



Dirección General de Educación Superior
Tecnológica
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

DIABLO INSTRUMENTADO

MEMORIA DE RESIDENCIA PROFESIONAL

INGENIERIA EN ELECTRÓNICA

Presenta:

DIANA LAURA PALOMEQUE CRUZ

No. Control : 03270137

Santiago de Querétaro, Qro., Agosto de 2008

AGRADECIMIENTOS



Indice	1
Introducción	2
Justificación	4
Justificación técnica	6
Objetivos	10
Objetivos generales	10
Objetivos específicos	11
Caracterización del área en que se participó	12
Problemas a resolver	14
Alcances y limitaciones	15
Alcances	15
Limitaciones	15
Fundamento teórico	17
Definición	17
Diferentes modelos de diablo	18
Descripción mecánica del diablo instrumentado	20
Sistemas del diablo instrumentado	22
Sistema de adquisición	22
Adquisición de señales	24
Sistema de almacenamiento y manipulación de información	25
Sistema de navegación	26
Banco de pruebas	29
Procedimiento y descripción de las actividades realizadas	31
Selección del sensor	31
Gráfica de salida del sensor	34
Obtención de las señales de salida del sensor	32
Selección de circuito a emplear en el acoplamiento	34
Aplicación de un método matemático para la obtención de los voltajes de salida deseados.	35
Selección de referencias para el circuito.	38
Selección del filtro para la señal de salida del sensor	40
Armado del circuito	40
Prueba del circuito	41
Diseño de placa de prueba del circuito	42
Diseño de placas definitivas del circuito	42
Sincronización del microcontrolador maestro	43
Resultados, planos, gráficas, prototipos y programas	44
Conclusiones y recomendaciones	49
Referencias bibliográficas y virtuales	51



C) INTRODUCCIÓN

Una de las principales fuentes de ingresos económicos en México, es la industria petrolera. La industria mexicana de exploración y producción petrolera ocupa un lugar significativo entre los países productores del mundo, gracias a sus reservas y producción de crudo y gas.

Los recursos naturales de México, proporcionan reservas petroleras importantes; los costos de descubrimiento y desarrollo son relativamente bajos comparados con los de otros productores internacionales.

Como parte de los trabajos de mantenimiento preventivo, la inspección, certificación, estudio de integridad y rehabilitación de los sistemas de transporte por ducto, tomadas en conjunto como parte de un proyecto integral. Para Pemex Gas y Petroquímica Básica han representado un avance significado con logros importantes en el mantenimiento integral de sus ductos de transporte, no obstante se han observado puntos de mejora que requieren ser atendidos.

Conforme la tecnología electrónica avanza los diablos de inspección han evolucionado para brindar una mejor resolución en la localización y en las características de los daños y defectos. Ya sea empleando las tecnologías de fuga o dispersión de flujo magnético de primera generación hasta las de alta resolución, así como las de ultrasonido, estas herramientas constituyen el único método disponible para la inspección simultánea de las superficies internas y externas de un ducto en toda su extensión y toda su circunferencia.

Las metas de la inspección realizada a intervalos regulares a un ducto en operación, son las de mantener la seguridad operativa del mismo. Dicha inspección nos permite obtener datos que redundan en; confiabilidad, integridad, seguridad operativa, conocimiento y control de la velocidad de corrosión.

El Centro de Investigación y Desarrollo Industrial tiene muy clara la importancia de la industria petrolera en nuestro país, es por eso que el departamento de tecnología en su laboratorio de ensayos no destructivos ofrece varios servicios de inspección a PEMEX, debido a la realización de pruebas diversas en los tanques de almacenamiento, surgió la inquietud de la inspección de tuberías, debido a que para PEMEX es de gran importancia saber el estado en el que se encuentran sus tuberías constantemente para así prevenir accidentes y en general llevar un control sobre el estado de sus diferentes tuberías. Es por eso que el personal de CIDESI en colaboración con los ex ingenieros de PEMEX plantearon la realización de un diablo instrumentado para resolver principalmente el problema del costo de la inspección ya que esta se realiza con equipo extranjero y son muy elevados.

La finalidad del presente documento es la de formar un concepto sobre el diablo instrumentado que se desarrolla en CIDESI, así como también describe el proceso detallado del acoplamiento de señales de sensores LVDT para su posterior instalación en el robot y el algoritmo para hacer la sincronización de los diversos microcontroladores que conforman el sistema de adquisición de datos para observar la geometría interna de las tuberías de transporte de productos refinados de PEMEX.

D) JUSTIFICACIÓN



Existen objetivos específicos que la realización del robot, pretende cubrir, estos son:

- El costo de la inspección oscila entre USD\$ 1,200-3,000 / Km,
- En México existen alrededor de 42,120 Km de ductos de hidrocarburos, esto representa un riesgo muy alto para las comunidades cercanas a los mismos.
- Ofrecer un servicio a distintas empresas que requieren de la inspección de tuberías representa un beneficio importante ya que reducirían sus costos de inspección significativamente. Entre las empresas que requieren servicios de inspección podemos encontrar las siguientes:
 - PEMEX Exploración y producción
 - Dowel Schlumberger de México
 - Tubos de acero de México.
 - Baker Huger de México.
 - Halliburton
 - Precision Drilling
- La corrosión del material y el movimiento de suelos comprometen la integridad estructural de la tubería.
- La inspección periódica de los ductos es importante para evitar fallas catastróficas. El diablo instrumentado es la manera más eficaz de realizar la inspección. Se han presentado diferentes explosiones de tuberías de hidrocarburos, en los últimos meses, algunos de los más recientes, son los siguientes:
 - 30 de octubre. Un gasoducto de 10 pulgadas de Petróleos Mexicanos explotó en el municipio de Huimanguillo, la línea dañada transportaba gas del campo Ogarrío a La Venta, Huimanguillo.
 - Veracruz, Ver., 30 de octubre. Un derrame de petróleo crudo y una fuga de gas ocurrieron en instalaciones de Petróleos Mexicanos (Pemex) en

Veracruz, lo que ocasionó el desalojo de 448 habitantes del ejido El Mirador, en el municipio de Cerro Azul, al norte de la entidad.



- Villahermosa, 25 de diciembre.- Una fuga de aceite se registró en un oleoducto que va de la Batería de Separación Sánchez Magallanes 7 a la Batería de Separación Sánchez Magallanes 4, en el Activo Integral Cinco Presidentes, en el municipio de Cárdenas, informó Pemex.

- Las compañías prestadoras del servicio de inspección son propietarias de la tecnología la cual no está en venta. Existe una larga lista de proveedores y venta de servicios que presta el Diablo Instrumentado, dentro de la cual, no figura ni una sola empresa mexicana.

- Ingresar al Pigging Products & Services Association, que es una asociación dirigida a la inspección de tuberías con diablos instrumentados para hacer del intercambio y actualización de tecnología referente a los mismos.

JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

Debido a que la empresa tiene reservas en cuanto al compartimiento de la información, existe un contrato de confidencialidad que será estrictamente respetado, algunos detalles técnicos sobre el robot serán omitidos.

Para lograr los objetivos anteriormente mencionados en cuanto a la propuesta técnica del geómetra, mismo que se explica posteriormente en los fundamentos teóricos, se han utilizado diferentes herramientas y diversos componentes, este tema trata de justificar el uso de los mismos para llevar a cabo el proyecto.

1) MATERIAL DE CONSTRUCCION

El material empleado para la construcción del Diablo instrumentado es acero inoxidable, debido a que este posee ciertas características que lo hacen el material más adecuado al no ser afectado por la corrosión del fluido que pasa por la tubería,

además que posee otras características en comparación con otros materiales, entre las cuales destacan:



- Tenacidad
- Aligeramiento
- Facilidad de trabajo

Es superficialmente muy duro por lo que:

- Se mantiene la resistencia a la corrosión
- Se alarga el ciclo de vida del material
- Se reduce prácticamente el mantenimiento
- Es infinitamente reciclable

En sus aplicaciones destacan sus aspectos:

- Estético, higiénico y fácil de limpiar
- No necesita tratamiento superficial
- Ligero, resistente y fácil de soldar
- Resistente a la corrosión y a la abrasión

2) DIÁMETRO DEL DIABLO INSTRUMENTADO

Como se menciona en los objetivos generales, los tamaños de los diablos a realizar son 10", 16" y 8", el primer robot a realizar es el que inspeccionará las tuberías de 10" de diámetro debido a que es el tamaño más común de los tramos de tuberías que transportan el petróleo en nuestro país, existen 42,120 km de ductos petroleros en el país de los cuales, 10 000 Km son ductos de 10" de diámetro.

microcontroladores, tipos de comunicación que se pueden realizar, número de puertos, velocidad de procesamiento, corriente y voltajes consumidos.



5) MEMORIAS UTILIZADAS PARA EL ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN

El uso de la memoria SD-USB de 1GB facilita el proceso de descarga de los datos hacia la PC cuando la inspección es finalizada ya que en la actualidad todas las computadoras cuentan con puerto USB.



Figura 2. Memoria sd-usb

6) TIPO DE COMUNICACIÓN ENTRE MICROPROCONTROLADORES

El tipo de comunicación empleado entre dos micros será en forma paralela, ya que esta comunicación es la más rápida y el tiempo de transmisión de la información a las memorias es de vital importancia, además que la comunicación en paralelo cuenta con las características de:

- Rápida transferencia de datos
- Configuración consistente de cables
- Amplia compatibilidad de plataformas

7) TIPO DE ALMACENAMIENTO EN LA MEMORIA

La comunicación de los microcontroladores con la memoria se realizará en forma SPI, ya que en la memoria solo se puede escribir de dos formas, SPI es la forma de esclavo para trabajar con diferentes dispositivos y MMC es la forma común en la que la PC trabaja con las memorias por lo que queda justificado el tipo de escritura.

E) OBJETIVOS



OBJETIVOS GENERALES

- Desarrollar 6 diablos instrumentados para la medición de espesores e inspección estructural de ductos de hidrocarburos de 10", 16" y 8" de diámetro nominal mediante la técnica de ultrasonido. Los diámetros antes mencionados son los que PEMEX utiliza comúnmente para el transporte de petróleo los principales ductos del país y el desarrollo de seis diablos, cubrirá las necesidades fundamentales de inspección de los mismos.
- El diablo debe ser capaz de discernir y almacenar la información adquirida durante el trayecto recorrido y una vez fuera del ducto, transferir tal información a la computadora y al software de análisis. La información adquirida está relacionada con la sanidad del material así como con la posición y orientación del diablo. El proceso de inspección va precedido de procesos de limpieza e inspección geométrica. Los diablos de limpieza son comerciales, simples y de bajo costo.
- Cubrir los requerimientos para la inspección de una tubería. Según las normas de PEMEX los requerimientos básicos, son los siguientes:
 - El servicio de Inspección debe detectar las siguientes anomalías:
 - a) Pérdida de material base de la tubería, interna o externa, localizada
 - b) Pérdida de material base de la tubería, interna o externa, generalizada
 - c) Grietas
 - d) Abolladuras
 - e) Laminaciones
 - f) Defectos de fabricación en la placa
 - g) Instalaciones superficiales y sus accesorios
 - h) Presencia de contactos metálicos
- Conocimiento de las trayectorias de inspección del robot. Éstas son importantes para establecer el recorrido que hará en diablo en cada corrida y así no tener problemas de batería o de memoria insuficiente.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificación de los requerimientos básicos para la inspección de una tubería. Es de vital importancia que al realizar una inspección se conozcan los puntos fundamentales para su inspección y de esta forma discernir los datos para la generación de un reporte.
- Investigación sobre componentes necesarios para la realización del acoplamiento de las señales. Debido a que las condiciones de trabajo del Diablo pueden ser extremas se deben escoger minuciosamente los componentes y con una alta precisión.
- Familiarización con todas las etapas que conforman al Diablo Instrumentado. Ya que el diablo es conformado por diferentes etapas es de vital importancia el conocimiento del mismo en general para definir las características eléctricas y mecánicas de los circuitos a utilizar.
- Desarrollo del procesamiento y acoplamiento de las señales obtenidas de los sensores. El acoplamiento de la señal a niveles estándar de voltaje para su posterior procesamiento y almacenamiento con un microcontrolador.
- Realización del circuito definitivo para instalarse en el robot. Se refiere al diseño del circuito que será instalado en el robot considerando diferentes factores, como tamaño de las placas y posición en el mismo.
- Realizar la sincronización de los microcontroladores para hacer la obtención y procesamiento de las mismas. Debido a que se utilizan varios microcontroladores es de vital importancia mantenerlos sincronizados ya que si no los datos obtenidos no serían precisos.

F) CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE SE PARTICIPÓ

CENTRO DE INGENIERIA Y DESARROLLO INDUSTRIAL (CIDESI)

El Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, CIDESI, fue fundado el 9 de marzo de 1984. Pertenece al Sistema de Centros Tecnológicos del CONACYT y fue reconocido como Centro Público de Investigación a partir del 11 de Septiembre del 2000. CIDESI ha sido distinguido con el Premio Nacional de Tecnología 2003 y con el Premio Estatal de Exportación 2004 del Estado de Querétaro, es proveedor confiable de PEMEX y esta Certificado bajo la norma ISO 9001:2000

MISIÓN

Generar valor en las empresas orientadas a la transformación, contribuyendo al incremento de su competitividad, mediante el desarrollo y aplicación de conocimiento relevante y pertinente, con personal altamente calificado y estándares de clase mundial.

VISIÓN

CIDESI es una institución de clase mundial, autosuficiente, con amplia cobertura nacional e internacional que cuenta con personal altamente capacitado, comprometido, con vocación de servicio al cliente, ofreciendo productos de alto impacto.

La operación se lleva a cabo en instalaciones en el estado del arte con los sistemas más avanzados tanto de diseño como de control de la operación, participando en redes de innovación tecnológica nacionales e internacionales y con alianzas estratégicas efectivas, tanto en investigación y desarrollo como en formación de recursos humanos, lo que le permite mantener la temática de su operación especializada con estándares de alta calidad.

ORGANIGRAMA

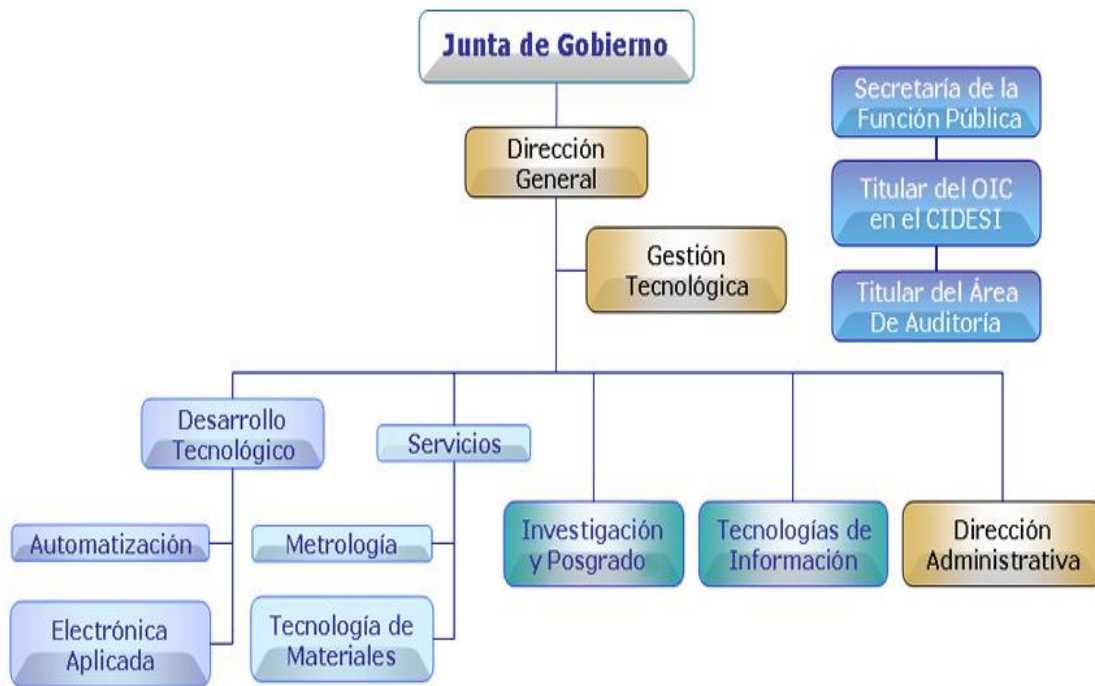


Figura 3. Organigrama

DEPARTAMENTO

El departamento donde se desarrolla el proyecto es el de Robótica Industrial y de Inspección, donde se encuentra el Laboratorio de Mecatrónica mismo que pertenece al área de Electrónica Aplicada.



Figura 4. Instalaciones del Laboratorio de Mecatrónica

G) PROBLEMAS A RESOLVER

Los principales problemas que se pretenden resolver son:

- Precio. Precios competitivos en relación a la oferta de proveedores internacionales
- Disponibilidad, tanto de los equipos como del personal técnico
- Confiabilidad en análisis de resultados. Asesoría en análisis de resultados y desarrollo de software de presentación de resultados de acuerdo a necesidades de PEMEX.
- Soporte técnico. Nacional y expedito
- Tecnología propia. El desarrollo incorpora la tecnología más actual que garantiza confiabilidad y exactitud de resultados.
- Solución integral
 - Desarrollo de diablo instrumentado y prestación de servicios de inspección
- Formación de grupo especializado para efectuar servicios

H) ALCANCES Y LIMITACIONES

ALCANCES

Se hará la obtención de seis equipos, de los cuales, dos son para inspección de ductos de 10" de diámetro nominal, dos para inspección de ductos de 16" de diámetro nominal y dos para inspección de ductos de 8" de diámetro nominal. Cada diablo tendrá tres funciones principales, con un sistema para efectuar cada una de ellas: evaluación geométrica, medición de espesores y detección de grietas.

1. Sistema para evaluación geométrica. Instrumento para la evaluación de defectos geométricos del ducto tales como ovalamientos, arrugas o abolladuras.
2. Sistema para la medición de espesores. Instrumento para la medición de espesores de pared de ductos de hidrocarburos en operación mediante la técnica de ultrasonido por inmersión.
3. Sistema para detección de grietas. Instrumento para la detección de grietas en el material mediante la técnica de ultrasonido por inmersión en ductos de hidrocarburos

Cada uno de los seis diablos debe incluir: sistema de adquisición, tratamiento y almacenamiento de señales; software de presentación de resultados; sistema de navegación y rastreo, así como una computadora LapTop para el registro de los puntos de referencia GPS y la extracción de la información del diablo. Todos los equipos habrán sido probados en campo.

LIMITACIONES

Del proceso:

- Una de las principales limitaciones es la información, ya que bajo el contrato de confidencialidad, no se pueden externar detalladamente los procesos, los requerimientos del cliente ni las tres etapas o funciones de las que consta el robot.
- El proceso de requisición de los componentes para realizar un circuito debido a los trámites que deben hacerse para solicitarlos.

- El tiempo de recepción de los componentes ya que después de llevar a cabo la requisición con el departamento de compras de la institución el proveedor tarda un tiempo considerable en hacer la entrega de los mismos.
- Los tiempos de realización del proyecto no coinciden con el tiempo de estancia de un residente.

Del robot:

- Debido al espacio asignado no se puede montar un banco de baterías, muy grande, así que el tiempo de inspección está limitado a 35hrs.
- La memoria para la obtención de datos no puede exceder los 7GB.
- El tiempo mínimo de inspección es 1ms.
- La distancia de inspección no minal es de 2.5 mm.

I) FUNDAMENTO TEÓRICO

1) DEFINICIÓN

La inspección de tuberías consiste en la revisión detallada de tuberías que existen en la industria petrolera, existen cuatro tipos de tuberías:

- 1) De perforación. Es la tubería que se usa para la perforación de pozos.
- 2) De revestimiento. Es la tubería que se usa para revestir (cementar) los pozos y prevenir un posible colapso, también para darle dirección a la tubería de perforación.
- 3) De producción. Es la tubería que se usa para extraer el producto.
- 4) De línea. Es la tubería por donde se transporta el producto a los diferentes lugares de almacenamiento, que es el tipo de tubería sobre las cuales se hará el análisis e inspección con Diablo Instrumentado.

El diablo instrumentado, Instrumented Pig o Chanco multiuso, puede definirse de diversas maneras, entre las cuales podemos destacar las siguientes:

- Es un dispositivo para la inspección interna de tuberías enterradas o no que monitorea su estado y evalúa el riesgo asociado con su funcionamiento. (Indian Oil Technologies¹).
- Dispositivo mecánico electrónico que permite la colecta de datos en todo el perímetro interno/externo y en la trayectoria total del ducto, inspecciona con procedimientos no destructivos la pared de la tubería para determinar el estado físico del mismo. (PEMEX²).

¹ Indian Oil Technologies <http://www.iocltech.com/ipig.html>

² Pemex, Norma para la inspección de ductos de transporte mediante equipos instrumentados.



Figura 5. Diablo Instrumentado.

2) DIFERENTES MODELOS DE DIABLO

Existen varios tipos de Diablo, entre los cuales podemos destacar las siguientes:

a) Mandril

Éstos están diseñados utilizando un eje central como cuerpo principal cuando su diámetro es menor a 12 pulgadas, excedido este tamaño, su cuerpo toma la forma de una bobina de uretano o de algún tipo de discos separados por “separadores metálicos o de uretano”. Estos son usados fundamentalmente a lo largo de toda la vida útil de un oleoducto, desde su etapa de limpieza, de pre-puesta en servicio, pruebas de presión y medición de espesores, hasta la remoción del servicio y subsiguiente abandono de la línea.



Figura 6. Diablo tipo Mandril

b) Diablos Polly

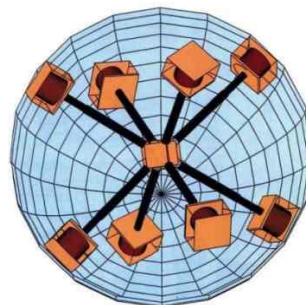
Estos diablos están formados por un núcleo de espuma de diferentes densidades normalmente de dos a diez libras por pie cúbico, a la que se sujetan tiras de uretano para formar un patrón que proporciona la fuerza suficiente para ejecutar en los oleoductos los fines a los que estén destinados. Los diablos Polly se fabrican en distintos tipos, que pueden incluir cepillos, discos de cavidades y también distintos tipos de localizadores.



Figura 7. Diablo tipo Polly

c) Diablos esféricos

Éstos se forman normalmente de compuestos de goma de poliuretano o de neopreno y del nitrilo. Pueden estar formados a partir de dos pedazos hemisféricos, que se enlazan juntos para terminar el producto o en algunos casos se fabrican como sola unidad sin un empalme. Sin embargo, el problema principal de las esferas, aparte de su ineficacia para la línea de limpieza, es el hecho de que tienen solamente una superficie de sellado, que puede causar retrasos y la no conducción a través de las tuberías.



