

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA CLASIFICADORA DE TUERCAS
AUTOMATIZADA**

DIEGO FERNANDO AGUDELO TORO

JUAN PABLO TABARES VALENCIA

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA
PEREIRA
2011**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA CLASIFICADORA DE TUERCAS
AUTOMATIZADA**

DIEGO FERNANDO AGUDELO TORO

JUAN PABLO TABARES VALENCIA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero en Mecatrónica

**Director
FRANCISCO JAVIER HENAO CASTAÑEDA
M.Sc**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA
PEREIRA
2011**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Pereira, 21 de noviembre de 2011

CONTENIDO

	pág.
1. TÍTULO	14
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	15
2.1 PLANTEAMIENTO	15
2.2 FORMULACIÓN	15
2.3 SISTEMATIZACIÓN	15
3. JUSTIFICACIÓN	16
4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	17
4.1 OBJETIVO GENERAL	17
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
5. MARCO DE REFERENCIA	18
5.1 MARCO HISTÓRICO	18
5.2 MARCO CONTEXTUAL	20
5.3 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	21
5.3.1 Inteligencia artificial	21
5.3.2 La problemática del diseño	22
5.3.3 Tipos de diseño	24
5.3.3.1 Estructuras de las tareas de diseño	24

5.3.4 Microprocesadores	25
5.3.4.1 Arquitectura interna básica de un microprocesador.	25
5.3.5 Microcontroladores	28
5.3.6 Motores DC	30
5.3.7 Motores paso a paso	37
5.3.8 Sensores tipo switch	38
5.3.9 Sensor de efecto Hall o sensor Hall	39
5.3.10 Sensor de fotodiodo	39
5.3.10.1 Fococeldas	40
6. DISEÑO METODOLÓGICO	43
7. RESULTADOS	44
7.1 NORMAS Y REGULACIONES QUE APLICAN AL PROYECTO	44
7.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE SENSOR PARA IDENTIFICACIÓN DEL TAMAÑO	44
7.2.1 Practica de laboratorio con diodos emisores de luz	44
7.2.2 Práctica de laboratorio con sensores de efecto Hall	49
7.3 PROPUESTA DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PARA ALOJAR LOS SISTEMAS MECÁNICOS Y DE CONTROL DE LA MÁQUINA.	53
7.3.1 Creación paso a paso del modelo virtual de la estructura	54
7.3.2 Análisis de la estructura diseñada.	55
7.3.3 Rediseño de la estructura	56

7.3.4 Propuesta final de diseño de la estructura	58
7.3.5 Cálculos dinámicos del desplazamiento de las tuercas sobre la estructura	59
7.4 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA LÓGICA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	63
7.5 SIMULACIÓN EN MATLAB DE LA LÓGICA PROGRAMADA PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	64
8. CONCLUSIONES	66
9. RECOMENDACIONES	67
10. BIBLIOGRAFÍA	68

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama por bloque que muestra la forma de trabajar de la Unidad de Control.	26
Figura 2. Contador de programa con las señales asociadas a su funcionamiento.	27
Figura 3. Microcontrolador.	28
Figura 4. Diagrama de flujo para un sistema microcontrolado.	29
Figura 5. Representación en bloques de un microcontrolador.	29
Figura 6. Motor de Pixii.	31
Figura 7. Motor DC básico.	32
Figura 8. Motor DC en punto muerto.	33
Figura 9. Diagrama de cableado de un motor DC shunt.	34
Figura 10. Curvas características del motor DC shunt.	35
Figura 11. Diagrama de cableado de un motor DC en serie.	35
Figura 12. Curvas características de un motor DC en serie.	36
Figura 13. Diagrama de un motor DC compuesto.	37
Figura 14. Rotor de motor paso a paso.	38
Figura 15. Estator de un motor paso a paso.	38
Figura 16. Divisor de tensión.	39
Figura 17. Símbolo esquemático de la celda fotovoltaica.	41
Figura 18. Voltaje contra iluminación para una celda fotovoltaica.	41

Figura 19. Corriente contra iluminación para varias resistencias de carga distintas.	42
Figura 20. Diagrama del circuito para emisores y receptores de luz.	44
Figura 21. Montaje del sistema de detección y registro de la señal.	45
Figura 22. Montaje del sistema de detección. Opto transistores (emisores y receptores).	46
Figura 23. Mediciones con los emisores de luz. (Imagen obtenida directamente del osciloscopio FLUKE123)	47
Figura 24. Obstrucción del haz de luz infrarroja entre un par de diodos emisor-receptor.	47
Figura 25. Obstrucción del haz de luz infrarroja entre dos pares de diodos emisor-receptor.	48
Figura 26. Obstrucción del haz de luz infrarroja entre 3 pares de diodos emisor-receptor.	48
Figura 27. Obstrucción del haz de luz infrarroja entre 4 pares de diodos emisor-receptor.	49
Figura 28. Diagrama del circuito para sensores de efecto Hall.	50
Figura 29. Montaje del sistema de detección y registro de la señal.	50
Figura 30. Montaje del sistema de detección en presencia de un campo magnético.	51
Figura 31. Mediciones con los sensores de efecto Hall.	52
Figura 32. Secuencia de exposición del objeto metálico al campo de detección de los sensores de efecto Hall.	52

Figura 33. Primera propuesta de diseño de la estructura.	54
Figura 34. Segunda propuesta de diseño de la estructura	56
Figura 35. Propuesta final de diseño de la estructura.	58
Figura 36. Diagrama representativo de la posición y el desplazamiento de las tuercas.	60
Figura 37. Diagrama de cuerpo libre de una tuerca representativa con las fuerzas que actúan sobre ella.	60
Figura 38. Respuesta del sistema (posición del direccionador) Vs la señal registrada por los opto-transistores.	65

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A	70
ANEXO B	74
ANEXO C	76
ANEXO D	77
ANEXO E	78
ANEXO F	79
ANEXO G	80
ANEXO H	81
ANEXO I	82
ANEXO J	83
ANEXO K	84
ANEXO L	87
ANEXO M	89
ANEXO N	90

RESUMEN

El presente trabajo ilustra el diseño de una máquina clasificadora de tuercas automatizada, centrandó la atención en la clasificación de elementos por su tamaño. Se realiza por la necesidad de explorar estos sistemas de clasificación capaces de percibir, diferenciar y clasificar a partir de unos parámetros previamente establecidos.

Se hace una revisión de la información disponible acerca de sensores y motores de corriente directa, como principales figurantes en el funcionamiento de la máquina propuesta. Dicha máquina está basada en una serie de requerimientos prácticos y algunas propuestas de los diseñadores.

Se obtuvo información importante y necesaria para realizar el diseño teórico de la máquina, pudiéndose evidenciar en los planos propuestos, requeridos para su futura construcción. Durante la revisión bibliográfica no se encontraron normas de diseño de máquinas clasificadoras de tuercas.

Finalmente se presenta una propuesta para la lógica de funcionamiento del sistema seguida por una simulación en Matlab. El programa propuesto será la base para el funcionamiento lógico del sistema. Este proyecto busca que una vez entregado, sirva como inspiración para su construcción en un futuro Proyecto de Investigación.

INTRODUCCIÓN

Los procesos de clasificación han estado presentes en aplicaciones donde nace la necesidad de discriminar de manera ordenada objetos tales como semillas, monedas, tornillería e incluso tuercas, generándose así diferentes métodos de clasificación dependiendo de las necesidades. Esto quiere decir que a través de la búsqueda de sistemas y técnicas de clasificación se han desarrollado sistemas capaces de detectar e identificar objetos con una meta específica, ya sea un correcto almacenamiento, inventario de piezas e incluso para fines estadísticos.

Los sistemas de clasificación por medio de elementos mecánicos que surgen a partir de la necesidad de diversas empresas dedicadas a la producción no solo de piezas mecánicas sino también agroindustriales, de hacer un control sobre la producción, con el objeto de separar sus productos de una manera lógica y de aplicar criterios de selección para segregar de manera oportuna productos defectuosos o que simplemente no cumplen con las especificaciones requeridas.

Dentro del diseño de la máquina clasificadora de tuercas se tiene en cuenta la investigación sobre normativas, teorías y tecnologías aplicables dirigiendo el proyecto a buscar una solución a una necesidad puntual.

El alcance general esperado para el proyecto consiste en diseñar un sistema de clasificación, cuya aplicación pueda ser extendida de manera general a gran cantidad de procesos y productos con características similares.

