño (± 0.005 in) que para nuestras necesidades se puede considerar como un margen de error aceptable.

Capítulo 4

Diseño Mecánico Conceptual

4.1 Restricciones del sistema

4.1.2.- Altura del transductor

Uno de los criterios a considerar es el tipo de acoplante a utilizar, el cual será agua y cuando se realizaron las pruebas nos dimos cuenta que el sensor debe de tener una capa de agua para poder medir, es por eso que el sensor debe de ir despegado de la placa lo suficiente para guardar cierta cantidad de agua, pero no demasiado porque la medición comienza a hacer errónea.

En base de esta consideración, se realizaron pruebas para entre que distancias el sensor mide correctamente y cuando comienza a fallar. Para poder estimar estas medidas, se cuenta con dos bases distintas, las cuales tienen diferentes alturas, las cuales nos sirven para darnos una altura estimada y además para darnos una idea de cómo puede ser la nueva base.

A continuación, se presenta una tabla comparativa (Tabla 2) de las distancias estimadas para el sensor, dichas pruebas se realizaron con ambos acoplantes.

Tabla 2.- Resultados de pruebas a diferentes alturas.

Tipo de Medición	Acoplante		Base		Distancia (mm)	
	Gel	Agua	Acrílico	Azul	1.5	2.5
Medición puntual horizontal	√	√	√	√	√	√
Medición continua horizontal	√	√	√	√	√	√
Medición puntual vertical	√	√	√	√	√	√
Medición continua vertical	√	√	√	√	√	√

Gracias a los resultados obtenidos con estas pruebas se obtuvieron las siguientes consideraciones (Tabla 3)

Tabla 3.- Observaciones de las pruebas.

	Medición general	Base	
		Acrílico	Azul
Observaciones	La medición con agua requiere de la misma para poder realizar la medición	El agua se sale por la parte plana del transductor	El agua se sale por los orificios de la pieza
	No se requiere separar la base de la placa para medir de manera puntual y de manera continua, tanto en horizontal como en vertical		Dura mucho a comenzar a medir, necesita mucha agua para comenzar a medir
	La distancia óptima para realizar la medición es de 1.90 mm de separación entre la placa y el sensor		

Tras analizar las observaciones anteriores, se llegó a la conclusión de que la base para el transductor será parecida a la pieza de acrílico y que el sensor estará separado 1.90mm de la placa. En la siguiente fig. (Figura 16) se puede observar gráficamente lo mencionado anteriormente.

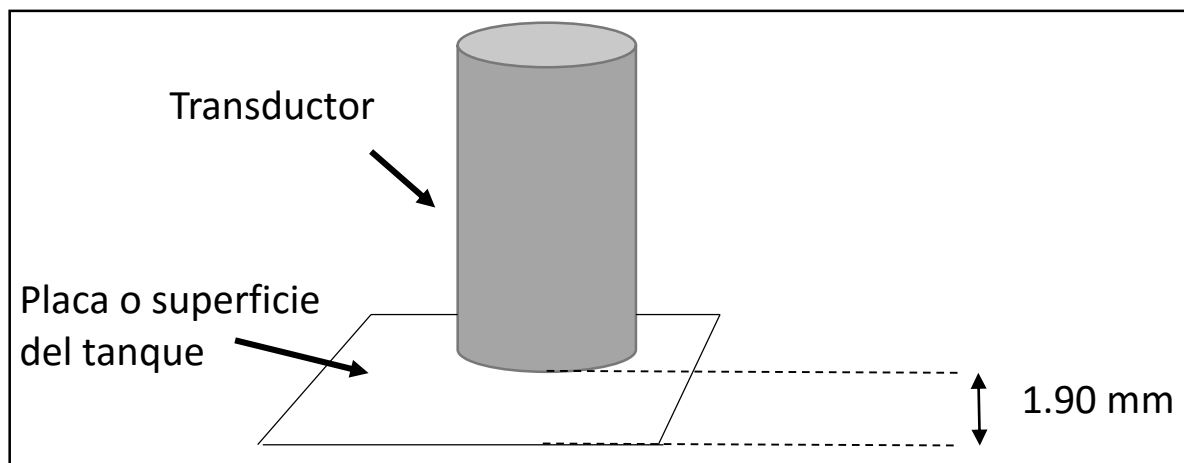


Figura 16.- Correcta ubicación del transductor.

4.1.2 Calibración del sistema

Debido a que el robot explorador es un producto comercial, la persona que lo comprara debe de poder calibrar el sistema de medición (transductor), es por eso que el usuario

pueda poner y quitar el sensor sin ningún problema, es por eso que el sistema se puede poner y quitar fácilmente o solo poder desmontar y montar el puro sensor.

Para el sistema de fácil acceso al transductor, se tuvieron algunas ideas como el sistema Bnc (Figura 17) (utilizado en equipos electrónicos o cable coaxiales) y la otra opción fue implementar el sistema de una pluma retráctil y adaptarlo a nuestro sistema. Se eligió el de la pluma retráctil debido a que la elaboración de las piezas es mucho más sencilla que si se utiliza el sistema Bnc, además es más eficiente para cumplir con las características que requerimos es el sistema de una pluma retráctil (Figura 18). En base a este sistema se realiza el diseño conceptual del nuestro.



Figura 17.- Conector Bnc (Vilafont, 2010).