MAGNETIC SPHERE

Figura 8. Diablo esférico

3) DESCRIPCIÓN MECÁNICA DEL DIABLO INSTRUMENTADO

El tipo de Diablo a realizar tiene similitud con el diablo de tipo mandril, aunque tiene algunas modificaciones, el modelo empleado es el siguiente:

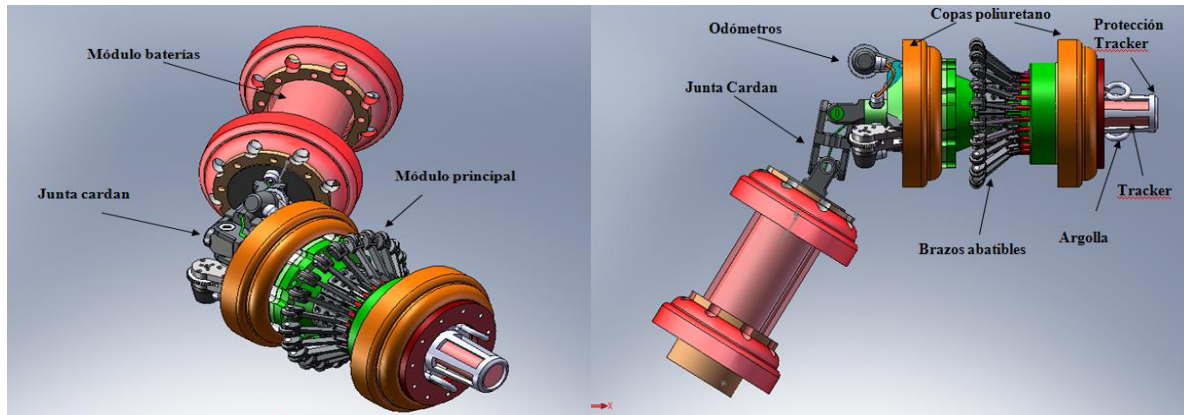


Figura 9. Diablo Instrumentado a realizar (primera etapa).

a) Módulo de baterías

El modulo de baterías suministrará energía al equipo durante 7Hrs, esta es una pila de

b) Junta Cardan

Se utiliza para transmitir el giro entre dos ejes que no son paralelos y cuya orientación relativa puede cambiar a lo largo del movimiento.

c) Módulo principal

El módulo principal tiene toda la circuitería relacionada con las señales provenientes de los brazos y la conexión para descargar en una PC los datos obtenidos sobre la geometría de la tubería.

d) Odómetros

Los odómetros son utilizados para medir la distancia del camino recorrido por el Diablo.

e) Brazos abatibles

Los brazos abatibles están conectados con los Sensores LVDT's, el movimiento mecánico de éstos representa un desplazamiento en el núcleo del sensor produciendo un cambio en el voltaje de salida del mismo que es almacenado como un dato en una memoria, estos brazos son empleados para detectar las deformaciones en la tubería.

f) Tracker

El Tracker es un dispositivo de localización que nos permite saber a una distancia de un kilómetro y medio en donde se encuentra el diablo, la finalidad principal de este es localizarlo en ciertos puntos de monitoreo y saber cuando el robot ha terminado su corrida.

g) Protección Tracker

La protección de la circuitería del Tracker es muy importante, por lo que se hace con una estructura tipo jaula para proteger al circuito de abolladuras, es de acero inoxidable sellada herméticamente para así proteger la circuitería de infiltraciones.

h) Copas poliuretano

Estas copas son cambiadas en cada corrida del diablo, debido a que son afectadas por la fricción que existe con la tubería, su objetivo principal es el de dar protección al robot, estos tienen las siguientes características:

- Hechos con el elastómero de poliuretano de la mejor calidad.

- Creados para ser más duraderos y resistentes a la abrasión.
- Diseñados para mantener una obturación positiva mientras aguantan el cuerpo del limpiador.

4) SISTEMAS DEL DIABLO INSTRUMENTADO

El diablo Instrumentado tiene tres grandes sistemas cuya evolución está definida en diferentes etapas:

- Sistema de adquisición de datos.
- Sistema de almacenamiento y manipulación de la información.
- Sistema de navegación.

SISTEMA DE ADQUISICIÓN

La finalidad de este sistema es adquirir la señal generada por cada transductor de ultrasonido o sensor de geometría, su principal característica es que opera de forma paralela adquiriendo las señales de cada sensor de forma simultánea, esto permite una medición más precisa comparada con sistemas multiplexados ya que no existen retardos en la adquisición de señales o datos.

El sistema estará dividido en 2 etapas fundamentales.

EXCITACIÓN DE LOS SENSORES DE ULTRASONIDO Y DE GEOMETRÍA Y ACOPLAMIENTO DE LAS SEÑALES EMITIDAS POR ÉSTOS.

Aquí se generan las señales necesarias, para operar al sensor de ultrasonido o de geometría y se reciben y acoplan las señales obtenidas. En esta etapa se hace uso de componentes capaces de generar señales de excitación para los sensores de ultrasonido a altas frecuencias, en el orden de los MHz

Profundizaremos la generación de señales de geometría que es lo que a esta memoria de residencia compete fundamentalmente, las señales de geometría son generadas por sensores de desplazamiento y ultrasonido, los sensores de desplazamiento utilizados son los LVDT's.

EL LVDT

El LVDT es un transductor que "transforma" un desplazamiento lineal en una diferencia de potencial. El nombre de este transductor corresponde a las iniciales de su nombre en inglés: Linear Variable Differential Transformer. Este dispositivo es esencialmente un transformador de salida diferencial. Como se indica esquemáticamente en la Figura 10, el cuerpo del LVDT consta de un primario al que se aplica una tensión variable y dos secundarios idénticos dispuestos a ambos lados del primario, conectados en oposición de fase. Un núcleo ferro magnético se desplaza en el interior del cuerpo del LVDT sin tener contacto con él. Cuando el núcleo está centrado, las tensiones inducidas en los dos secundarios son idénticas y al estar conectados en oposición de fase se anulan mutuamente. Cuando el núcleo se desplaza del centro, los flujos concatenados por los secundarios no son iguales y aparece entonces una tensión no nula si se los conecta en oposición. En cierto intervalo de desplazamiento esta tensión depende linealmente del apartamiento del núcleo respecto a su posición central.

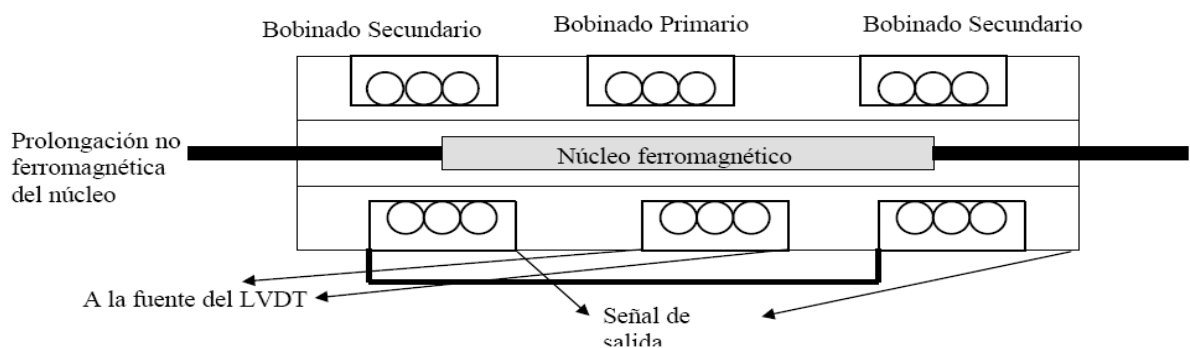


Figura 10. Esquema de un LVDT

Características principales:

- Alta resolución

- Muy baja histéresis
- Características dinámicas excelentes
- Linealidad y tiempo de vida excelente
- Baja sensibilidad a vibraciones mecánicas

ADQUISICIÓN DE SEÑALES.

En esta etapa se utilizará un procesador con convertidores analógicos-digitales de alta velocidad, para permitir la adquisición de las señales acondicionadas provenientes de los sensores de ultrasonido o de geometría, y después ser procesadas y almacenadas.

Se pretende que para cada sensor se cuente con un procesador (microcontrolador) que gestione la adquisición simultánea de señales y que tenga un ultra bajo consumo de energía con el fin reducir el número de las baterías. Finalmente la sincronización de estos componentes se realizará con un procesador maestro que también controlará el flujo de información.

En la siguiente figura se muestra un diagrama a bloques del sistema de adquisición para un sensor de ultrasonido, un diagrama similar aplica para el sistema de evaluación de defectos geométricos.

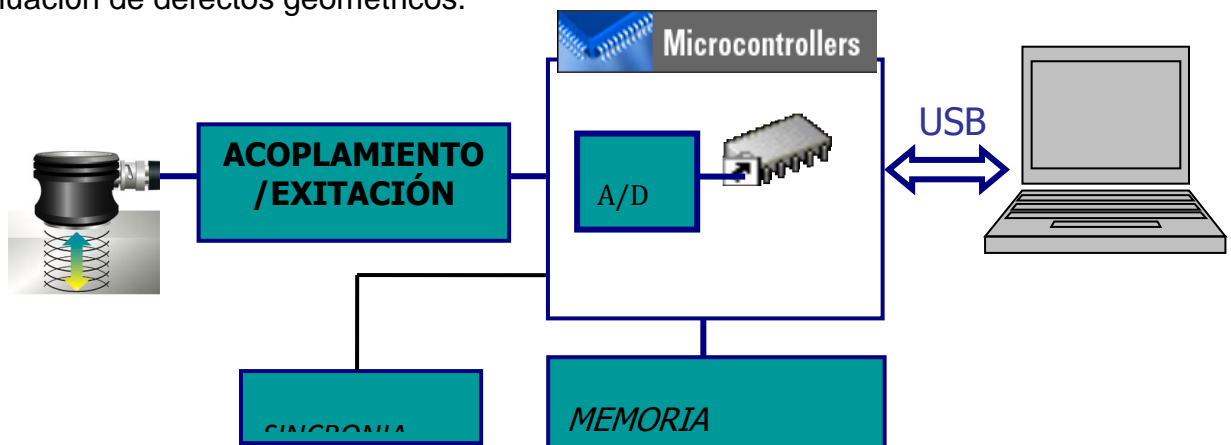


Figura 11 . Sistema de adquisición de datos.

Características:

- Adquisición simultánea de todos los sensores
- Alta velocidad de adquisición

- Adaptabilidad a diferentes tipos de sensores
- Bajo consumo de energía

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN DE INFORMACIÓN

Se necesita un sistema en el cual se tenga la posibilidad de almacenar grandes cantidades de información, ya que se requiere una independencia de 100Km. o 35h. durante la inspección del diablo, esta memoria está dividida y la información de cada sensor se almacenará dentro de una memoria independiente, lográndose así un almacenamiento paralelo simultaneo, los datos son ordenados por tiempo y por la distancia que recorre el diablo, después se envía a una PC para su posterior análisis.

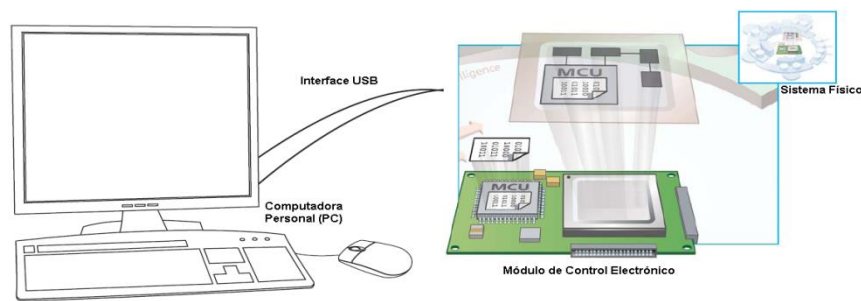


Figura 12 . Módulo de control encargado de la interface entre PC y sistema físico donde se almacena una gran cantidad de información.