- 1) Dentro de los objetivos formulados para el desarrollo del proyecto no se propone la construcción del sistema, lo cual exige realizar algunos cambios y adecuaciones al diseño a partir de los resultados que arroje la prueba realizada a los elementos físicos en conjunto (o sistema), ya que en este caso cada uno de ellos fue calculado y probado de manera independiente.
- 2) El alto costo de algunos elementos (como sensores especiales), cuya aplicación habría sido muy interesante en el desarrollo del proyecto, generó la necesidad de trabajar con elementos comerciales de bajo costo.

La metodología utilizada en desarrollo del proyecto consiste en actividades de investigación aplicada.

El uso de elementos electrónicos que normalmente son empleados para el almacenamiento de datos y en la detección e identificación de ciertas características físicas, permitió que el trabajo desarrollado tenga resultados positivos con respecto a los esperados.

En el contexto de las empresas metalmecánicas, la necesidad de selección de partes no solo se enfoca en las tuercas, sin embargo es una buena base, susceptible de mejoras y de amplia aplicabilidad según los requerimientos particulares de cada empresa.

1. TÍTULO

Diseño de una máquina clasificadora de tuercas automatizada.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

2.1 PLANTEAMIENTO

Existen actualmente muchos procesos de carácter industrial que requieren de una labor de separación, acto que demanda tiempo, convirtiéndose en un proceso costoso y en ocasiones poco eficiente. Con el fin de automatizar este tipo de procesos se presenta una opción de carácter aplicable. Mientras el sistema de clasificación funciona, el personal, antes encargado de hacer la operación manualmente, puede realizar labores de una manera más lógica y eficiente.

2.2 FORMULACIÓN

¿Es posible y viable, diseñar un clasificador de tuercas automatizado?

2.3 SISTEMATIZACIÓN

¿Es posible realizar una consulta bibliográfica acerca de las normativas que apliquen a la clasificación de piezas mecánicas, específicamente tuercas?

¿Cómo seleccionar al tipo de sensor más adecuado para identificar el tamaño de las tuercas?

¿Es posible proponer el diseño de un mecanismo para seleccionar las tuercas?

¿Cómo diseñar un diagrama de funcionamiento del sistema?

3. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto se presentó como un paso importante en el desarrollo de tecnologías aplicadas a la solución de problemas específicos, que afecten al propietario de una fábrica o dueño de una planta de procesamiento de semillas o granos, los cuales podrían tener un gran interés en obtener diseños de sistemas de clasificación adecuados según los requerimientos.

La presente propuesta de diseño se realizó con el fin de encontrar soluciones a un problema en la producción de tuercas que tiene diversas causas, es decir, hay que buscar e implementar una serie de soluciones para cada caso en particular dependiendo del proceso y de las limitantes o circunstancias que se presentan en los puestos de trabajo. Este problema es el técnicamente conocido como tiempo de retraso de manufactura¹. Este es un concepto que se refiere a labores que realizan los operarios para cumplir con sus responsabilidades pero que no son las labores para las que fueron contratados en principio o que no se constituyen como labores productivas.

Se hace énfasis en la separación de tuercas por la facilidad de establecer características marcadas para efectuar la selección de estas por diferentes métodos. Claro está que la aplicación finalmente obtenida se puede hacer extensiva a procesos de separación de gran variedad de productos con sus diferentes características.

Con el fin de buscar una solución al problema planteado se propone realizar el diseño de una máquina que clasifique y separe tuercas de acuerdo a su tamaño, para que los operarios sean más eficientes y mejore la producción.

¹Administración de producción y operaciones. Octava Edición. GAITHER, Norman y FRAZIER, Greg.

4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una máquina clasificadora de tuercas por tamaños automatizada.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar si existen normativas que apliquen a este proyecto.
- Seleccionar el tipo de sensor más adecuado para identificar el tamaño de las tuercas.
- Proponer un diseño del mecanismo para la selección de las tuercas.
- Diseñar un diagrama de funcionamiento del sistema.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1 MARCO HISTÓRICO

La automatización consiste en el uso de sistemas o elementos computarizados para el control de máquinas y procesos industriales sustituyendo a operadores humanos.

Desde el siglo XVIII cuando la industrialización hizo a los procesos (hasta el momento manuales) rápidos y eficientes, las investigaciones acerca de la composición y forma de materias primas, máquinas, líneas de flujo incluso tratamiento del recurso humano, han hecho que la industria sea cada vez más eficiente.

Las primeras máquinas, simplemente sustituían unas formas de esfuerzo en otras y requerían aún del despliegue motriz del ser humano como lo era levantar un peso con sistema de poleas o con una palanca. Posteriormente las máquinas fueron capaces de transformar formas naturales de energía renovable, tales como el viento, mareas, o un flujo de energía humana en movimiento mecánico.

Los botes a vela sustituyeron a los botes de remos. Todavía después, algunas formas de automatización fueron controladas por mecanismos de relojería o dispositivos similares utilizando algunas formas de fuentes de poder artificiales como un resorte, un flujo canalizado de agua o vapor para producir acciones simples y repetitivas, tales como figuras en movimiento, creación de música, o juegos. Dichos dispositivos que caracterizaban a figuras humanas, fueron conocidos como autómatas y datan posiblemente desde 300 AC.

En 1801, la patente de un telar automático utilizando tarjetas perforadas fue dada a Joseph Marie Jacquard, quien revolucionó la industria del textil.

El nivel de automatización que determinados procesos han adquirido, dependen de las investigaciones y avances que normalmente se hacen para el desarrollo de algunas ramas de la ciencia, la industria militar u otros procesos.

Para mediados del siglo XX, la automatización había existido por muchos años en una escala pequeña, utilizando mecanismos simples para automatizar tareas sencillas de manufactura. Sin embargo el concepto solamente llegó a ser realmente práctico con la adición (y evolución) de las computadoras digitales, cuya flexibilidad permitió manejar cualquier clase de tarea. Las computadoras digitales con la combinación requerida de velocidad, poder de cómputo, precio y tamaño empezaron a aparecer en la década de 1960. Antes de ese tiempo, las

computadoras industriales eran exclusivamente computadoras analógicas y computadoras híbridas. Desde entonces las computadoras digitales tomaron el control de la mayoría de las tareas simples, repetitivas, tareas semi especializadas y especializadas, con algunas excepciones notables en la producción e inspección de alimentos.

Para hablar de medios de producción a nuestro alcance (al menos en cuanto a conocimiento se refiere), es necesario decir que la automatización aplicada en ellos es muy básica. En algunos casos haciendo uso aún de la neumática pura.

El costo de elementos de sensado y control y el costo de mano de obra calificada para el diseño en instalación de los diferentes dispositivos, han hecho que las pequeñas, medianas e incluso grandes empresas no inviertan o lo hagan de forma muy limitada en la adquisición y aplicación de dispositivos para la automatización.

Es por esto que en la mayoría de las industrias la automatización está dirigida a procesos muy específicos que no requieren de complicados y costosos elementos.

Se puede decir entonces que, las estaciones de trabajo en la cadena de producción en donde menos automatización se puede observar en nuestro medio, son aquellas dedicadas a la clasificación y direccionamiento del producto según una característica predeterminada.

Los objetos poseen características que son más fáciles de medir que otras. Los medios desarrollados para tal fin y su costo hacen que características como el peso y el tamaño sean las favoritas a la hora de elegir un método de selección.

Los últimos avances en reconocimiento de imágenes y procesamiento de señales han hecho que la identificación de ciertos objetos sea posible teniendo en cuenta su color o su forma.

En la tabla del Anexo A se puede observar el estado de la técnica en cuanto al desarrollo de algunos métodos de selección.

5.2 MARCO CONTEXTUAL

Para el desarrollo del presente proyecto se toman como referencia (en caso de ser necesario) procesos existentes en algunas de las empresas del entorno de nuestra región como por ejemplo GL Ingenieros S.A, Suzuki Motor de Colombia S.A., Integrando Ltda. y Solomoflex Ltda.

El área metropolitana de Pereira y Dosquebradas está en el centro de la región occidental del territorio colombiano. Su población combinada es de aproximadamente 630.000 habitantes según datos del censo del año (2005).

Su estratégica localización central dentro de la región cafetera, lo ubica dentro del panorama económico nacional e internacional, estando unido vialmente con los tres centros urbanos más importantes del territorio nacional y con los medios tanto marítimos como aéreos de comunicación internacional.

Sus coordenadas de localización son: Latitud, 4°48'51.40"N Longitud 75°41'40.41"W.

El área municipal es de 720km², limita al norte con los municipios de La Virginia, Marsella y Dosquebradas, al este con Santa Rosa de Cabal y el departamento del Tolima, al sur con los departamentos de Quindío y Valle del Cauca, al oeste con el municipio de Balboa y el departamento del Valle del Cauca. Pereira es el primer centro urbano del eje cafetero y el segundo de la región paisa².