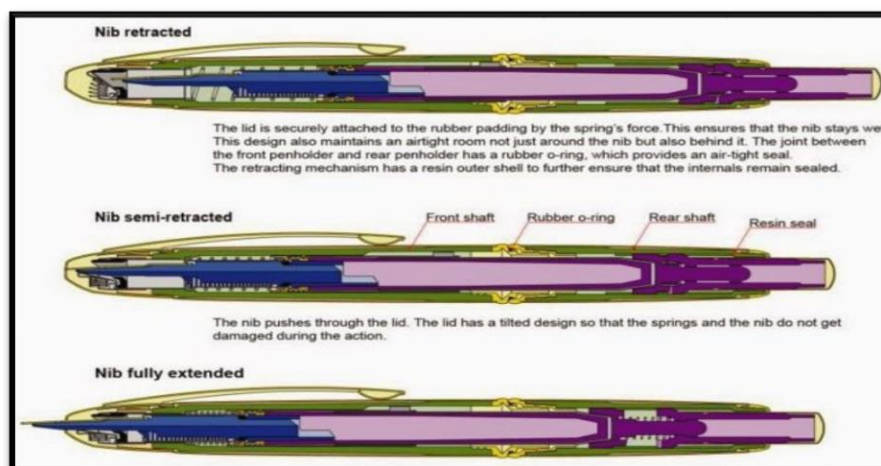


Figura 18.- Sistema mecánico de una pluma (D, 2014)

Tomando en cuenta los anteriores sistemas, se llegó a la conclusión de realizar un sistema de “gira y atora” (Figura 19), al cual se le ejerce una presión en la parte superior y al llegar al tope inferior, se girará y se atorará, esto generará que el sensor no regrese a su posición inicial.

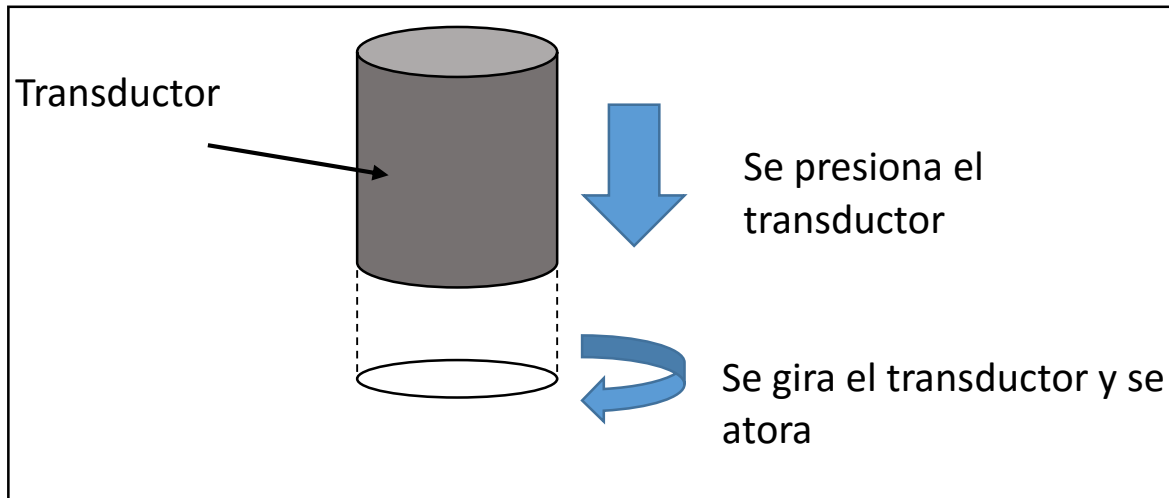


Figura 19.- Sistema gira y atora.

4.1.3 Espacio en el robot

Debido a que el robot tiene un espacio limitado para el sistema de medición, nuestro diseño para el nuevo sistema se debe adecuar a estas medidas (Figura 20), lo cual nos delimita nuestro espacio de trabajo y nuestro diseño.

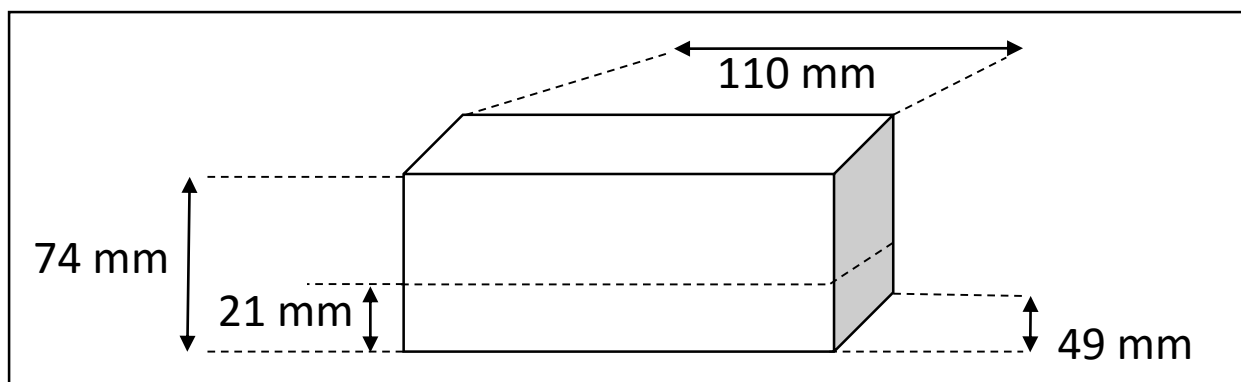


Figura 20.- Medidas en el robot para nuestro sistema.

4.2 Diseño conceptual del sistema

4.2. 1 Diseño de la base (Mouse Path)

La base o Mouse Path, es la parte que siempre está en contacto con la placa, es la pieza que debe de tener más resistencia debido a que está constantemente expuesta al desgaste, y por esta razón la calibración es muy necesaria, pues no es del mismo grosor la pieza nueva que después de un cierto número de mediciones.

A continuación, se muestra el diseño conceptual del nuevo Mouse Path (Figura 21) y en vista por sección (Figura 22), este diseño ya toma en consideración, la altura de medición (1.90 mm) y la forma es en base a la pieza de acrílico utilizada en las pruebas mencionadas anteriormente.