La Interface de control para información es el vínculo entre la computadora personal y la información que se encuentra en memoria, donde ambas etapas (Módulo e Interface de Control) contemplan el problema de adaptación de interfaces mediante tecnologías de circuitos integrados programables. La metodología consiste en la obtención de una serie de datos en forma digital, los cuales describen una función de diferentes mediciones, el estado en que se encuentra físicamente el ducto que se desea muestrear.

La memoria que se utilizará es de tipo FLASH, su principal ventaja es que es de tipo no volátil, es decir; aunque las baterías del diablo se agoten, lo cual puede suceder en la maniobra de retirar al diablo de la trampa, la información obtenida durante la

inspección del ducto no se perderá. Otra característica importante es que esta memoria tiene una gran capacidad, del orden de los GB.

Los datos de la inspección son pre-procesados dentro del mismo microcontrolador utilizado para la adquisición de éstos; el CPU de este microcontrolador es de 16 bits y es de bajo consumo de energía, además cuenta con convertidores A/D (conversión analógica a digital), siendo a la vez totalmente compatible en conectividad con la memoria seleccionada, finalmente posee una alta velocidad de procesamiento. Este sistema es útil para ambos módulos (geómetra e instrumentado).

Características.

- Gran capacidad de almacenamiento (GB)
- Almacenamiento simultáneo de datos de cada sensor
- Memoria tipo FLASH
- Bajo consumo de energía
- Control de tamaño memoria

SISTEMA DE NAVEGACIÓN

La navegación y localización de los sistemas PIG (diablo) son de suma importancia para la validez de los datos medidos. Los beneficios obtenidos gracias a estas dos herramientas se describen enseguida.

La Navegación inercial; permite determinar la localización exacta de las posibles fallas que puede presentar la tubería.

La Localización; permite determinar la ubicación del PIG en la tubería para prevenir cualquier tipo de eventualidad. Enseguida se describe cada una de estos procedimientos.

3.3.1 Localización

El sistema de localización está compuesto de dos partes; la primera es una cápsula emisora de señales electromagnéticas, la cual está fija en el PIG y viaja junto con éste. La segunda parte, consiste de un receptor el cual es utilizado por el personal

encargado del PIG, este receptor se encarga de amplificar la señal emitida por el emisor puesto que dicha señal se encuentra débil después de atravesar la tubería. La localización se realiza de manera manual realizando un recorrido sobre la tubería, durante este proceso se toman puntos GPS, que ayudarán a tener una mejor localización del sistema y de las posibles fallas.

3.3.2 Navegación Inercial

La ubicación exacta de las fallas en la tubería es crítica debido al riesgo de fuga de materia prima (normalmente tóxica e inflamable), y el tiempo y mano de obra requerida para ubicar las fallas sobretodo en lugares remotos o poco accesibles.

Enseguida se presenta la definición de navegación y navegación inercial:

Navegación: Acción de conducir de un lugar a otro un vehículo marítimo, aéreo o espacial y determinar su posición en cualquier instante.

Navegación Inercial: Es la navegación que se basa en la medida y en la integración de las aceleraciones sufridas por un vehículo marítimo, aéreo o espacial.

Los métodos de navegación inercial consisten en la integración de las mediciones dadas por los sensores, de aceleración lineal y velocidad angular. Existen principalmente dos tipos de Sistemas de Navegación Inercial, estos son:

- Con plataforma o Gimballled.
- Sin plataforma o Strapdown.

En este proyecto se empleará el de tipo Strapdown, por ser el más usado por los sistemas de inspección de tuberías.

Las mediciones de los sensores son filtradas para eliminar ruido antes de ser integradas. El algoritmo de integración comúnmente usado es el Filtro de Kalman. Gracias a éste es posible calcular la posición, orientación y curvatura de la tubería. La Figura 13 muestra un diagrama del método de navegación inercial Strapdown.

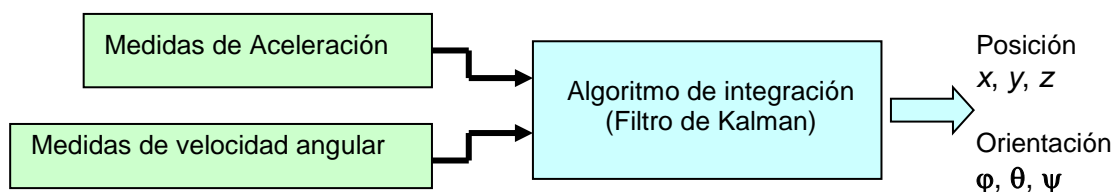


Figura 13. Diagrama del método de navegación inercial Strapdown.

El principio de funcionamiento de los algoritmos de integración Strapdown, se basa en las transformaciones de Euler. Este formalismo establece que para realizar el modelado de un vehículo en 6 grados de libertad es conveniente definir dos ejes de referencia, un *Eje ligado a la tierra* $R(X, Y, Z)$, y otro *Eje ligado al vehículo* $R(X_0, Y_0, Z_0)$, ver la Figura 14.

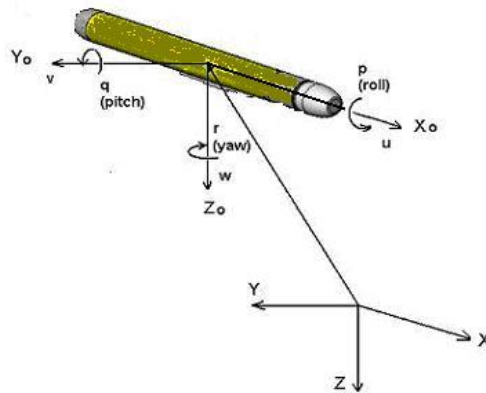


Figura 14. Ejes de referencia 6 grados de libertad.

La transformación de cualquier vector de ejes de tierra X, Y y Z a ejes de cuerpo X_0, Y_0 y Z_0 es desarrollado por la transformación de Euler $[E]=[Φ][Θ][Ψ]$, como se detalla a continuación. Se toma la rotación de $Ψ$ alrededor de Z , $Θ$ alrededor de Y y $Φ$ alrededor de X , estas rotaciones son definidas por:

$$[Ψ] = \begin{bmatrix} \cos Ψ & \text{sen } Ψ & 0 \\ -\text{sen } Ψ & \cos Ψ & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad [Θ] = \begin{bmatrix} \cos Θ & 0 & -\text{sen } Θ \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen } Θ & 0 & \cos Θ \end{bmatrix},$$

$$[Φ] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos Φ & \text{sen } Φ \\ 0 & -\text{sen } Φ & \cos Φ \end{bmatrix}$$

Realizando el producto de las tres matrices se tiene:

$$[E] = \begin{bmatrix} \cos \Psi \cos \Theta & \sin \Psi \cos \Theta & -\sin \Theta \\ \cos \Psi \sin \Theta \sin \Phi - \sin \Psi \cos \Phi & \sin \Psi \sin \Theta \sin \Phi + \cos \Psi \cos \Theta & \cos \Theta \sin \Phi \\ \cos \Psi \sin \Theta \cos \Phi + \sin \Psi \sin \Phi & \sin \Psi \sin \Theta \cos \Phi - \cos \Psi \sin \Phi & \cos \Theta \cos \Phi \end{bmatrix}$$

Las medidas de los sensores de aceleración y velocidad son tomadas en el eje *Eje ligado al vehículo* $R(X_0, Y_0, Z_0)$. Gracias a la transformación de Euler y a la integración de ésta (usando el algoritmo de Filtro de Kalman), es posible determinar la posición y orientación del vehículo en el *Eje ligado a la tierra* $R(X, Y, Z)$.

BANCO DE PRUEBAS

Con el objetivo de llevar a cabo pruebas de laboratorio del módulo geometra, del módulo para medición de espesores e inspección, se construirá un banco de pruebas como se muestra esquemáticamente en la figura 15. Éste consiste en una serie de segmentos de tubos de 10" de diámetro de acero al carbón unidos con soldadura o con bridas. La longitud total del banco será aproximadamente de 24 m con segmentos rectos y curvos. En los segmentos rectos bridados se simularán defectos geométricos y del material para probar los diablos. Un sistema de bombeo de agua será el encargado de suministrar el flujo requerido para arrastrar el diablo a lo largo del ducto. La velocidad del diablo en las pruebas será de 2.5 Km/h, lo cual requiere un caudal de agua de 42 l/s. La presión durante la prueba será de 6Kg/cm². En los segmentos del ducto se simularán defectos geométricos y del material para probar ambos diablos.

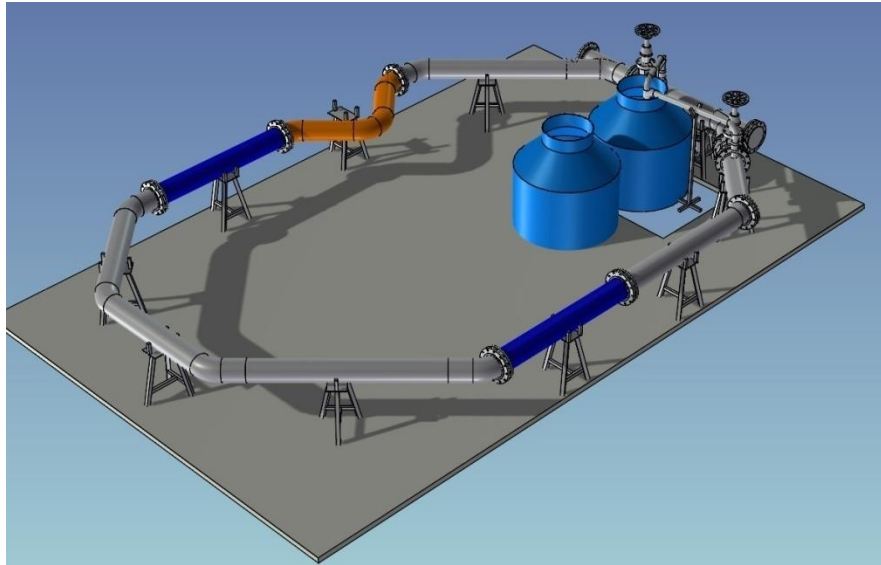


Figura 15. Banco de pruebas para Diablos instrumentado

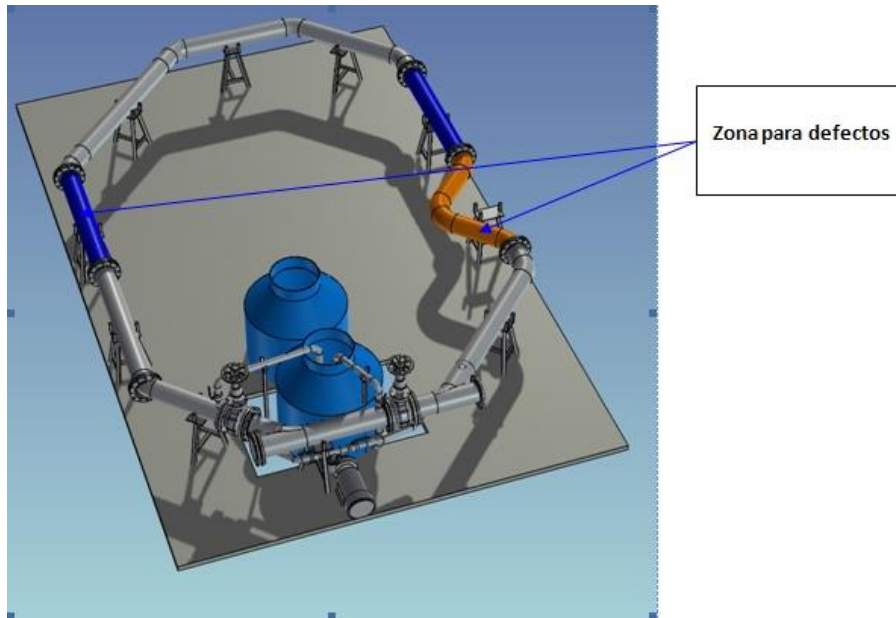


Figura 16. Vista en perspectiva de Banco de pruebas para diablo instrumentado.

J) PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

Para el logro de los objetivos específicos, fue necesario establecer un plan de trabajo, la realización del mismo se describe en una serie de pasos detallados a continuación.

1) Selección del sensor

En la propuesta técnica, se declaró que el sensor a utilizar sería un LVDT (Linear Variation Differential Transformer), para elegirlo se debieron considerar algunos requerimientos del robot, estas características son las siguientes:

- Nivel de Voltaje de Alimentación: 0 – 12 Volts
- Consumo de Corriente de cada sensor : No debe exceder los 15 mA
- Resolución: Infinita
- Niveles de Voltaje de salida: El campo de medida no debe ser mayor a los 15 Volts.
- Tamaño: No debe exceder los 15 cm de largo ni los 4cm de diámetro.

Tomando en cuenta los requerimientos anteriormente mencionados se comenzó la búsqueda del sensor, después de revisar diferentes modelos y marcas, el sensor que mejor se ajustó fue el Solarton DFG 5.0, este sensor además de llenar todos los requisitos ofrece varias características de precisión, sensibilidad y linealidad que lo hacen la mejor opción para la medición de geometría del robot.

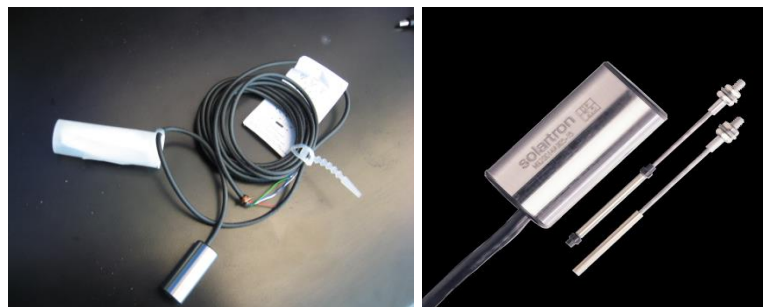


Figura 17. Sensor LVDT

Características principales del sensor:

- Rango de medición: ± 5 mm

- Linealidad: 0.3%
- Material: Acero sin estaño 400
- Longitud del cable estándar: 3m
- Peso del transductor: 30 gr.
- Rango de temperatura de operación -10 a 80 °C.
- Voltaje de Alimentación: 10 a 24 V
- Consumo de corriente a 10 Vdc: 10mA.

2) Obtención de las señales de salida del sensor

Las señales válidas de salida comprenden el rango de longitud del núcleo señalado con la flecha roja, esta medida es de 24.50mm.(Medida B).

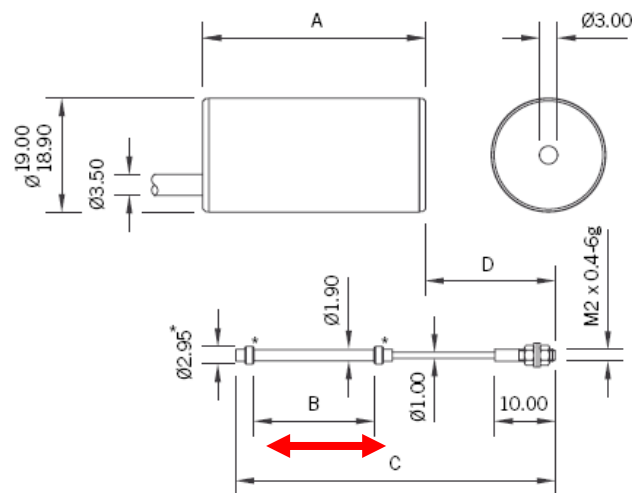


Figura 18. Dimensiones del sensor

Se llevó a cabo la medición de la señal de salida del sensor, cabe mencionar que las medidas fueron realizadas con un vernier digital para tener una mayor precisión en cuanto a la medición de la longitud contra el voltaje de salida.

Se obtuvo la siguiente tabla:

Distancia (mm)	Vsal
0	5

1	4.791
1.5	4.582
2	4.373
2.5	4.164
3	3.955
3.5	3.746
4	3.537
4.5	3.328
5	3.119
5.5	2.91
6	2.701
6.5	2.492
7	2.283
7.5	2.074
8	1.865
8.5	1.656
9	1.447
9.5	1.238
10	1.029
10.5	0.82
11	0.611
11.5	0.402
12	0.193
12.5	-0.016
13	-0.225
13.5	-0.434
14	-0.643
14.5	-0.852
15	-1.061
15.5	-1.27
16	-1.479
16.5	-1.688
17	-1.897
17.5	-2.106
18	-2.315
18.5	-2.524
19	-2.733
19.5	-2.942
20	-3.151
20.5	-3.36
21	-3.569
21.5	-3.778
22	-3.987

22.5	-4.196
23	-4.405
23.5	-4.614
24	-4.823
24.5	-5.032

Tabla 1. Distancia del sensor vs Voltaje

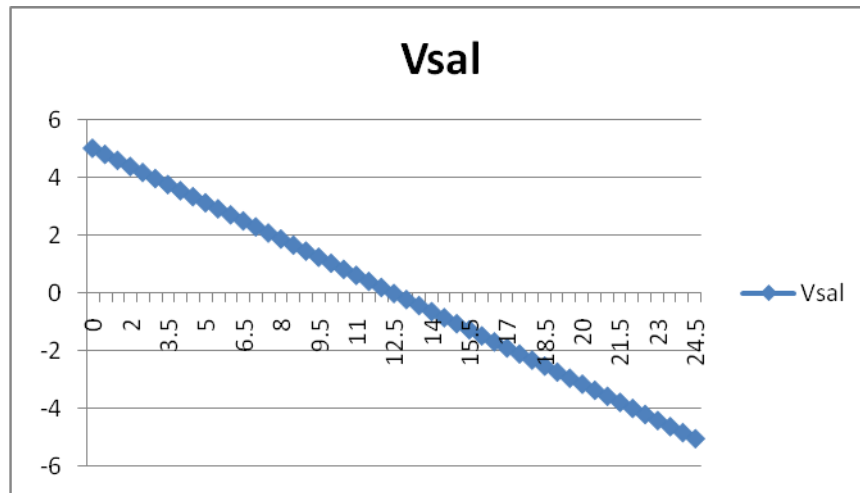


Figura 19. Gráfica de señal de salida del sensor

3) Gráfica de salida del sensor

En esta gráfica se puede observar el comportamiento lineal de la salida del sensor, esta señal va de 5V cuando el núcleo se encuentra dentro, y en -5V cuando éste se encuentra fuera.

4) Selección de circuito a emplear en el acoplamiento

Seleccionar el circuito de acoplamiento fue una de las tareas más complicadas ya que se elaboraron simulaciones con diversos circuitos con amplificadores operacionales para obtener la salida más precisa. A continuación se mencionan los circuitos empleados y las simulaciones realizadas para obtener la señal de salida de 0 a 2.5V.

5) Aplicación de un método matemático para la obtención de los voltajes de salida deseados.

El nivel requerido de salida del sensor es de 0 a 2.5V este requerimiento estaba ya estipulado pues al ser convertidos por el microcontrolador de analógico a digital se emplea una referencia externa de 2.5 V, ya que en las directivas del programa existen estándares de 1V, 2.5 y 3.3V, en este caso como se mencionó anteriormente, se emplea 2.5V.



Para normalizar la salida se empleó la ecuación de la recta para posteriormente aplicar un circuito con amplificadores operacionales. Los cálculos realizados fueron los siguientes:

Valores:

$$x1=-5$$

$$x2=5$$

$$y1=0$$

$$y2=2.5$$

Ecuación de la recta:

$$y-y1=m(x-x1)$$

Despejando y, obtenemos:

$$y=m(x-x1)+y1$$

Obtenemos el Valor de m

$$m= (y2-y1)/(x2-x1)$$

$$m=(0-2.5)/(-5-5)$$

$$m=0.25$$

Entonces, la ecuación de la recta nos queda:

$$y=0.25x+1.25$$

Ahora que tenemos la ecuación de la recta, procedemos al diseño del circuito empleando amplificadores operacionales:

El circuito que se pretende utilizar es un amplificador con ganancia de 0.25V y después a un sumador no inversor donde a la señal se suma un voltaje de 1.25 Volts, se procedió a hacer la simulación del circuito, la cual nos queda:

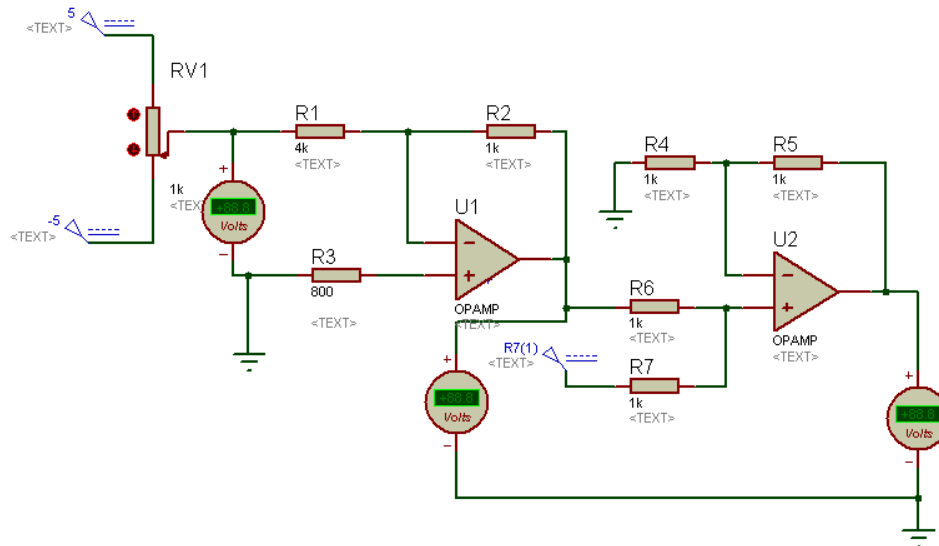


Figura 20. Simulación de la normalización de la salida

La simulación del circuito nos mostró perfectamente la ecuación de salida, se procedió a armar el circuito y aunque se hizo uso de amplificadores operacionales con alta estabilidad y resistencias de precisión el circuito presentó algunas ineficiencia en el momento de probar con las entradas provenientes del sensor, ya que no producía respuesta en el lapso de 0 a 10 milímetros, por lo que se optó por el uso de un circuito que tuviera a los amplificadores operacionales integrados como un amplificador de instrumentación, después de buscar en las diferentes hojas de fabricantes se optó por utilizar un amplificador diferencial con ganancia programable, el circuito a utilizar es el AD628, cuyo diagrama se presenta a continuación:

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

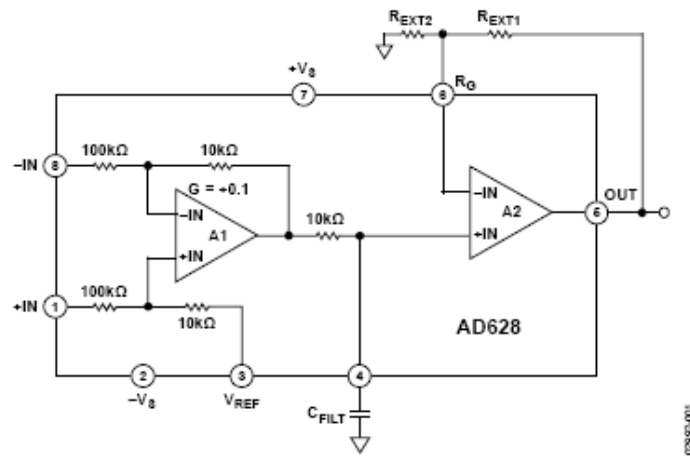


Figure 1.