La mayor parte del territorio municipal corresponde al relieve escarpado de la Cordillera Central. Por lo que quebrado de su relieve goza de variedad de climas, presentando los siguientes pisos térmicos.

Cálido → 60km²
Medio → 367km²
Frío → 70km²
Páramo → 107km²

La economía de Pereira depende en gran medida del café. Es un municipio industrial, donde se encuentran diversas fábricas de ropa, calzado y productos comestibles. El PIB de la ciudad es de US\$2500 millones.

²Wikipedia. Pereira. En línea. Fecha de actualización: 15 de octubre de 2010. <http://es.wikipedia.org/wiki/Pereira>

5.3 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

En el proceso de diseño de cualquier dispositivo, se recurre a diferentes ramas de la ingeniería con el fin de aprovechar características de cada una que posibiliten la optimización del diseño en cuanto a tiempo de investigación, funcionalidad final del prototipo, inversión financiera, entre otros. Una de esas disciplinas es la de la “**Inteligencia Artificial**”.

5.3.1 Inteligencia artificial. Fue en el siglo XX cuando se inició realmente. Se trabajó en articular el diseño como un proceso.

Para algunos, el diseño es una actividad misteriosa, exenta de patrones y procedimientos. Sin embargo en la década de 1960 se iniciaron estudios importantes sobre la materia, basados en las técnicas de investigación de operaciones.³

Recientemente los modelos de procesamiento de la información basados en los conceptos de la inteligencia artificial (I.A.) han dado un renovado ímpetu a las investigaciones sobre el diseño. Muchas ideas básicas de la I.A. resultan útiles para desarrollar modelos formales de diseño como una actividad.

Los diseñadores constituyen agentes de cambio de la sociedad. Su propósito es mejorar la condición humana en todos sus aspectos, mediante cambios del entorno físico. El propósito de los diseñadores es cambiar un mundo que no nos resulta totalmente adecuado mediante la creación de dispositivos. Los objetivos que se persiguen con las investigaciones sobre cierto diseño son los siguientes:

- Alcanzar una mejor comprensión del diseño.
- Desarrollar herramientas para ayudar a los diseñadores.
- Lograr la automatización de algunas tareas de diseño.
- Permite corregir errores en las etapas iniciales.

Esta última ha dado lugar al desarrollo del llamado CAD (*Computer Aided Design*) o diseño asistido por computador y más ampliamente a los sistemas CAD/CAM y CAE.

³BELLO PEREZ, Rafael. El Diseño de Ingeniería y la Inteligencia Artificial Revista Facultad de Ingeniería

5.3.2 La problemática del diseño. Normalmente se llama diseño a la creación de la representación de un producto y se habla de CAD cuando se enfatiza en el aspecto computacional del proceso de creación. Por ejemplo, el diseño de una pieza mecánica se especifica por su geometría, más algunas otras propiedades, como el tipo de material, dureza, entre otros.

Un enfoque del diseño es que este puede ser modelado usando variables y se tienen que tomar decisiones sobre los valores que deben tomar esas variables; pero considerando que el artefacto diseñado tiene que operar en un entorno real, existen restricciones impuestas por el mismo sobre los valores de las variables.

Así el diseño podría ser descrito como una actividad de toma de decisiones bajo restricciones, dirigida por un objeto. De aquí que se tenga que el método de la I.A. conocido como satisfacción de restricciones resulta adecuado para este enfoque.

B. Chandrasekaran en su libro "*Design Problem Solving: A Task Analysis (A.I Magazine, Winter 1990)*" define la actividad del diseño así:

"El problema del diseño se especifica por:

- ✓ Un conjunto de funciones que deben ser ofrecidas por el artefacto y un conjunto de restricciones que deben ser satisfechas.
- ✓ Una tecnología, es decir, un repertorio de los componentes disponibles y las relaciones entre las componentes.

La solución al problema de diseño consiste de la especificación completa de un conjunto de componentes y sus relaciones, que como un todo describen un artefacto que ofrece las funciones deseadas y satisface las restricciones."

Mientras que C.L. Dym en "*A.I Approaches to Engineering design: Taxonomies and search prescription, 1990*" define el diseño de ingeniería en la forma siguiente:

"El diseño de ingeniería es la generación y evaluación sistemática e inteligente de las especificaciones para los artefactos cuya forma y funcionamiento alcanzan los objetivos planteados y satisfacen las restricciones especificadas."

En la base de esta definición se encuentran los siguientes criterios:

- ✓ Se puede encontrar una representación exitosa para la forma y el funcionamiento y se puede calcular su interacción.
- ✓ Se pueden encontrar técnicas de solución de problema para explotar esta representación, para generar y enumerar alternativas de diseño, las que pueden ser traducidas a un conjunto de especificaciones de fabricación.

- ✓ Se pueden enumerar criterios para evaluar los diseños en términos de la misma representación usada para generar y probar las soluciones de diseño.

En términos generales se pueden plantear tres etapas del proceso de diseño:

- ✓ Definición de las especificaciones de diseño y de las restricciones.
- ✓ Diseño del producto.
- ✓ Verificación de la validez del producto.

En la etapa de diseño del producto se pueden diferenciar tres fases:

- ✓ Diseño conceptual.
- ✓ Construcción del producto.
- ✓ Detalles del producto.

La fase de diseño conceptual comprende la identificación de las estructuras funcionales y las soluciones esenciales. Esta fase es la que requiere mayor conocimiento experto, analítico o heurístico. Las dos fases siguientes; modulación física del producto y elaboración de los detalles de construcción, se ejecutan sobre la base de conceptos y soluciones esenciales adoptadas.

Las tres etapas del proceso de diseño se pueden descomponer en las actividades siguientes:

- ✓ Descripción de los requerimientos: En la cual los requerimientos identificados se describen o modelan de una manera formal o semiformal.
- ✓ Descomposición: En la cual los requerimientos y los problemas del diseño se dividen en sub problemas más manejables.
- ✓ Síntesis: Durante la cual se generan esquemas de diseño y soluciones posibles. La tarea de síntesis consiste en ensamblar un conjunto de diseños parciales o elementos de diseño primitivos en una configuración que satisfaga claramente unas pocas restricciones y especificaciones claves.
- ✓ Estrategia de planificación: En la cual se identifican ordenamientos de objetivos de diseños intermedios.
- ✓ Detalle y parametrización: En la cual las partes de un diseño se trabajan más en detalle para establecer los valores o cotas para los parámetros de diseño.
- ✓ Análisis: Durante el cual los detalles del diseño propuesto y los valores y cotas de los parámetros se prueban. La tarea de análisis consiste en resolver los cálculos o deducciones necesarias para determinar si la síntesis obtenida satisface al menos las especificaciones y restricciones obvias.
- ✓ Optimización: Durante la cual las interacciones y relaciones entre las sub partes de un diseño son optimizadas con respecto a criterios globales.

5.3.3 Tipos de diseño. Se puede establecer una clasificación de los tipos de diseño, considerando tres grupos: diseño rutinario, diseño innovador y diseño creativo.

En la primera categoría está el diseño que se realiza seleccionando un producto existente. Este es válido cuando se tiene un espacio definido de diseños potenciales, de modo que todas las variables y sus rangos, así como el conocimiento para calcular sus valores son directamente instados a partir de prototipos de diseño existentes. Por eso, el diseño rutinario puede ser visto como un proceso de refinar una instancia de un prototipo. Los prototipos se recuperan y seleccionan y se generan las instancias. Esto significa que se tiene definido el principio de trabajo del artefacto, y la estructura de sus elementos; y su ensamble es el mismo, solo hay un cambio en la capacidad de trabajo del artefacto.

El diseño innovador también se ha denominado diseño de variantes, pues en él se desarrolla el artefacto sobre la base de un modelo físico del producto ya adoptado, donde la nueva variante del producto se obtiene variando diversos parámetros del diseño. En este tipo de diseño se selecciona un principio de trabajo para el artefacto y se modifica este principio hasta obtener el comportamiento deseado.

Esta categoría de diseño se puede ver como un diseño no rutinario que se realiza dentro de un espacio bien definido de diseños potenciales. Lo que distingue este tipo de diseño del rutinario es que los diseños producidos están fuera del espacio normal. Esta distinción se produce por la manipulación de rasgos aplicables por las variables, lo que produce un diseño con estructura familiar, pero con una nueva apariencia, pues los valores de las variables no son familiares.