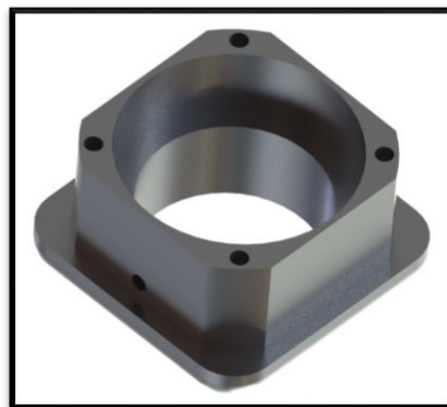


Figura 21.- Mouse Path (Vista frontal).

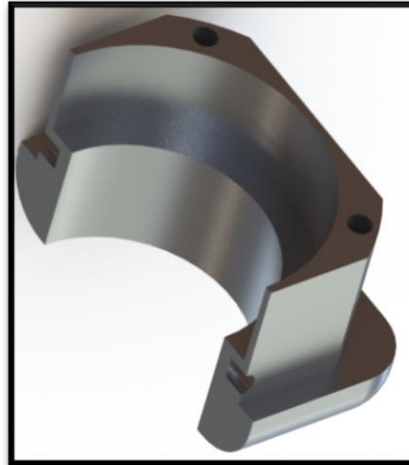


Figura 22.- Mouse Path (Vista por sección).

4.2.2 Diseño de la camisa para el sensor

La camisa es la pieza que protege al sensor, la cual evita cualquier movimiento del sensor, ya sea que se estabilice y mida de manera incorrecta (Figura 23 y Figura 24). El diseño de esta pieza está pensado exclusivamente para este transductor en especial, cuenta con una especie de dientes para poder cumplir con la extracción del sensor para su correcta calibración, con el espacio para un ornig (empaquetado) para evitar cualquier fuga de líquidos y los conductos para el acoplante (agua) (Figura 25).



Figura 23.- Camisa para el transductor (Vista frontal).



Figura 24.- Camisa para el transductor (Vista lateral).

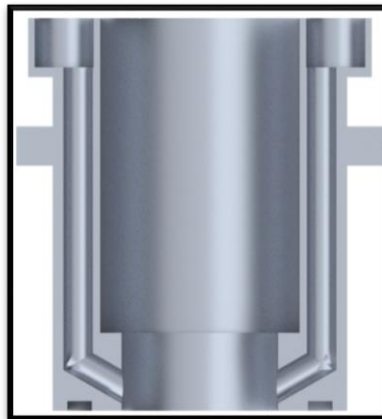


Figura 25.- Camisa para el transductor (Vista por sección).

Las medidas tanto para los conductos del oring y del agua, son medidas comerciales estándar (1 – 1.5 in y 0.1 in, respectivamente).

4.2.3 Diseño de tapa para la camisa

La tapa para la camisa (Figura 26 y 27) hace la función de hacer presión al transductor para que no realice mediciones incorrectas, además es de donde se hace la presión para meter o sacar el sensor para su mantenimiento o calibración.

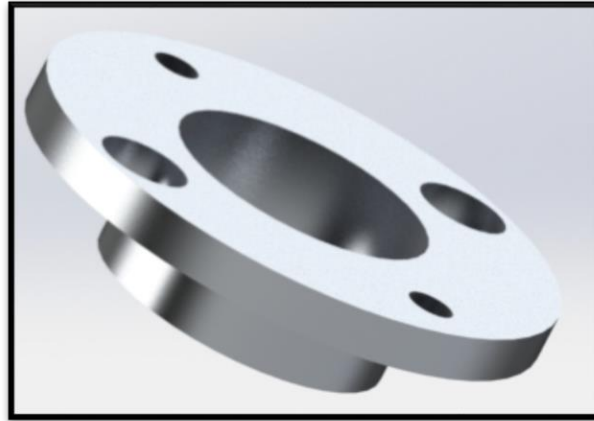


Figura 26.- Tapa de transductor (Vista frontal).

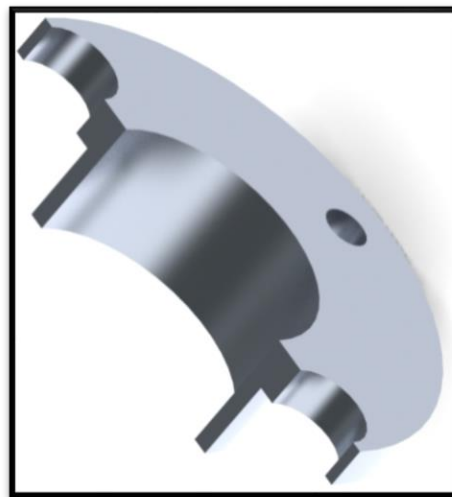


Figura 27.- Tapa de transductor (Vista por sección).

4.2.4 Diseño de tapa del sistema

Esta pieza (Figura 28 y 29), es la encargada de proteger todo el sistema, la tapa es la encargada de sujetar todo el sistema al robot y mantiene todo el sistema en su lugar.

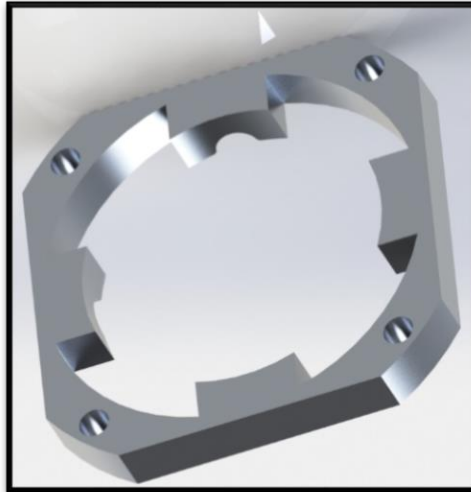


Figura 28.- Tapa del sistema (Vista frontal).