Figura 21. AD628

Las características de este circuito lo hacen ideal para la aplicación que en este caso se requiere, algunas de las características más sobresalientes del mismo son las siguientes:

- Rango de ganancia de 0.1 a 100
- Temperatura de operación de -40 a 85°C .
- Rango de alimentación del circuito:
 - Alimentación dual: ± 2.25 V a ± 18 V
 - Alimentación simple: 4.5 V to 36 V
- Excelente rendimiento en ac y dc.
- Offset: ± 1.5 V mV máximo.
- CMRR RTI: 75 dB mínimo, dc a 500 Hz, $G = +1$

El funcionamiento del circuito básicamente es el mismo que el anterior solo que el circuito está integrado, es más inmune al ruido, más estable y nos provocará un gran ahorro de espacio al realizar la placa final.

El objetivo de conexión del circuito es que con las resistencias, lograr la ganancia de 0.25 calculada anteriormente y en la referencia externa, introducir el voltaje de 1.25V.

El cálculo de las resistencias del circuito se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$G_{TOTAL} = 0.1 \times \left(1 + \frac{R_{EXT1}}{R_{EXT2}} \right)$$

Si queremos que la ganancia total sea de 0.25 entonces debemos sustituir y despejar para obtener el valor de las resistencias

$$0.25 = 0.1 \times \left(1 + \frac{R_{ext1}}{R_{ext2}} \right)$$

$$\frac{0.25}{0.1} = \left(1 + \frac{R_{ext1}}{R_{ext2}} \right)$$

$$2.5 - 1 = \left(\frac{R_{ext1}}{R_{ext2}} \right)$$

$$1.5 = \left(\frac{R_{ext1}}{R_{ext2}} \right)$$

Proponemos una resistencia, Rext1 con un valor de 3.3K, entonces la Rext2 nos da un valor de:

$$1.5 = \left(\frac{3.3K}{R_{ext2}} \right)$$

$$R_{ext2} = \frac{3.3K}{1.5}$$

$$R_{ext2} = 2.2K$$

De esta forma obtuvimos los valores para las resistencias de nuestro circuito AD628, con valores de 3.3K y 2.2K, respectivamente, es de vital importancia mencionar que la precisión del circuito es muy importante, por lo que los componentes que el circuito utiliza son de alta precisión, en el caso de las resistencias estas son de 0.1%. El capacitor que utiliza el circuito es de 0.1uF, este valor está especificado en la hoja de datos del circuito, su función es la de implementar un filtro paso bajo de 100Hz.

6) Selección de referencias para el circuito.

Como se mencionó anteriormente, la precisión de este circuito es de vital importancia, por lo que la alimentación de este circuito se hace con referencias, este tipo de circuitos son alimentados con un voltaje, pero si esta presentara variaciones, su salida no lo hará, esta característica es muy importante, motivo por el cual todos los circuitos serán alimentados con las mismas, las referencias seleccionadas, son las siguientes:

- **Referencia de alimentación de los AD628:AD688**, ésta es una referencia que tiene salidas de +10V y -10V, su diagrama funcional, es el siguiente:

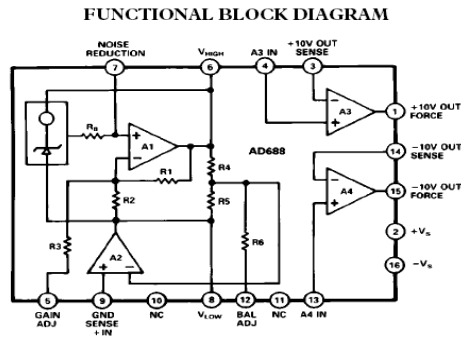


Figura 22. AD688

- **Referencia de externa para el AD628:** La referencia utilizada es la 2912, esta referencia nos presenta un voltaje de salida de 1.25 volts.

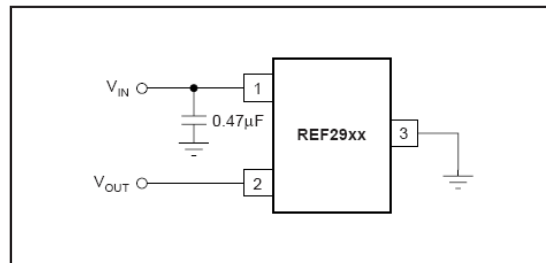


Figura 23. REF2912

- **Referencia para alimentación de los microcontroladores y de los filtros.** Esta nos presenta un voltaje de salida de 3.3 V.

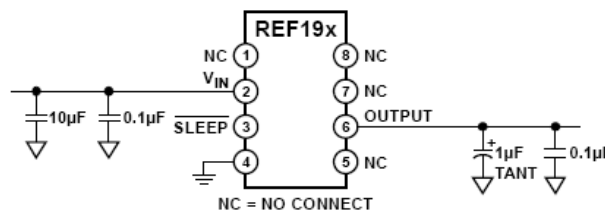


Figura 24. REF196

- **Referencia de para alimentación de los sensores, LM4040** Estas referencias son muy especiales, pues deben mantener el voltaje de 10V de cada sensor y además proporcionar una corriente de 10mA, debido a que no existen referencias de 10V que ofrezcan mas de 12mA de corriente de salida, se optó por emplear una referencia por cada sensor.

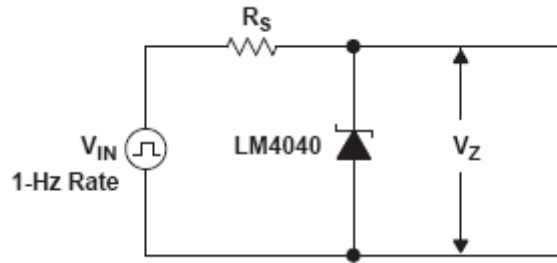


Figura 25. LM4040

7) Selección del filtro para la señal de salida del sensor

Debido a que el circuito puede ser afectado por el ruido, se optó por hacer uso de un filtro paso-bajo Butterworth de octavo orden con frecuencia de corte a 1Khz. El circuito empleado es el siguiente:

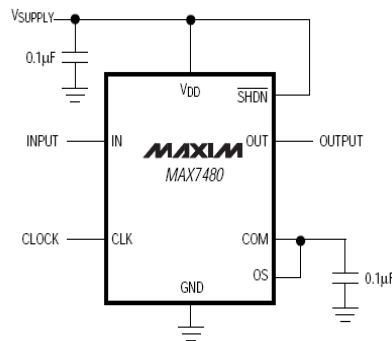


Figura26. Filtro MAX7480

La frecuencia de corte está determinada por un capacitor que se conecta del clock a la tierra, éste capacitor, es de 0.68uf y este valor se encuentra determinado en la hoja de datos del filtro.

8) Armado del circuito

Después de haber realizado la selección de los componentes y sus características de conexión, se procede a realizar el armado del circuito, el circuito a realizar, es el siguiente:

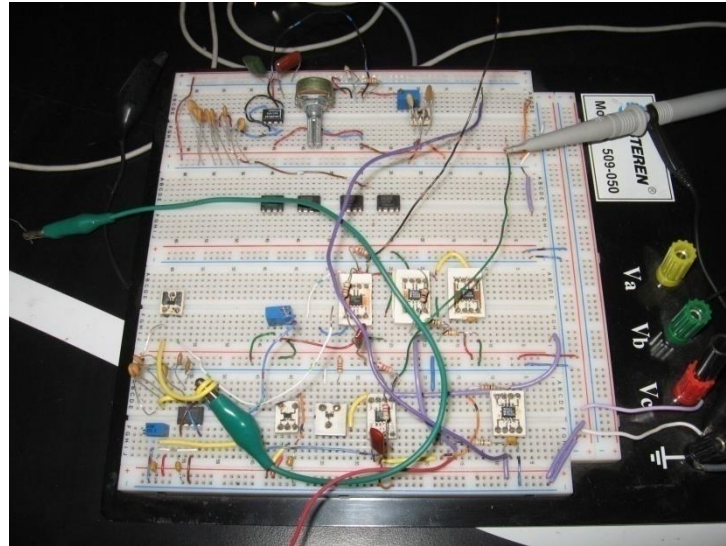


Figura 27. Circuito de prueba para los sensores.

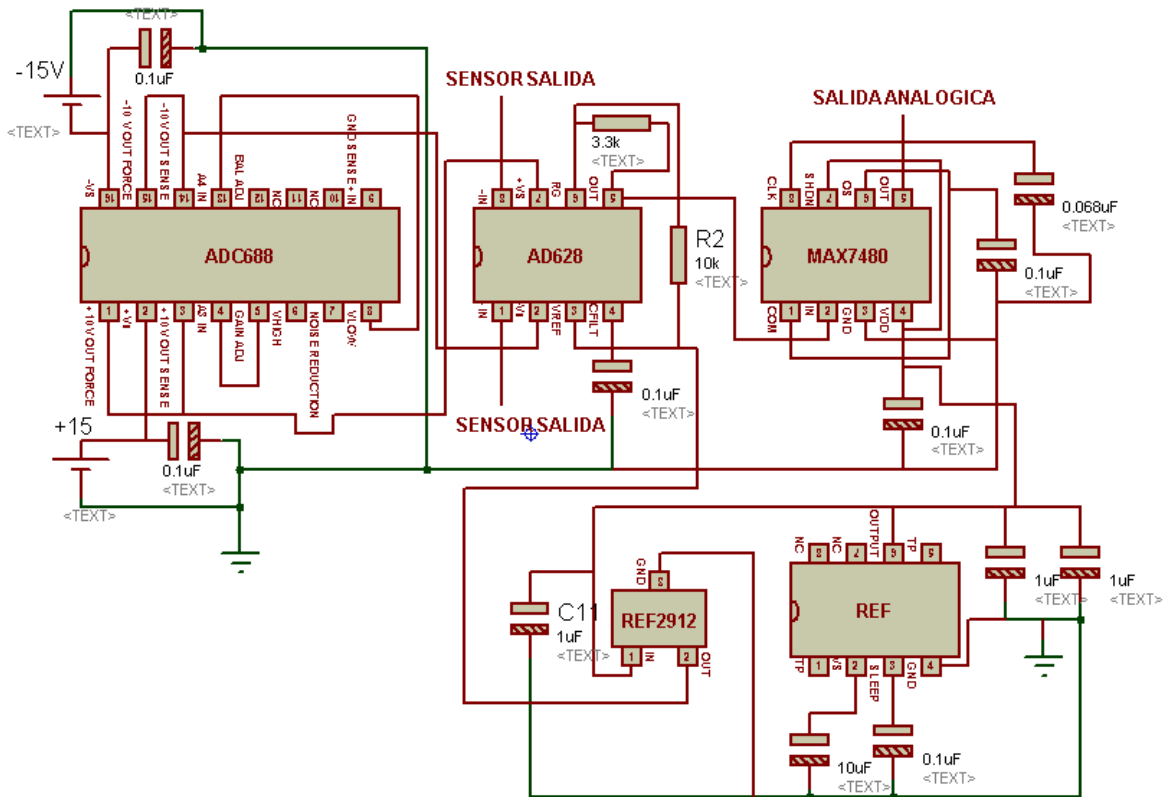


Figura28. Diagrama del circuito

9) Prueba del circuito

Para realizar la prueba del circuito se fabricó un banco de pruebas, el cual tiene un funcionamiento mecánico similar al que se usará en el diablo, este banco, el núcleo móvil del sensor se encuentra conectados a unos émbolos que son movidos por un eje y éste a su vez gira con un motor.