La tercera categoría, el diseño creativo, es esencialmente la creación de un nuevo producto. Se puede definir como un diseño no rutinario que usa nuevas variables para producir nuevos tipos y como resultados extender el espacio de diseños potenciales. En un caso extremo se puede producir un espacio de búsqueda totalmente nuevo, disjunto de lo existente hasta ese momento. El diseño creativo tiene la capacidad de producir un cambio en el paradigma existente, pues se genera un artefacto con un principio de funcionamiento nuevo. Se han desarrollado técnicas basadas en la filosofía de la I.A. orientadas específicamente al diseño, entre las que está el diseño por medio de prototipos.

5.3.3.1 Estructuras de las tareas de diseño. Los procedimientos y operaciones ejecutados en el diseño y la manufactura de los productos de ingeniería se organizan tradicionalmente de manera secuencial.

Una vez identificadas las necesidades y dada la especificación inicial para un producto, el proceso comienza con un diseño conceptual o esquemático, seguido

por un diseño en detalle. Luego se ejecutan las etapas de planificación de la manufactura y prueba. Toda la primera etapa constituye la tarea de diseño, la cual se realiza de la forma siguiente:

Sea una tarea para resolver T y un método M sugerido para esta tarea. Un método se puede describir en términos de los operadores que usa, los objetos sobre los que se opera y cualquier conocimiento adicional sobre cómo organizar la aplicación de los operandos para satisfacer el objetivo.

Se denomina estructura de una tarea a la descripción de la tarea, los métodos propuestos para esta, las sub tareas interna y externa, el conocimiento requerido para los métodos y cualquier estrategia de control para los métodos. La estructura de tarea para el diseño se resume en la tabla 2. En ella se definen cuatro tareas principales por adjuntar: diseño, verificación, crítica y modificación.

En la tabla del Anexo B. se puede verificar en detalle cada una de las 4 tareas mencionadas con los métodos y subtareas.

5.3.4 Microprocesadores. La revolución tecnológica de los últimos años ha hecho imprescindible el estudio y desarrollo de la electrónica y la informática. La clave del progreso ha sido la cada vez más eficiente integración de componentes en un encapsulado denominado microchip. Tal desarrollo ha sido tan significativo como que desde sus inicios en 1965 hasta ahora los microchips han pasado de tener una capacidad de 4bits a 1Gbits. Hoy se estima que la tendencia es de cuadruplicar la capacidad de estos dispositivos cada 3 años.⁴

Los microprocesadores salieron al mercado en el año de 1971 con la marca Intel, presentando mejoras constantes por parte del mismo fabricante y aumentando aún más su desarrollo con la aparición de Motorola y la empresa Zilog en el mercado. Su constante refinamiento posibilitó la producción de herramientas de cómputo mucho más pequeñas y poderosas cada vez.

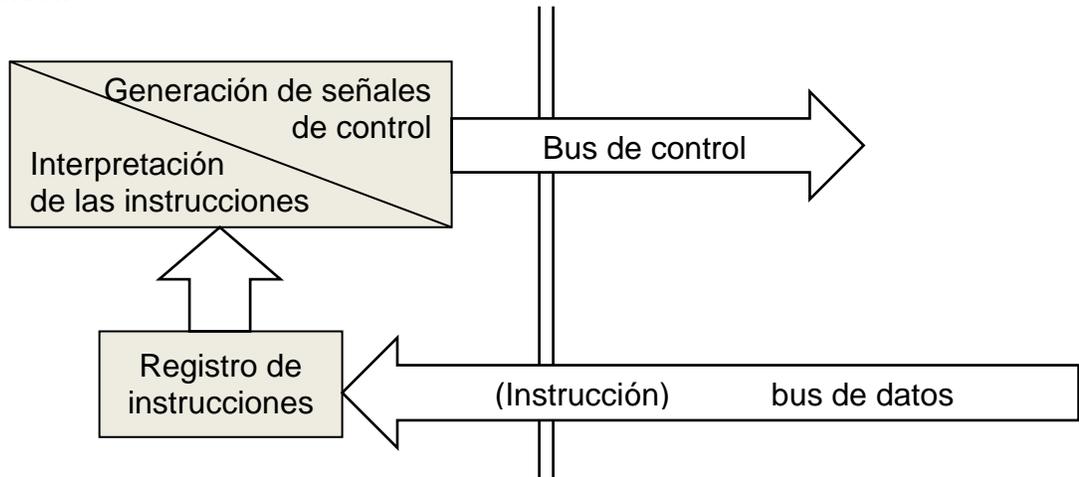
5.3.4.1 Arquitectura interna básica de un microprocesador.Consta de varios elementos, los cuales se relacionan a continuación.

Unidad de control. Interpreta las instrucciones recibidas para luego ordenar las tareas de control que gobiernan y sincronizan el trabajo de las unidades internas y externas de la CPU. Por ejemplo si se comunica una orden al procesador consistente en extraer un dato del bloque de memoria, la unidad de control será la que de las órdenes para direccionar la memoria, habilitar la conexión con el bus de

⁴ANGULO USATEGUI, José María. Electrónica Digital y Microprogramable. España: International Thompson Editores Spain Paraninfo S.A., 2007. 263 páginas.

datos, ordenar, leer, entre otras. En la Figura1 se muestra la secuencia típica que sigue la unidad de control para el tratamiento de las instrucciones.

Figura 1. Diagrama por bloque que muestra la forma de trabajar de la Unidad de Control.



ANGULO USATEGUI, José María. Electrónica Digital y Microprogramable.

Unidad Aritmético Lógica (ALU). Es el bloque operativo de la CPU. Efectúa las operaciones que la unidad de control le ordena, a partir de los datos que antes ha seleccionado y ubicado en los registros de entrada a la ALU.

Está estructurada a partir de circuitos combinatoriales y puede realizar operaciones de tipo lógico o de tipo aritmético, generalmente entre dos operandos, generando un resultado que deposita en otro registro llamado acumulador. Para ello se hace necesario que cada operando esté situado en la entrada correspondiente de la ALU de acuerdo con la tabla de verdad a la que corresponde. Las entradas de control de la ALU también intervienen en la tabla de verdad mencionada a fin de determinar el tipo de operación que debe realizar.

Así, si la ALU posee tres líneas de control, será capaz de realizar hasta 8 diferentes operaciones, que pueden ser: AND, OR, XOR, NOT, NAND, NOR, suma binaria y resta binaria.

Acumulador. Es un registro que está estrechamente ligado a la ALU, ya que es el que recibe el resultado de la operación realizada.

Algunos microprocesadores poseen dos acumuladores, lo que normalmente genera un aumento en la velocidad operativa ya que la ALU puede trabajar sobre ambos acumuladores y estos dejan a su disposición dos datos accesibles directamente.

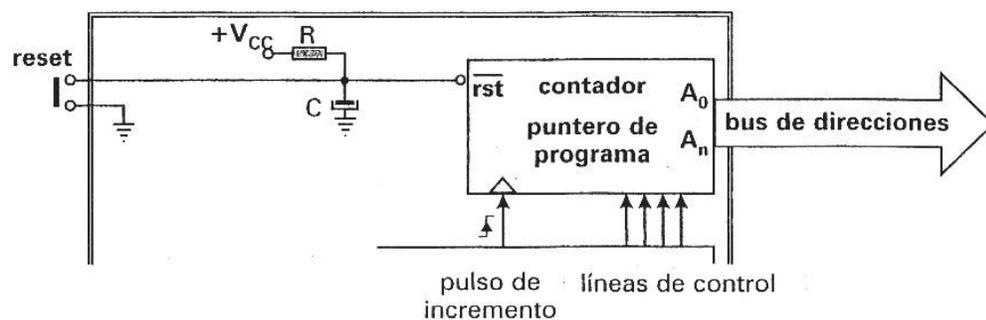
Contador de Programa. Es un registro que hace las veces de contador ordinal y cuya función es la de indicar en todo momento la dirección de la próxima instrucción a procesar. Es uno de los proveedores de información (como la dirección de una memoria) en el bus de datos.

Cuando se inicia el trabajo de un computador cuya operación está basada en un microprocesador, el contador del programa pone sus líneas a cero (0), por lo que en esa dirección de memoria ROM debe estar la primera instrucción que la CPU debe de procesar. Esto se consigue con condensador y una resistencia como se muestra en la Figura 2. Al condensador (que se encuentra descargado) se le aplica una tensión, que hasta que supere los 0.6V seguirá representando un cero (0). Esa acción establece en cero todos los biestables que integran el contador de programa. Al final el condensador se establece con una tensión de la fuente que se mantiene durante todo el funcionamiento. Se cuenta con el pulsador de reset para reiniciar el proceso.

El contador del programa (CP) es incrementado durante la ejecución de cada una de las instrucciones, de tal forma que siempre apuntará a la siguiente instrucción.