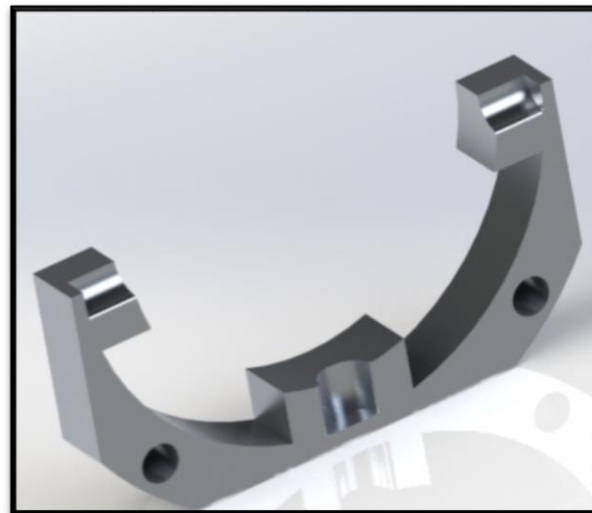


Figura 29.- Tapa del sistema (Vista por sección).

4.2.5 Resorte del sistema

El resorte en este sistema (Figura 20) es fundamental, debido a que es quien facilitara el poner y quitar el transductor para su calibración o mantenimiento. Las especificaciones del resorte se adaptaron a nuestro sistema. Las medidas del resorte son:

- Diámetro del alambre: 2mm.

- Diámetro interno del resorte: 33.45mm.
- Diámetro externo del resorte: 37.10mm.
- Largo del resorte sin presión: 14.80mm.



Figura 30.- Resorte.

4.2.6 Sujetador de tijeras

Esta pieza (Figura 31 y Figura 32) tiene la función de sujetar las tijeras al robot, tiene la libertad de moverse arriba y abajo, esto permitirá que el sensor tenga la oportunidad de mantenerse lo más cercano a la placa por si se encuentra con un cordón de soldadura o alguna rebaba.



Figura 31.- Sujetador de tijeras (Vista frontal).

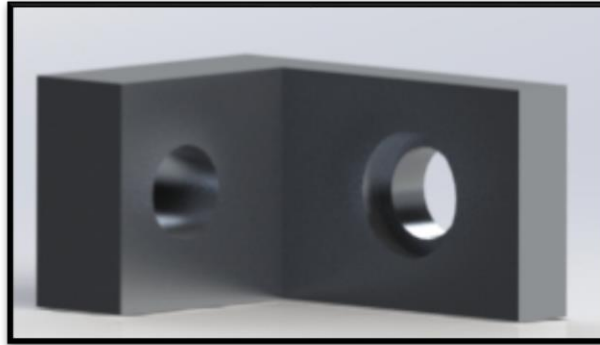


Figura 32.- Sujetador de tijeras (Vista por sección).

4.2.7 Tijeras de presión

La principal característica de esta pieza (Figura 33 y Figura 34) es que hace presión en el Mouse Path y permite que realice una medición de manera continua, dicha presión es realizada gracias a un parte de resortes de torsión.

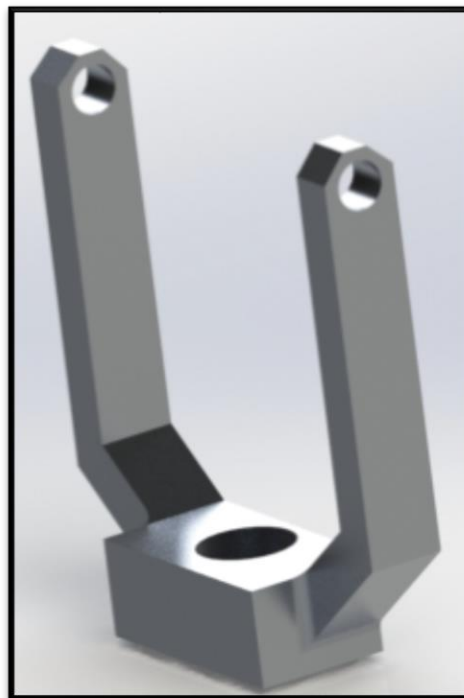


Figura 33.- Tijeras de presión (Vista frontal).

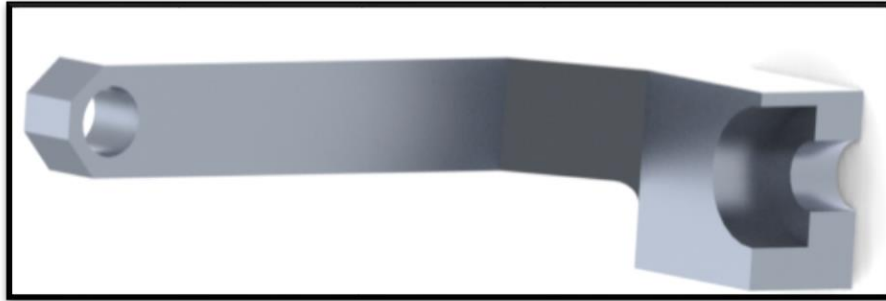


Figura 34.- Tijeras de presión (Vista por sección).

4.2.8 Tijeras para la rotación

Las tijeras para la rotación (Figura 35 y 36) permiten que, ante cualquier obstáculo o imperfección en la estructura analizada, que el transductor siempre este midiendo, debido que gracias a las tijeras de presión y a las de rotación, el Mouse Path siempre este lo más cercano a la placa o dure el menor tiempo para acercarse a la misma.