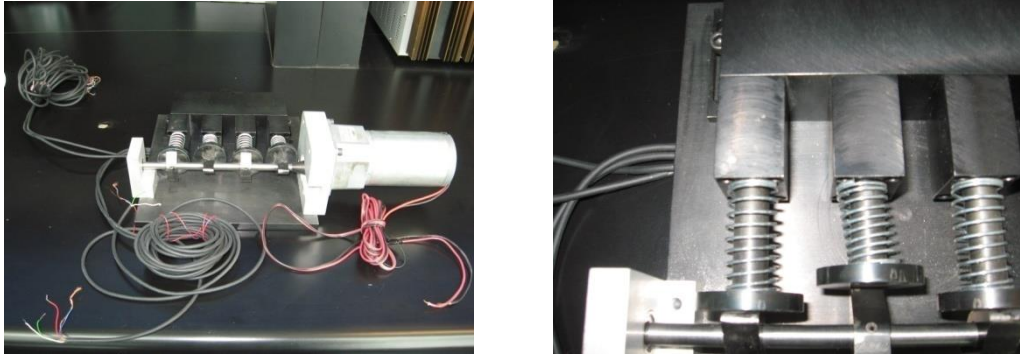


Figura 29. Banco de pruebas

Las salidas de los sensores fueron conectadas al circuito de prueba, se accionó el motor a distintas velocidades y el circuito se comportó de manera estable y con las salida requerida de 0 a 2.5V. , la señal de salida del circuito fue la siguiente:

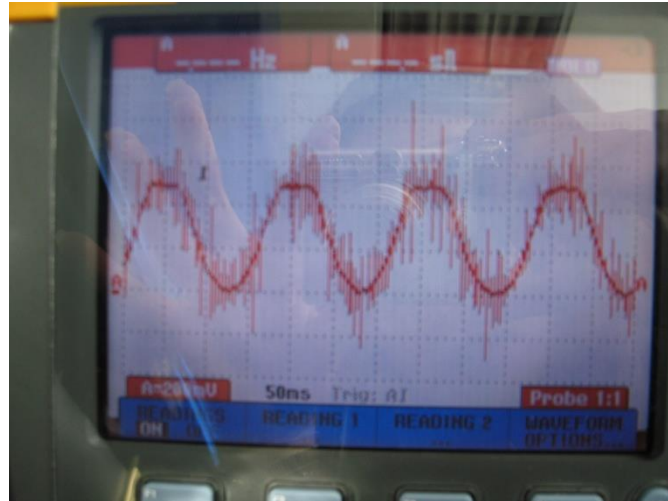


Figura 30. Señal de salida de circuito

10) Diseño de placa de prueba del circuito

Se realizó el diseño y armado de una placa de prueba del circuito que cumpliera con las siguientes características:

- Debía contener el acoplamiento para cuatro sensores.

- Debía contener dos microcontroladores conectados en paralelo entre sí.
- Entradas externas para el pulso de sincronización.
- Conectar una de las memorias por su puerto SPI a uno de los microcontroladores.
- Conectar las salidas del acoplamiento de la señal a los puertos analógicos del microcontrolador.
- Incluir un microcontrolador maestro que esté conectado a los otros dos en la entrada del oscilador.

11) Diseño de placas definitivas del circuito

Después de haber realizado las pruebas al circuito, se procedió a hacer el diseño de las placas que irán en el robot.

Los requerimientos para la realización de las mismas son los siguientes:

- Diámetro de la placa: 88mm.
- Top Layer: En esta capa debe estar incluido todo el acoplamiento de las señales.
- Bottom Layer: En esta placa deben estar los microcontroladores, con sus entradas analógicas, su memoria SD, las interconexiones entre ellos y su respectivo sistema mínimo de funcionamiento.
- Incluir conectores para pasar el voltaje a través de todas las placas.
- Incluir conectores para conexión de memorias SD.
- Seguir el patrón de placas para diablo.
- Considerar 22 sensores LVDT, por cada cuatro sensores con su respectivo acoplamiento introducir los datos en una memoria SD.

- Considerar en el diseño del kit de placas para acoplamiento de 22 sensores una placa de conectores.
- En la placa más exterior incluir el microcontrolador maestro.

12) Sincronización del microcontrolador maestro

Como cumplimiento del último objetivo, se procedió a diseñar el diagrama de bloques para realizar la sincronización de todos los microcontroladores que están incluidos y que realizan el almacenamiento de los datos en las memorias.

K) RESULTADOS, PLANOS, GRÁFICAS, PROTOTIPOS Y PROGRAMAS

En cumplimiento de los objetivos antes mencionados, se presentan los siguientes resultados:

- 1) Circuito de prueba para acoplamiento de señal del sensor.

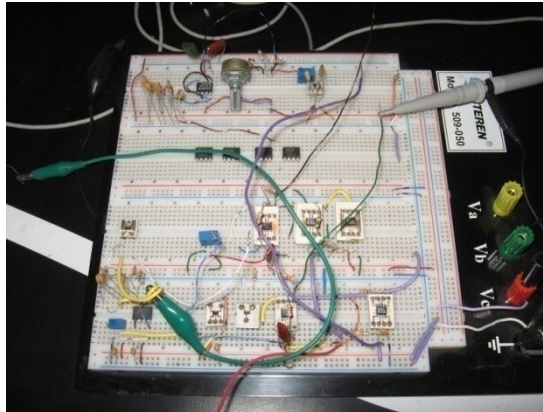


Figura 31. Prototipo de prueba del circuito

Este prototipo sirvió para realizar las pruebas y los ajustes necesarios al equipo, acompañado del banco de pruebas, se determinó que el circuito antes mencionado es el circuito adecuado para realizar el acoplamiento de señal.

- 2) Normalización de la señal de salida de los sensores. Realizado el análisis anterior, podemos expresar la fórmula obtenida para acoplar la señal:

$$y=0.25x+1.25$$

- 3) Elaboración de diseño de placa de prueba para acoplamiento de señal.

El diseño fue el siguiente:

- Top Layer

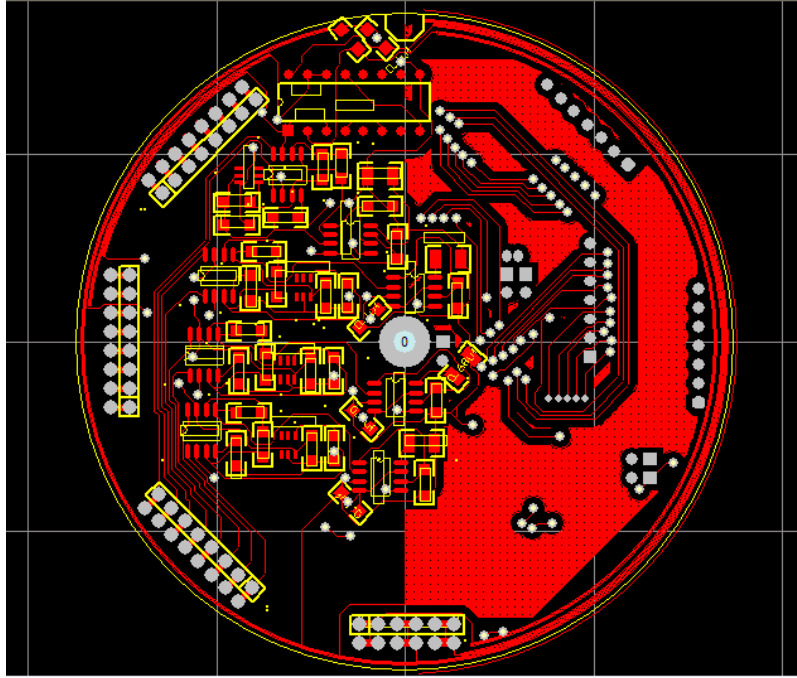


Figura 32. Cara superior de la placa

- Bottom Layer

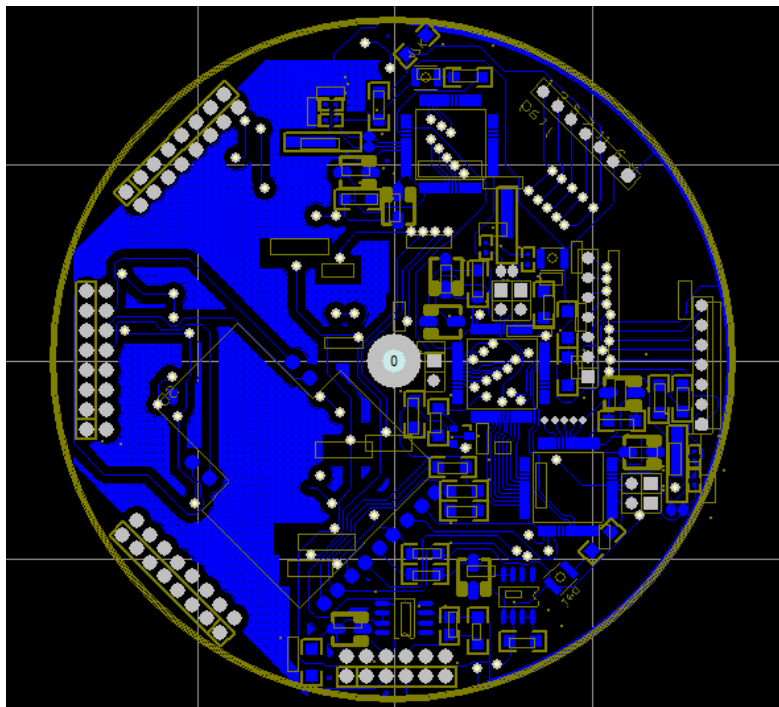


Figura 33. Cara inferior de la placa

- 4) Elaboración del kit de placas finales para montar en el robot (Top y Bottom Layer)

Placa de conectores:

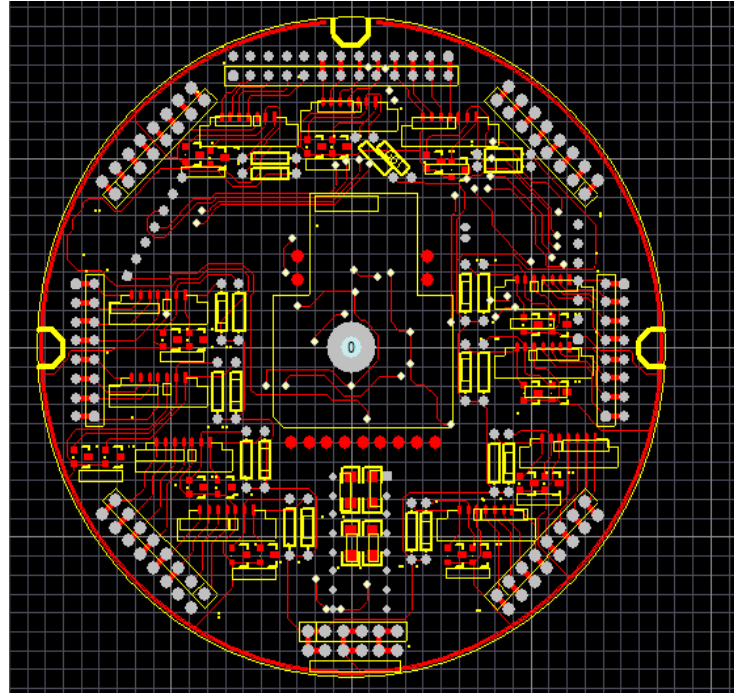


Figura 34. Cara superior placa conectores

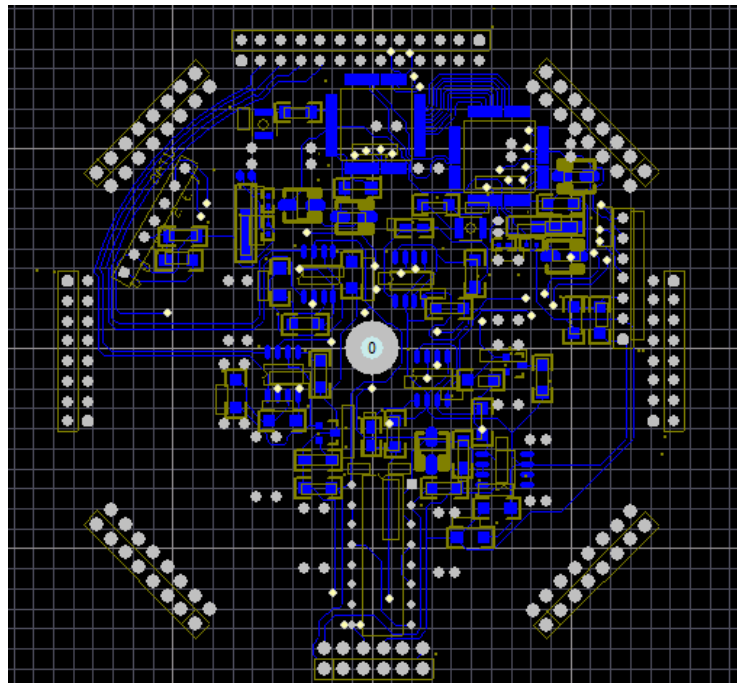


Figura 35. Cara inferior placa conectores

Todo el kit de placas está diseñado bajo el mismo concepto, lo único que varía entre ellos es que están las entradas provenientes de los sensores a diferentes conectores, y la última placa incluye al microcontrolador maestro, pero su conexión se muestra en la placa de prueba.

5) Diagrama de flujo para sincronización de los microcontroladores.

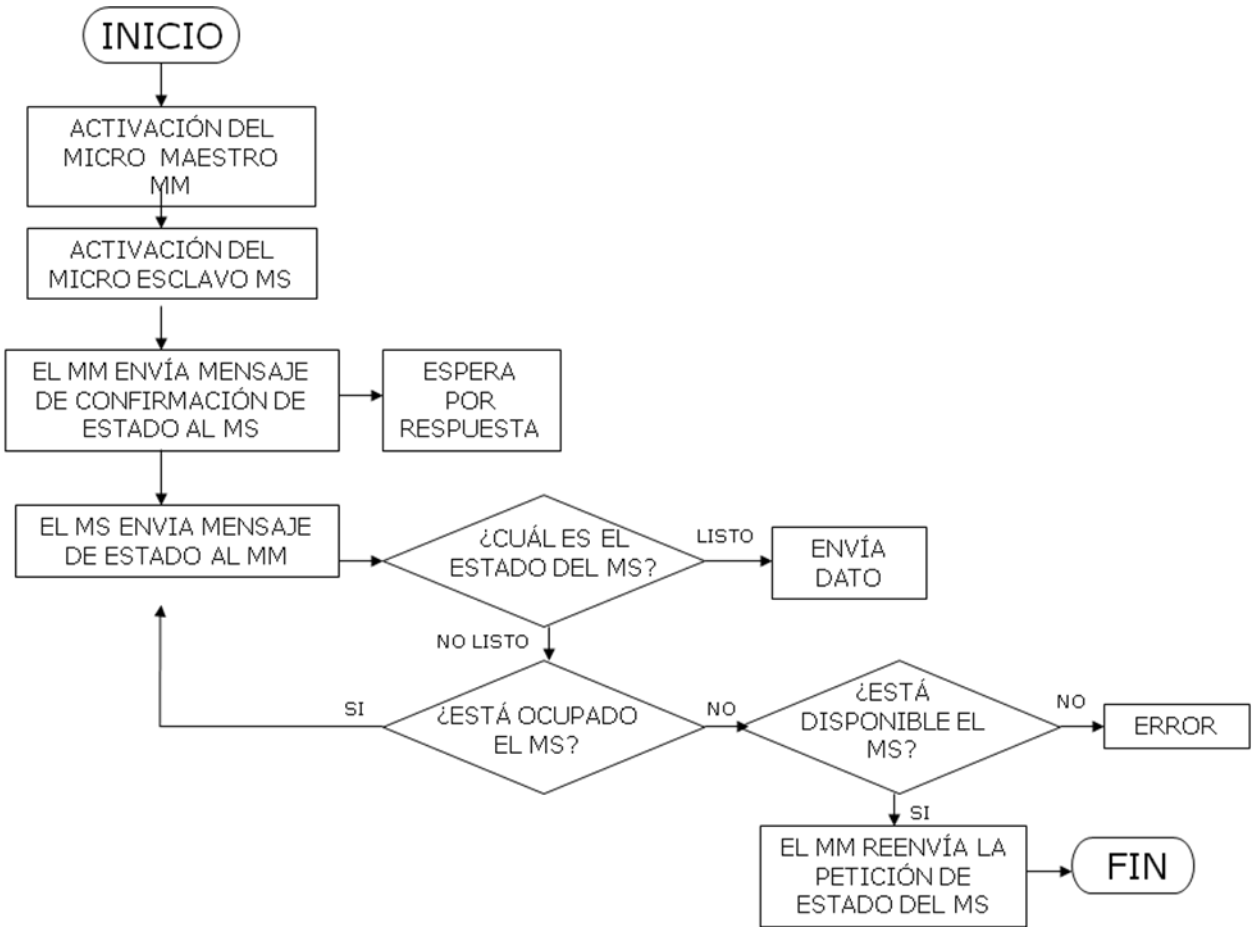


Figura 36. Diagrama de flujo para la sincronización de los microcontroladores.

L) CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



El proyecto Diablo Instrumentado es una propuesta muy interesante que tiene un gran impacto económico en la industria, ya que la inspección de tuberías es un campo de la ingeniería que no ha sido explorado ni explotado aún en México, debido a que todas las inspecciones que se realizan son por empresas extranjeras, el costo es muy elevado, CIDESI pretende reducir dichos costos a más de la mitad, lo que representa un ahorro de millones de pesos si se considera la inspección de todos los ductos de transporte de petróleo que hay en el país.

El contacto que tuve con todo el proceso de realización de la primera etapa del diablo Instrumentado me dejó muchas buenas experiencias y sobre todo conocimiento, creo que el proyecto de diablos instrumentados debe tener secuencia y espero que incrementemente la inquietud de todos los ingenieros en ésta área de aplicación.

Al involucrarme con el proceso de la realización de un robot, en este caso el diablo Instrumentado, con los conocimientos adquiridos en la institución tengo a bien hacer algunas propuestas para la mejora del proyecto en varios aspectos:

- Para la elaboración de los siguientes prototipos sería conveniente el uso de DSP's, ya que estos poseen características que los hacen superiores a los microcontroladores convencionales y éstos podrían eficientar el proceso de la adquisición de datos.
- La generación de reportes de salida podría ser con un software de más alto nivel diseñado en Lab View.
- Podría hacer se uso de memorias que ocupen menos espacio, como las Mini SD.
- La institución podría suscribirse a la asociación de Inspección de tuberías para así asistir a convenciones y tener más contacto con proveedores de servicio de inspección de tuberías, diseñadores de diablos instrumentados y proveedores de partes para diablo instrumentado.
- Tiempos de realización de las etapas del robot más cortos.

- Crear un subsidio de investigación para diablos instrumentados con las empresas que requieren el servicio para así mantenerse innovando y agregar más funciones al diablo.



Finalmente, cabe mencionar que el desarrollo del proyecto Diablo instrumentado tendrá un gran impacto en el país, económicamente hablando se ahorrarán miles de pesos que podrán ser invertidos en educación e investigación, marcará el pie para hacer más investigación del mismo y sobre todo fomentará el desarrollo de tecnología nacional.

M) REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

Referencias virtuales

1. <http://www.siniestrospemex.lunasexta.org/2007/12/26/>
2. <http://www.ppsa-online.com/directory-of-members.php>
3. http://www.pipelineengineering.com/stdprods_utilitypigs_mandrel.php
4. http://catarina.pue.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lii/olarte_v_jg/capitulo2.pdf
5. <http://www.cre.gob.mx/registro/permisos/gas/Anexos/095tra00/anex34.pdf>
6. http://www.pitchford-in-line.co.uk/POF%20specs%20V3_2%20January%202005.pdf
7. <http://www.pemex.com/files/content/NRF-060-PEMEX-2006.PDF>
8. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgd/juan_lo/capitulo1.pdf
9. <http://focus.ti.com/docs/training/catalog/events/event.jhtml?sku=1DW505430>
10. <http://www.cre.gob.mx/registro/permisos/gas/Anexos/177lpt05/anex31.pdf>
11. http://catarina.pue.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgd/carvajal_r_lo/capitulo7.pdf
12. <http://gis.esri.com/library/userconf/proc03/p1105.pdf>
13. http://www.starpig.com/Modern_pigs.html
14. http://satellite-keys.net/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=234
15. <http://www.clarion.org/ppim/ppim08/program.php>
16. http://www.starpig.com/Pig_Services.html
17. http://www.gi-group.org/pdf/Pipeline_Certification.pdf
18. http://www.pgjonline.com/PGJ/pgj_archive/March%2004/special%20challenge_03-04.pdf
19. <http://www.freepatentsonline.com/3732625.html>
20. <http://www.iocltech.com/ipig.html>
21. <http://www.bkwinc.com/tadpole.html>
22. <http://www.barc.ernet.in/webpages/letter/1999/199906-01.pdf>
23. http://www.ceintec.upc.edu/Archivos/Acero_Inox_en_Construccion.pdf
24. <http://desarrollosustentable.pemex.com/index.cfm?action=mapa>
25. <http://www.df.uba.ar/users/acha/LVDT.pdf>

Referencias bibliográficas

1. Muhammad H. Rashid.. “Circuitos microelectrónicos. Análisis y diseño ”, Editorial Thomson, 2002.
2. Albert Paul Malvino “Principios de Electrónica”, Editorial McGraw Hill.
3. J.Millman&C.C. Halkias “Electrónica integrada”, Editorial Hispano Europea.
4. F.Aldana, P. M. Martínez, J. Uceda “Electrónica Analógica ”, E.T.S.I.I. de Madrid.
5. Norbert R. Malik.“Circuitos electrónicos, análisis, simulación y diseño”, Editorial Prentice Hall, 1996.
6. J.M.Fiore “Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales ”, Editorial Thomson.
7. Robert F. Coughlin and Frederick F. Driscoll “Operational Amplifiers & Linear Integrated Circuits.”, Editorial Prentice Hall