Si la instrucción genera un salto o ruptura de la secuencia, dicha instrucción deberá disponer de la nueva dirección para cargarla en el CP, desde cuyo valor se incrementará periódicamente. Y esa recarga de la nueva dirección se produce desde las líneas de control correspondientes.

Figura 2. Contador de programa con las señales asociadas a su funcionamiento.



ANGULO USATEGUI, José María. Electrónica Digital y Microprogramable.

Oscilador. Los pulsos generados por el oscilador van marcando el momento en que se producen las acciones de la unidad de control. El oscilador es el que marca el compás del funcionamiento de todo el sistema.

Evolución desde el microprocesador hasta el micro controlador. Cuando una máquina programada, diseñada originalmente para manejar un gran volumen de datos interviene en el control industrial, los técnicos encuentran mucho más práctico el control programado que el control cableado. Es así como se dan las siguientes circunstancias:

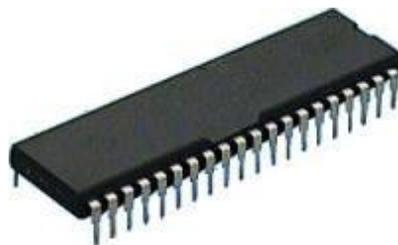
- ✓ No es necesario el manejo de grandes volúmenes de datos.
- ✓ Las señales de entrada y salida son tanto binarias como analógicos.
- ✓ El “sistema operativo” es extremadamente sencillo.
- ✓ La velocidad de procesamiento puede ser baja.

El hecho de que las necesidades de memoria ROM y RAM se reducen a pocos Kbytes y cada vez es más fácil integrar más y más transistores, hace que pronto se decida fabricar chips donde se integra la CPU, la memoria EEPROM, la memoria RAM y una interfaz de entradas/salidas, todo en el mismo chip. Esto da lugar al dispositivo que finalmente conocemos como microcontrolador.

5.3.5 Microcontroladores. Son muchos los componentes que se consideran durante el diseño de cualquier dispositivo, partiendo claro está de un proceso investigativo. Muchos de ellos se consideran en un momento y posteriormente dejan de ser tenidos en cuenta a partir del hallazgo de alternativas que ofrecen mayores ventajas individuales o en conjunto con otros componentes. A partir del conocimiento obtenido en estudios de pregrado, se considera que una herramienta fundamental para este diseño por su bajo costo, facilidad de implementación y versatilidad es el microcontrolador.

Los microcontroladores (ver Figura 3) son circuitos integrados, en donde internamente se encuentran las tres unidades funcionales de los computadores, que son: La unidad central de procesamiento, memoria y módulos de entrada y salida.⁵

Figura 3. Microcontrolador.



<http://www.cdronline.com.ar/thumb/MC68HC908GP32CP.jpg>

⁵ Ero-Pic. Una gran colección de tutoriales de electrónica.
http://perso.wanado.es/luis_ju/pic/pic01.html

Operan interpretando unas instrucciones para luego ejecutar y supervisar las operaciones necesarias para llevarlas a cabo.

Estos dispositivos son diseñados para disminuir el costo económico y el consumo energético del sistema en donde se programe, dependiendo del problema a solucionar se decide si se usa microcontrolador o no.

En la Figura 4 se ilustra el funcionamiento de un microcontrolador en un sistema cualquiera:

Figura 4. Diagrama de flujo para un sistema microcontrolado.



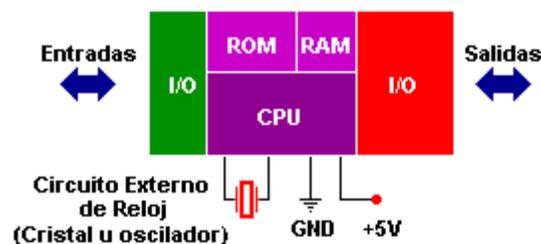
http://perso.wanadoo.es/luis_ju/index.html

Los dispositivos de entrada pueden ser un periférico como un teclado, un mouse, un sensor o un interruptor. Los dispositivos de salida pueden LED's, display o relés.

En la Figura 5 se representa un microcontrolador internamente con su CPU (Unidad Central de Proceso), sus memorias (RAM y ROM), y sus entradas y salidas, además de su fuente de alimentación y un circuito de reloj.

El microcontrolador se define como 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.

Figura 5. Representación en bloques de un microcontrolador.



http://perso.wanadoo.es/luis_ju/index.html

Algunos microcontroladores tienen características especiales dependiendo de las aplicaciones en las que se usa. Estas son algunas de ellas:

Conversores análogo a digital (A/D): En caso de que se requiera medir señales analógicas, como lo son la temperatura, el voltaje o la luminosidad.

Temporizadores programables (Timers): Si se requiere medir períodos de tiempo entre eventos, generar temporizaciones o salidas con frecuencia específicas.

Interfaz serial RS-232: Cuando se necesita establecer comunicación con otro microcontrolador o con un computador.

Memoria EEPROM: Para desarrollar una aplicación donde los datos no se alteren a pesar de quitar la alimentación, que es un tipo de memoria ROM que se puede programar o borrar eléctricamente sin necesidad de circuitos especiales.

Salidas PWM (modulación por ancho de pulso): Cuando se requiere el control de motores DC o cargas resistivas, existen microcontroladores que pueden ofrecer varias de ellas.

Técnica llamada de “Interrupciones”: Cuando una señal externa activa una línea de interrupción, el microcontrolador deja de lado la tarea que está ejecutando, atiende dicha interrupción, y luego continúa con lo que estaba haciendo.

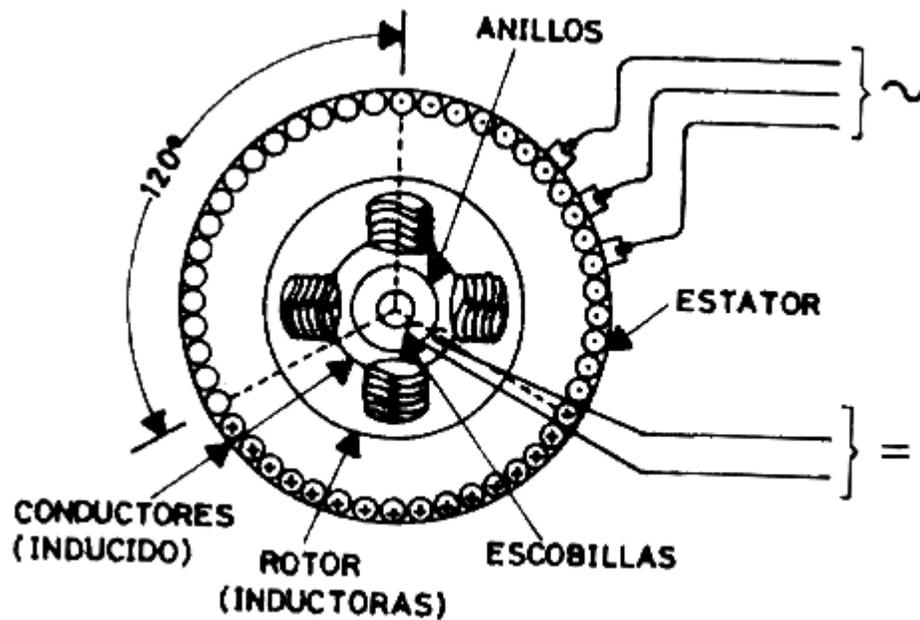
5.3.6 Motores DC. El motor de corriente directa (DC) moderno fue enfocado desde hace más de dos siglos. El nuevo entendimiento y la nueva tecnología han transformado al motor DC a través de dos siglos de investigación y desarrollo.⁶

La invención del motor eléctrico es generalmente acreditada a Michael Faraday. En 1821, Faraday inventó el primer motor eléctrico tosco. Un alambre rígido, pivoteado en la parte superior, colgado para que la base final quede inmerso en un plato de mercurio con el que se forma un polo altamente magnético. Cuando una gran corriente pasa a través del alambre, empieza a girar el eje en una rotación cónica. Aunque esto demuestre el principio del motor eléctrico, este proceso en particular requiere de mercurio durante todo el proceso. Faraday continuó su investigación en 1831, inventó un dínamo eléctrico, con el que produce electricidad de una rotación mecánica o absorbe electricidad y produce poder mecánico.

⁶Eastern Illinois University, DC Motors.
<http://pen.eiu.edu/~cudjw/DC%20Motors.html>

Una máquina inventada en 1832 por el francés *Hypolite Pixii* se convirtió en el padre del motor moderno, consiste en una máquina con un imán permanente con un alambre descubierto al núcleo y una armadura de hierro. Esta máquina se puede construir para producir un voltaje útil y niveles de corriente a partir de unos cientos de revoluciones por minuto (rpm). En la Figura 6 se muestra una representación del motor DC de Pixii enseñando lo que él quería demostrar.