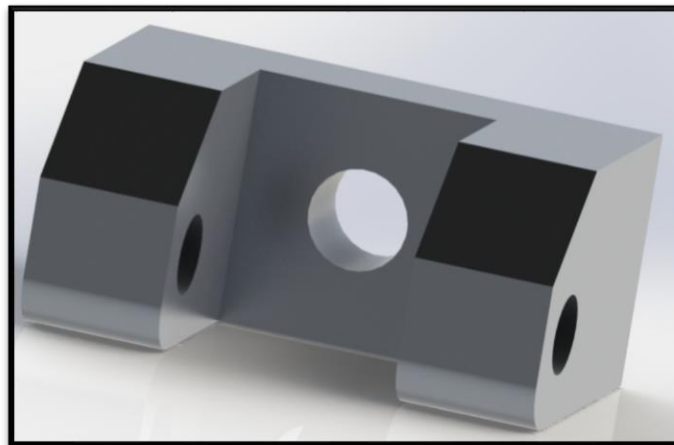


Figura 35.- Tijeras de rotación (Vista frontal).

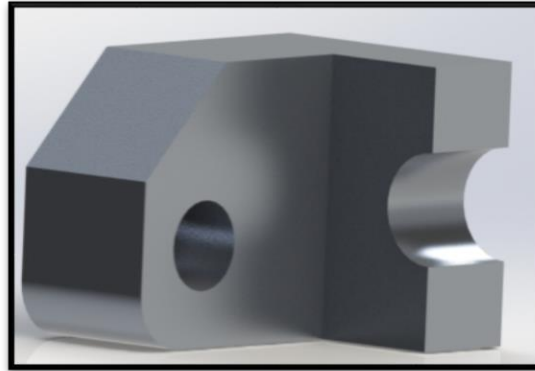


Figura 36.- Tijeras de rotación (Vista por sección).

4.3 Diseño final del sistema

Tras haber mostrado y descrito brevemente cada una de las piezas del sistema, a continuación, se mostrará el ensamble de cada una de las piezas (Figura 37, 38 y 39), dando como resultado, el sistema de medición continua.

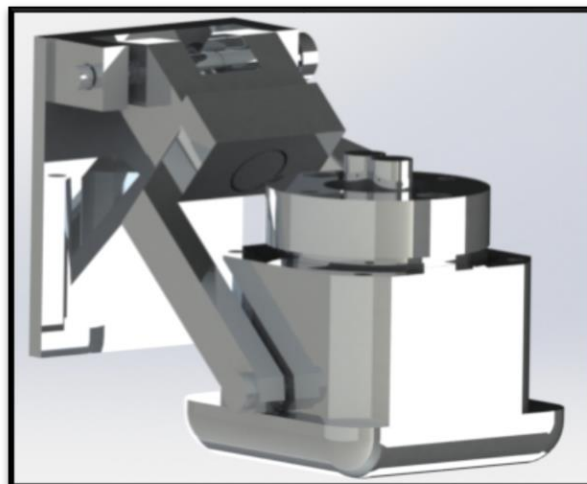


Figura 37.- Sistema de medición continua (Vista frontal).

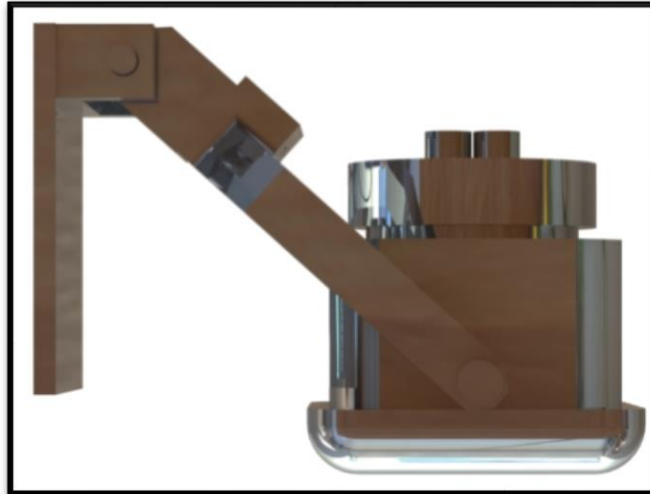


Figura 38.- Sistema de medición continua (Vista lateral).

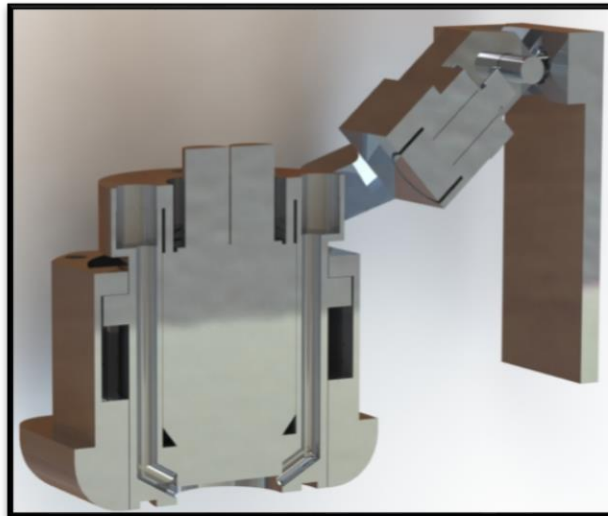


Figura 39.- Sistema de medición continua (Vista por sección).

Capítulo 5

Resultados

5.1.- Medidas finales del diseño

5.1.1.- Largo del sistema

Tras haber concluido el diseño del sistema, nos damos cuenta (Figura 40) que el diseño está dentro de las medidas originales, en lo que corresponde a lo largo del sistema. Esta medida es considerada desde la placa demostrativa (donde se une el sujetador de las tijeras con el robot) hasta el borde del Mouse Path.

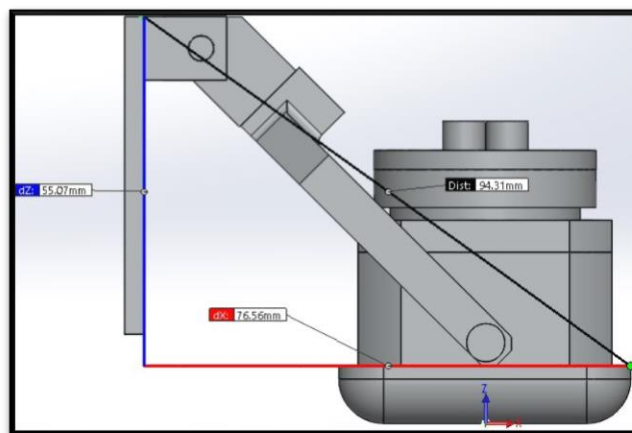


Figura 40.- Medidas finales (Largo del sistema "X").

5.1.2.- Altura del sistema

Tras haber concluido el diseño del sistema, nos damos cuenta (Figura 41) que el diseño está dentro de las medidas originales, en lo que corresponde a la altura del sistema. Esta medida está considerada desde la parte superior del sujetador de las tijeras hasta la base del Mouse Path.

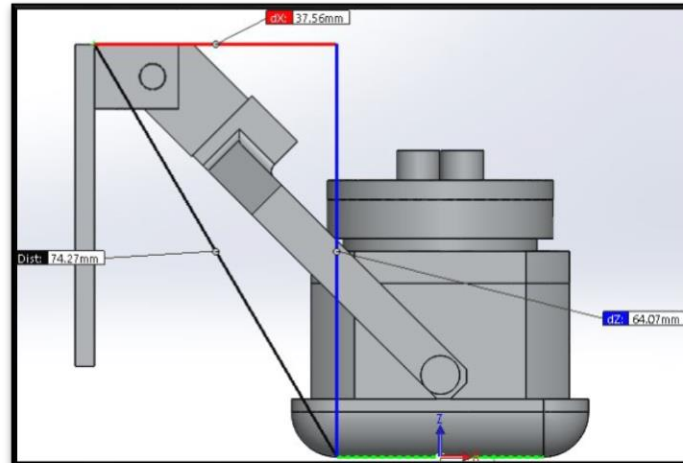


Figura 41.- Medidas finales (Altura del sistema "Y").

5.1.3.- Ancho del sistema

Tras haber concluido el diseño del sistema, nos damos cuenta (Figura 42) que el diseño está dentro de las medidas originales, en lo que corresponde a lo ancho del sistema. Estas medidas se considerada de la parte más ancha del sistema, en este caso es de los pernos en el Mouse Path.

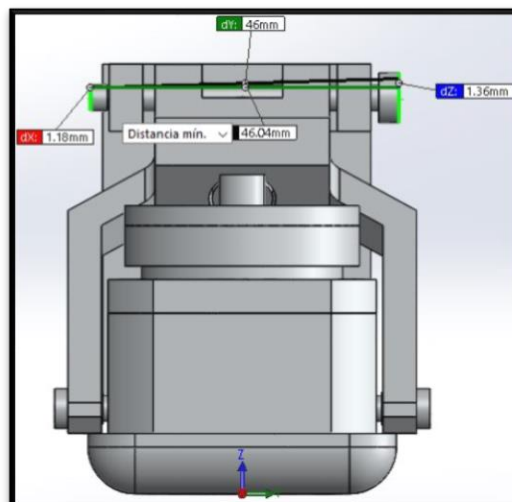


Figura 42.- Medidas finales (Ancho del sistema).

5.1.4.- Comparación de medidas

En la Tabla 4 se puede observar como nuestro diseño cumple satisfactoriamente con las especificaciones del sistema planteado anteriormente, como se puede observar en las imágenes anteriores, nuestras medidas finales están dentro de nuestros parámetros.

Tabla 4.- Comparación final de medidas.

Consideraciones	Medidas (mm)		
	Largo	Altura	Ancho
<i>Medidas iniciales</i>	110	70	49
<i>Medidas finales</i>	76.56	64.07	46

Como se puede observar en la tabla anterior, nuestro sistema cumple con todas las restricciones planteadas inicialmente, siendo la restricción en el espacio la más complicada de cumplir.

5.2 Piezas elaboradas

Todas las piezas se decidieron fabricar en primera instancia en una impresora 3D, debido a que su elaboración lleva menos tiempo y es de un material resistente, además, ese solo un prototipo de prueba, si la medición es realizada de manera correcta, se procederá a realizar el maquinado de las piezas en otro material, esto también dependerá de la facilidad del maquinado de las mismas.

5.2.1.- Mouse Path

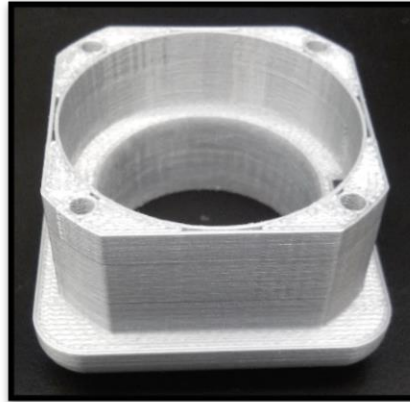


Figura 43.- Mouse Path (Vista frontal).

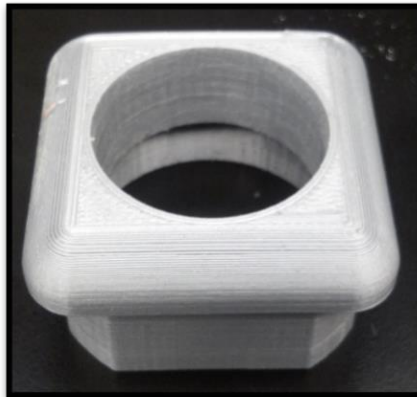


Figura 44.- Mouse Path (Vista inferior).