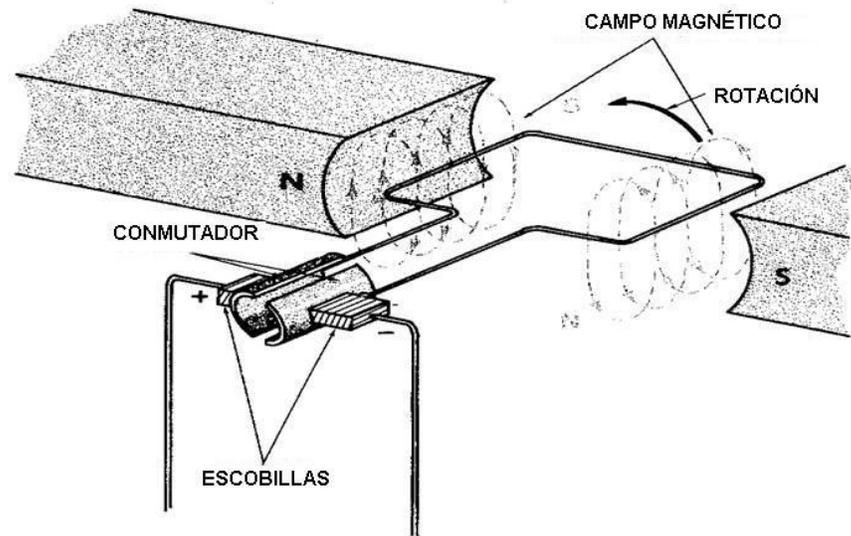
Figura 6. Motor de Pixii.



<http://generadoresdeca.blogspot.com/2009/08/componentes-de-un-generador-de.html>

Los motores DC convencionales consisten en uno o más devanados inductores (bobina), una armadura devanada ubicada en un rotor magnético y una estructura magnética que forma un estator. Cuando la corriente directa (DC) pasa a través de la bobina, esta corriente crea un campo magnético. El polo norte es atraído por el polo sur del exterior del campo magnético y viceversa (ver Figura 7).

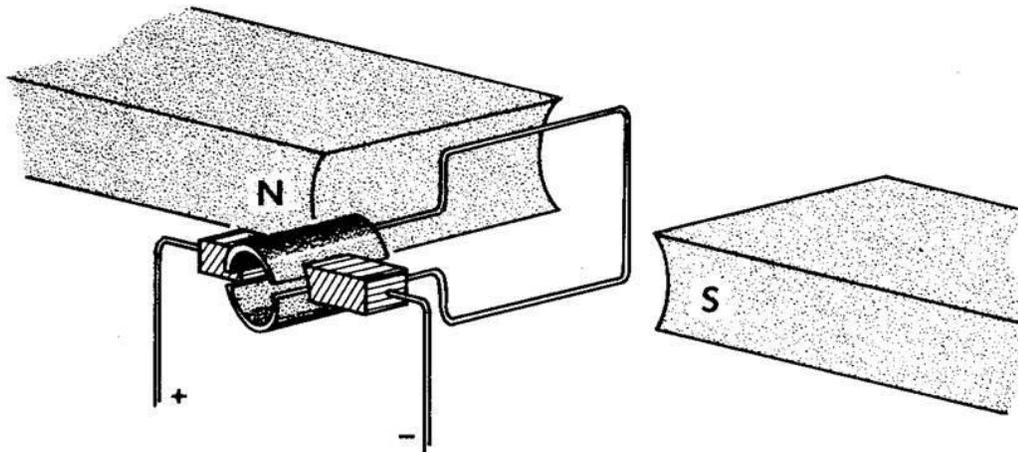
Figura 7. Motor DC básico.



<http://pen.eiu.edu/~cudjw/DC%20Motors.html>

Así, la bobina gira. Cuando la bobina llegue al centro muerto (ver Figura 8), la escobilla toca ambos segmentos de los conmutadores al mismo tiempo. Al ocurrir esto no pasa corriente por la bobina, pero gracias a la inercia la bobina continúa girando.

Figura 8. Motor DC en punto muerto.



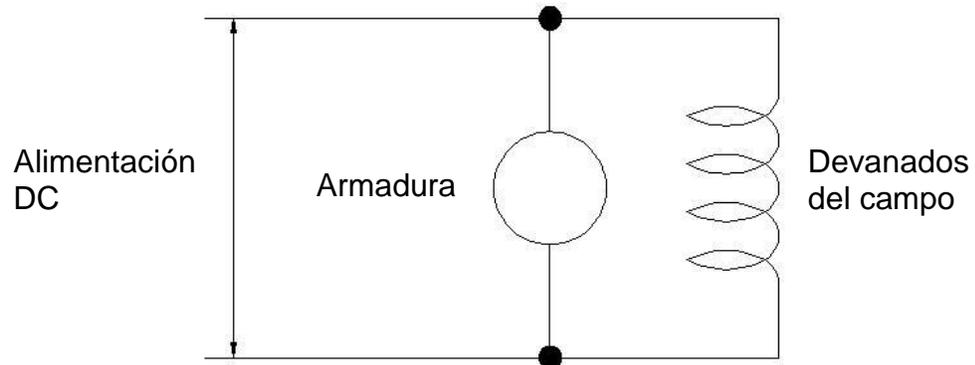
<http://pen.eiu.edu/~cudjw/DC%20Motors.html>

Después que la bobina pase por el centro muerto, el conmutador cambia la dirección del flujo de la corriente por la bobina, y la polaridad alrededor de esta se invierte. Esto ocasiona que la bobina sea atraída por el siguiente polo en esta rotación. Esta alteración de polos continúa después de girar los siguientes 180 grados para continuar con la rotación de la bobina.

Los motores de corriente directa de campo descubierto son construidos de diferentes formas y con muchos tipos de devanados, pero todos estos tipos de motores se resumen en dos categorías. Cuando el campo devanado es diseñado en paralelo con la armadura, el resultado es un motor DC *shunt*. Y cuando el campo devanado es diseñado en serie con la armadura, el resultado es un motor DC en serie. Cuando ambos tipos de diseño son usados juntos en una aplicación se obtiene un motor DC compuesto.

Los motores *shunt* son diseñados de forma que el campo devanado sea conectado en paralelo con la armadura (ver figura 9). Estos motores tienen una aproximación a una velocidad constante para valores específicos de voltaje aplicado a la armadura y de corriente del campo.

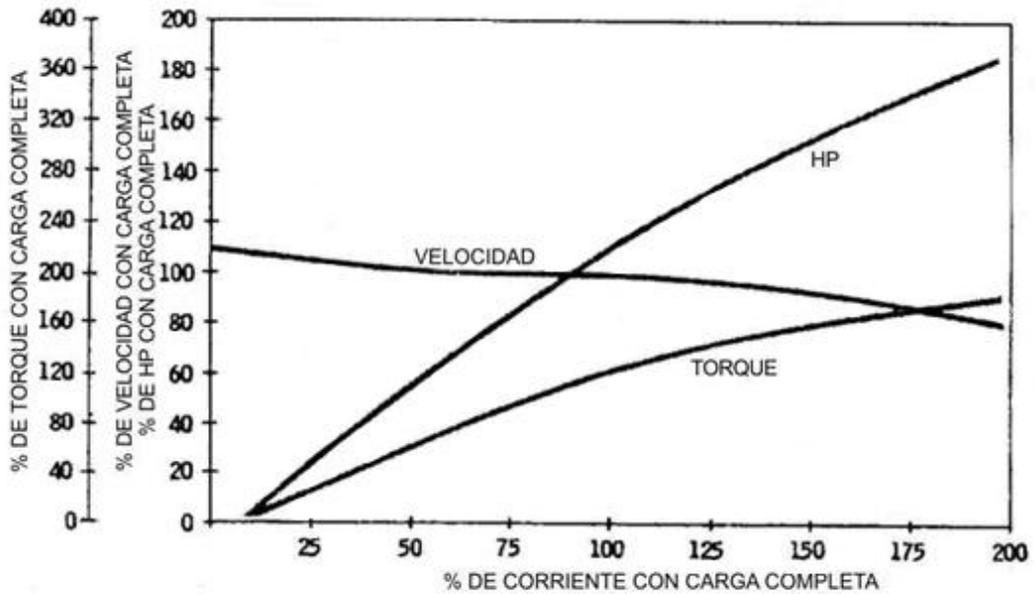
Figura 9. Diagrama de cableado de un motor DC *shunt*.