5.2.2.- Camisa para el sensor



Figura 45.- Camisa para el sensor (Vista frontal).

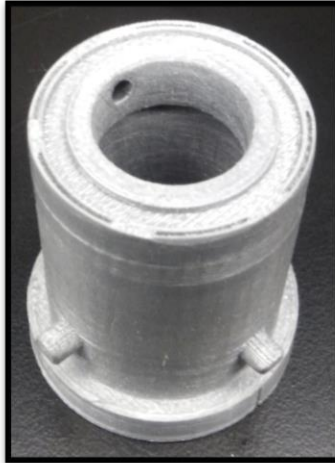


Figura 46.- Camisa para el sensor (Vista inferior).

5.2.3.- Tapa para la camisa



Figura 47.- Tapa para la camisa (Vista frontal).



Figura 48.- Tapa para la camisa (Vista inferior).

5.2.4.- Tapa para el sistema



Figura 49.- Tapa para el sistema (Vista frontal).

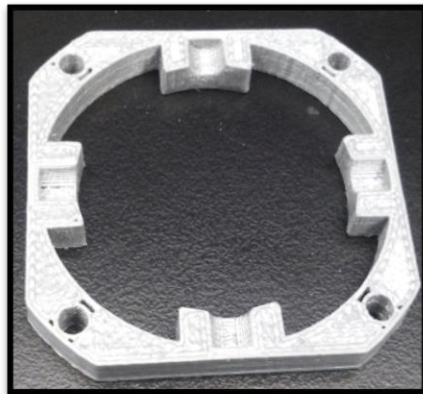


Figura 50.- Tapa para el sistema (Vista inferior).

5.2.5.- Resorte del sistema



Figura 51.- Resorte del sistema (Acero inoxidable).

5.2.6.- Sujetador de tijeras

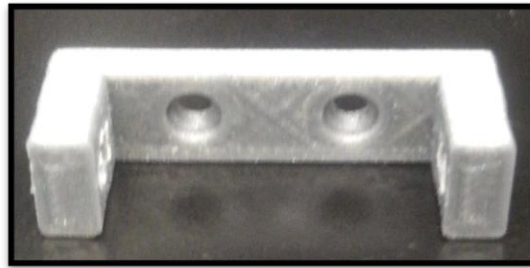


Figura 52.- Sujetador de tijeras (Vista frontal).

5.2.7.- Tijeras de presión

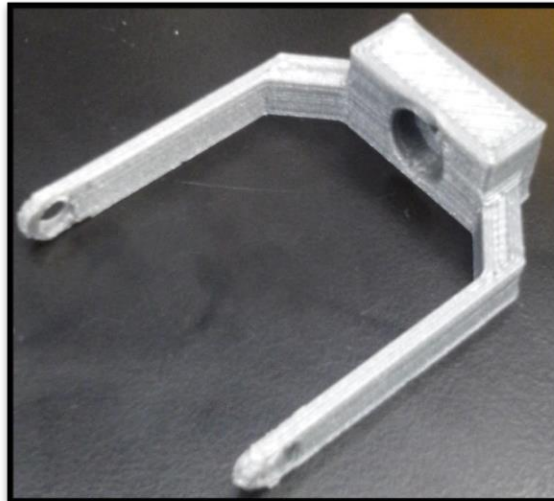


Figura 53.- Tijeras de presión (Vista frontal).

5.2.8.- Tijeras de rotación

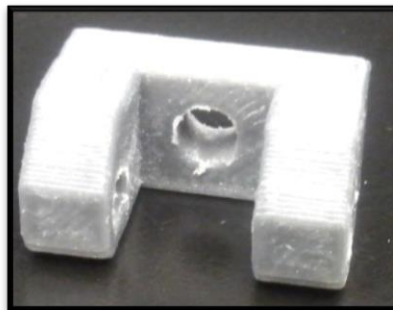


Figura 54.- Tijeras de rotación (Vista frontal).

5.3.- Diseño final

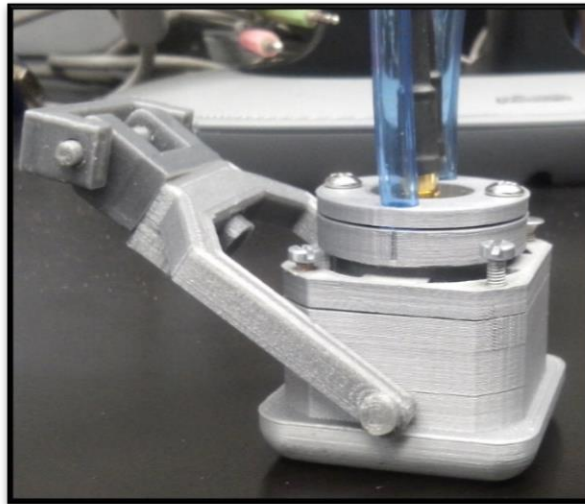


Figura 55.- Resultado final (Vista isométrica).