Autores

La no carga de velocidad puede ser variada en amplios rangos de velocidad por medio del control del voltaje de la armadura y de la corriente del campo. La fuerza de la carga no es afectada por un cambio en la carga, así que la velocidad puede mantenerse relativamente como una constante. Los motores *shunt* pueden ser usados en máquinas que requieran una velocidad constante e imponer un bajo torque de arranque y una ligera sobrecarga en el motor. La Figura 10 muestra las curvas características del motor DC *shunt*.

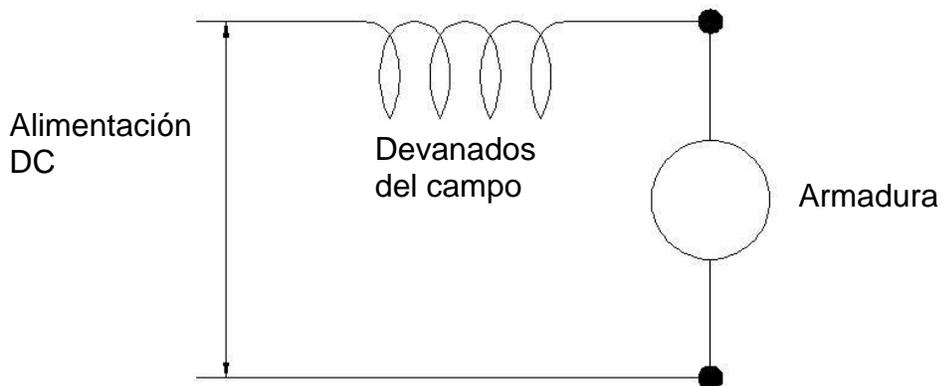
Figura 10. Curvas características del motor DC shunt.



<http://pen.eiu.edu/~cudjw/DC%20Motors.html>

Los motores DC en serie tienen el campo del devanado y la armadura en serie (ver figura 11). Así el campo de la corriente varía con la carga de la corriente. Cualquier incremento en la carga se convierte en más corriente pasando a través de la armadura y el campo del devanado.

Figura 11. Diagrama de cableado de un motor DC en serie.



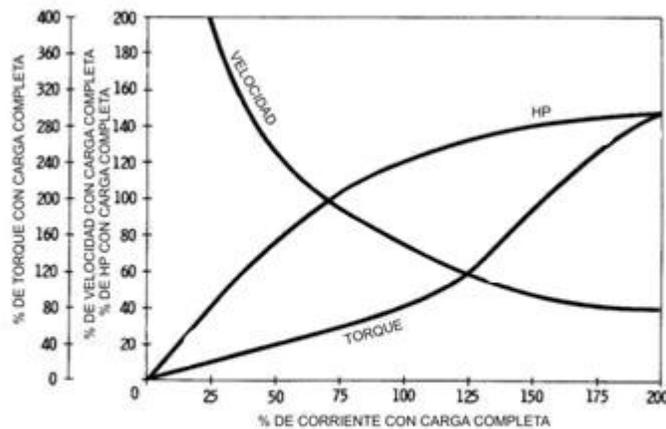
Autores

Esto hace que la corriente en el campo del devanado incremente y la velocidad del motor reduzca. Por otro lado, si la carga del motor decrece el campo será débil y

la velocidad del motor aumentará. Se describirán a continuación dos características de los motores con el campo del devanado y la armadura en serie.

La primera requiere una máxima carga de torque cuando se realiza el máximo torque por cada uno, reduciendo el voltaje aplicado, o por inserción de resistencias en serie en el circuito del campo de la armadura. La segunda característica es que un motor en serie nunca deberá estar descargado, porque en su máximo torque sin carga el motor puede alcanzar velocidades peligrosas que pueden causar daños en el rotor, por esta razón la carga es conectada directamente al motor en serie. Se muestran las características del motor en serie de manera gráfica (ver figura 12).

Figura 12. Curvas características de un motor DC en serie.

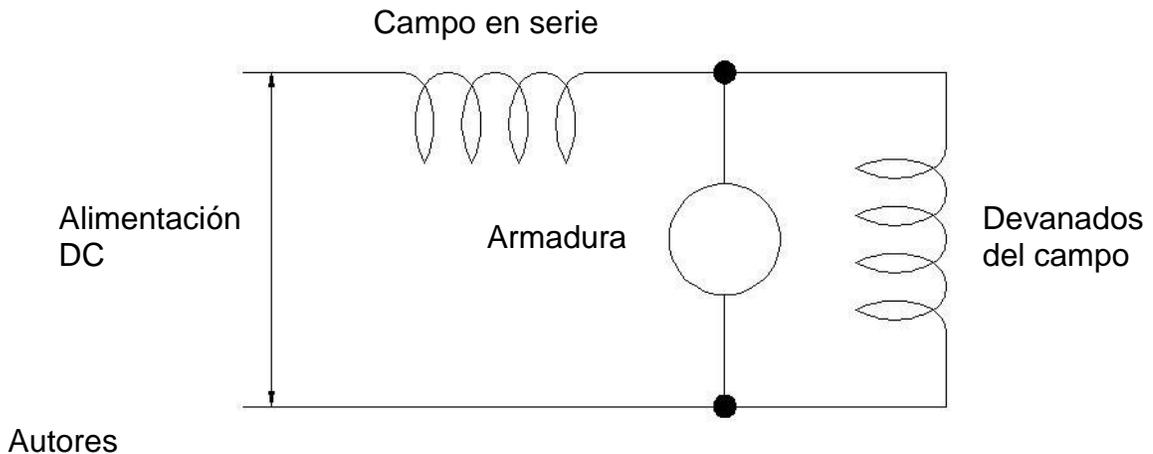


<http://pen.eiu.edu/~cudjw/DC%20Motors.html>

Un motor compuesto es la combinación de un motor en serie y de un motor shunt (ver figura 13). Este tiene ambos campos de devanados, el del motor en serie y el del motor shunt. Dependiendo de la aplicación, el motor pudo haber sido construido para que realice las aplicaciones de ambos o de cada uno por aparte.

La adición de un devanado en serie tiende a mejorar el torque de arranque de un motor shunt. La adición de un devanado shunt tiende a limitar la máxima velocidad del motor que alcanza bajo ligeras condiciones de carga. Usando una combinación de devanados en serie y en paralelo, el diseñador del motor tiene a su disposición un amplio espectro de características por eso el motor se puede construir para cualquier aplicación a la mano.

Figura 13. Diagrama de un motor DC compuesto.



5.3.7 Motores paso a paso. Estos dispositivos son ideales para adaptarlos en mecanismos que exijan movimientos precisos.⁷

La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° , es decir, que se necesitarían 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° .⁸

Los motores paso a paso tienen también una característica que les permite quedar enclavados en una posición completamente libres. Para quedar enclavado en alguna posición una o más bobinas debe estar energizada. Por el contrario queda totalmente libre en ausencia de corriente por todas sus bobinas.

Las características de los motores paso a paso son idóneas y por tal motivo se consideró como dispositivo actuador ideal para la realización del presente proyecto.

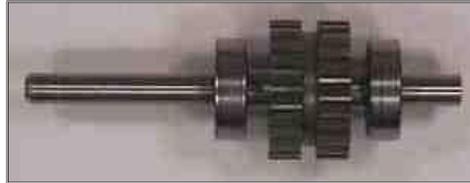
Principio de funcionamiento. Están compuestos por un rotor (ver figura 14) sobre el que van montados distintos imanes permanentes al igual que por una cantidad de bobinas excitadas en su estator (Figura 15). Toda la conmutación debe ser exactamente manejada por un controlador.

⁷Autómatas Programables. Única Edición. BALCELLS, Josep y ROMERAL, José Luis.

⁸Tutorial sobre motores paso a paso (Stepper Motors)

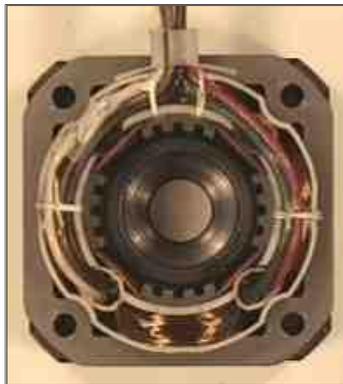
http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial_stepper/stepper-tutorial.htm

Figura 14. Rotor de motor paso a paso.



<http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20steppers/stepper-tutorial.htm>

Figura 15. Estator de un motor paso a paso.