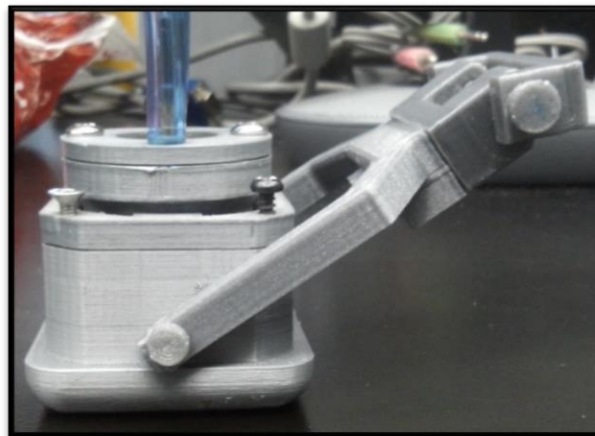


Figura 56.- Resultado final (Vista lateral)

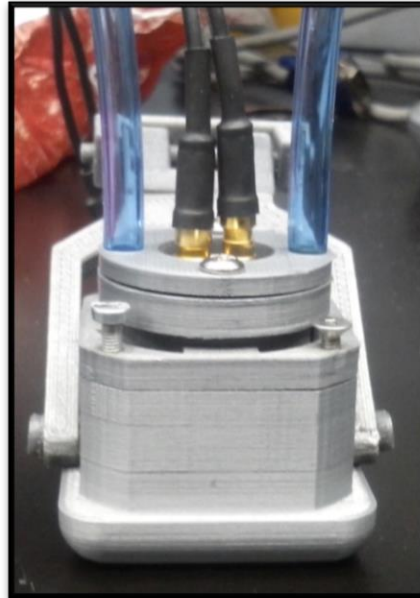


Figura 57.- Resultado final (Vista frontal).

5.4.- Resultados prácticos

En lo que se refiere a los resultados prácticos, se obtuvieron muy buenos resultados, debido a que se cumplieron de manera correcta todas las restricciones anteriormente mencionadas.

5.4.1.- Altura del transductor

Esta característica es fundamental, debido a que con la altura que presenta el transductor con respecto al plano, en este caso a la placa, debido a que se requiere de tener una cierta altura en la cual se almacena el acoplante (agua), debe de ser una cantidad considerable debido a que el sensor no realiza una medición correcta sin el acoplante, además no puede estar muy separado de la placa ya que esto puede causar mediciones incorrectas.

Se realizaron las pruebas necesarias antes de realizar el diseño y después de tener las piezas en físico y se obtuvieron resultados favorables.

5.4.2.- Fácil calibración del sensor

Con el sistema “Gira y atora” esta necesidad se cumple de manera perfecta, gracias a que se puede poner y quitar el sensor para calibrarlo las veces que sea necesario de una manera sencilla, fácil y rápida.

Conclusiones

Tras haber realizado el análisis del sistema de medición anterior, nuestro nuevo sistema tomo como base el antiguo, pero al pedir una medición continua y poder sacar el transductor para su calibración o mantenimiento, el nuevo sistema es muy diferente al anterior. En referente a los sistemas para la fácil conexión y desconexión del transductor, se realizaron los dos diseños, pero al ver que para el sistema Bnc las piezas eran algo complicadas para ser maquinadas al igual que si se quiere hacer como una pluma, es por eso que se llegó a la conclusión de realizar una combinación entre ambos, el sistema “gira y atora”.

En lo que se refiere al diseño, se tomaron mucho en consideración las piezas del sistema, debido a que los requerimientos para la medición son los mismos para ambos, además se consideró que al momento de realizar una impresión en 3D, el material se expande en algunas partes del diseño y se realizó el mismo ya considerando esta propiedad de la impresión. Para la fabricación de las piezas, se decidió hacerse en primera estancia con material de impresora 3D, debido a que primero se realizaran pruebas de funcionamiento, si estas nos dan resultados favorables, se procederá a realizar el maquinado de las piezas en aluminio la mayoría de las piezas, algunas serán de algún otro material.

De manera personal, puedo comentar que la experiencia de trabajo ha sido extraordinaria, ya que se aplican todos los conocimientos previos aprendidos en la carrera profesional y respaldados por los conocimientos adquirido en la especialidad, un reto que se aceptó el de enfrentarse a un proyecto nuevo y tomar una parte importante del desarrollo del mismo, ya que los resultados obtenidos se aplicaran para el desarrollo del proyecto, es satisfactorio saber que se hizo un buen trabajo, y que esto no se detiene aquí, sino que es el inicio de un buen futuro en mi desempeño laboral.

Referencias

- Ali M. Mohamed, Z. A.-S. (2014). Design, Modeling and Control of a Wall Climbing Robot Crossingover Obstacles. *IEEE/SICE International Symposium on System Integration*, 46-51.
- D, D. (18 de abril de 2014). *Stylo Passion!* Obtenido de Stylo Passion!: http://stylopassion.blogspot.mx/2014_04_01_archive.html
- Fabien T[^]ache, F. P. (2010). MagneBike: Compact Magnetic Wheeled Robot for Power Plant Inspection. *International Conference on Applied Robotics for the Power Industry*, 1-2.
- Mahmoud Tavakoli, C. V. (2013). Magnetic Omnidirectional Wheels for Climbing Robots. *Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 267-271.
- Mahmoud Tavakoli, C. V. (2013). OmniClimbers: Omni-directional magnetic wheeled climbing robots. *ELSEVIER*, 997-1007.
- Mariusz Giergiel, T. B. (2011). The Mathematical Description of the Robot. *NCBIR*, 53-60.
- R. Lal Tummala, R. M. (2002). Two Underactuated Kinematic Designs for Miniature Climbing Robots. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 10-19.
- Raúl Fernández, E. G. (2010). A Wall Climbing Robot for Tank Inspection. An Autonomous Prototype. *REPSOL*, 1424-1249.
- Tadayuki Sogi, Y. K. (2000). INSPECTION ROBOT FOR SPHERICAL STORAGE TANKS. *IEEE*, 393-398.
- Vilafont, Á. (2010). Conectores BNC. *Radio Practica*, 32-35.
- Weimin Shen and Jason Gu, Y. S. (2005). Permanent Magnetic System Design for the Wall-climbing Robot. *International Conference on Mechatronics & Automation*, 2078-2083.