<http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20steppers/stepper-tutorial.htm>

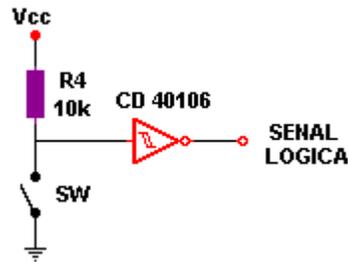
Existen dos tipos de motores paso a paso de imán permanente, ellos son los bipolares y los unipolares.

Motor paso a paso bipolar. Tienen cuatro cables de salida. Requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en una secundaria apropiada para realizar cualquier movimiento de rotación.

Motor paso a paso unipolar. Poseen cinco o seis cables de salida dependiendo de su configuración. Esta característica hace que los motores paso a paso unipolares sean más fáciles de controlar.

5.3.8 Sensores tipo *switch*. Los sensores tipo *switch* son divisores de tensión que se utilizan en acciones que requieren alguna clase de tope o de final de carrera, el circuito que representa un sensor tipo *switch* es como el mostrado en la Figura 16.

Figura 16. Divisor de tensión.



http://perso.wanadoo.es/luis_ju/index.html

Los sensores tipo *switch* o interruptores se deben acondicionar ya que al activarse se pueden presentar rebotes eléctricos, osea, que se pueden producir varios unos lógicos cuando en realidad es requerido solo uno. Para solucionar este problema se debe instalar en paralelo al interruptor un capacitor que evite estos rebotes.

5.3.9 Sensor de efecto Hall o sensor Hall. Sirve para medición de campos magnéticos o corrientes e inclusive para la determinación de posición.

En el momento que fluye corriente para un sensor Hall y se aproxima un campo magnético que fluye en dirección vertical al sensor, este dispositivo crea un voltaje de salida directamente proporcional al producto de la fuerza del campo magnético y de la corriente.

Conociendo el valor de la corriente se puede calcular la fuerza del campo magnético y creándose un campo magnético por medio de corriente circulando por una bobina o conductor, allí se puede tomar con instrumentos de medición el valor de la corriente en el conductor o bobina.

En el caso de que se conozcan ambas (campo magnético y corriente) se puede emplear como detector de metales.

5.3.10 Sensor de fotodiodo. Los fotodiodos son semiconductores sensibles a la incidencia de diferentes tipos de luces, ya se visible o infrarroja.

Para un funcionamiento correcto se debe polarizar inversamente, así se produce una circulación de corriente al momento de excitarse por la luz. Por la forma en que son construidos los fotodiodos, estos se comportan como células fotovoltaicas, esto quiere decir que cuando el dispositivo se encuentra en ausencia de luz, el genera una tensión muy pequeña.

Por el contrario cuando el diodo recibe una luz suficientemente energética, excita un electrón para darle movimiento generando un hueco con carga positiva.

5.3.10.1 Fotoceldas. Se constituye como el elemento de más uso dentro de los sensores de fotodiodo.

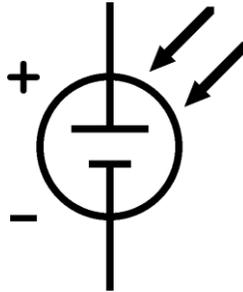
Se clasifican en fotovoltaicas y fotoconductoras. Una celda fotovoltaica varía su voltaje de salida en relación con la intensidad de luz a la que está expuesta. Por otro lado las fotoconductoras son dispositivos pasivos incapaces de producir energía. Varían su resistencia en relación directa con la intensidad de la luz en su superficie.

En la industria, la aplicación de las fotoceldas cae en dos categorías generales:

- ✓ Detección de la presencia de un objeto opaco.
 - La detección puede hacerse en una base de todo o nada, en la que el circuito de la fotocelda tiene solo dos estados de salida que representan la presencia o la ausencia de un objeto. Este es el tipo de detección usada para contar las partes que viajan por una banda transportadora, o para evitar la operación de un mecanismo si las manos del operador no están fuera de la luz de trabajo.
 - La detección puede hacerse en una base continua, teniendo en el circuito de la fotocelda una salida continuamente variable que representa la posición variable del objeto. Este es el tipo de detección usada para “observar” la orilla de una tira de material en movimiento para evitar que se desvíe demasiado de su posición adecuada.
 - La ventaja principal de las fotoceldas sobre otros dispositivos de detección es que no se requieren contacto físico con el objeto de detección.
- ✓ Detección del grado de translucidez (capacidad de pasar luz) o el grado de luminiscencia (capacidad de generar luz) de un líquido o un sólido. En estas aplicaciones, el proceso ha sido dispuesto de manera que la translucidez o luminiscencia representen una variable de proceso importante. Algunos ejemplos de variables que pueden ser medidas de esta manera son densidad, temperatura y concentración de algún compuesto químico específico.

Los símbolos usados con frecuencia para las celdas fotovoltaicas se muestran en la Figura 17.

Figura 17. Símbolo esquemático de la celda fotovoltaica.



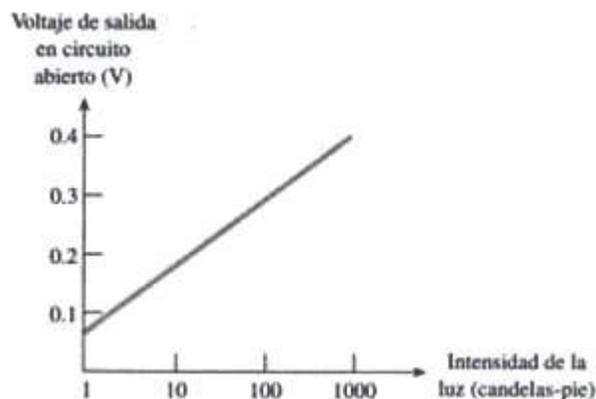
<http://www.solarpedia.es/index.php/Imagen:Photovoltaic-cell.png>

Las dos flechas dirigidas al círculo que contiene la batería representa que la energía externa de luz produce la acción de la batería, el símbolo lambda (λ) se usa para reemplazar las flechas, es decir, la activación por luz.

El voltaje de salida con circuito abierto contra intensidad de la luz se representa en la Figura 18 para una celda fotovoltaica típica.

La función es logarítmica en el eje de la intensidad de la luz. Esto quiere decir que la celda es más sensible a niveles de luz bajos, ya que a pequeño cambio en la intensidad (1 a 10 candela – pie) puede producir el mismo incremento en el voltaje de salida que un mayor cambio de intensidad (100 a 1000 candela – pie) a un nivel de intensidad de luz mayor.

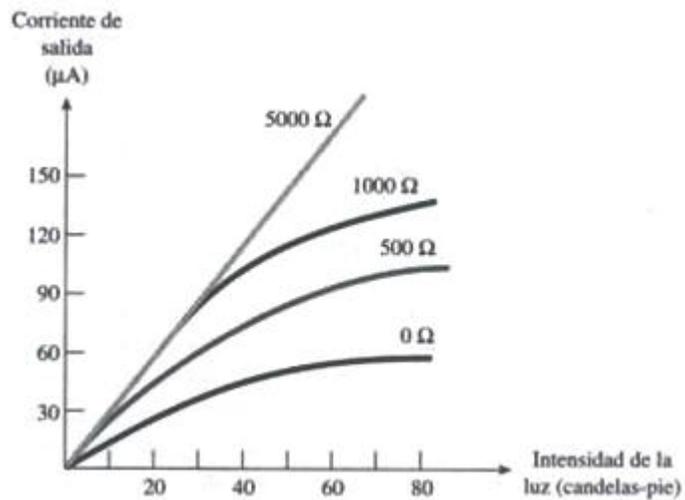
Figura 18. Voltaje contra iluminación para una celda fotovoltaica.



<http://compean.mx.tripod.com/Archivos/Fotoceldas.htm>

Las características de corriente de salida de una celda fotovoltaica operando en una carga se presentan en la Figura 19 para variar resistencias de carga. Como puede verse, una celda fotovoltaica no puede suministrar mucha corriente. En este ejemplo las corrientes de salida se miden en microamperios. Sin embargo, las fotoceldas pueden agruparse en paralelo, para aumentar su capacidad de corriente.

Figura 19. Corriente contra iluminación para varias resistencias de carga distintas.



<http://compean.mx.tripod.com/Archivos/Fotoceldas.htm>

6. DISEÑO METODOLÓGICO

El tipo de investigación del proyecto es exploratoria, ya que es un tema que se encuentra poco estudiado en nuestro ámbito y dar una cercanía sobre este tipo de aplicaciones que pueden ser útiles en las empresas que lo requieran.

La Facultad de Ingenierías de la Universidad de Waterloo (*University of Waterloo*) de Canadá en el año 2009 en un proyecto de invierno un equipo de trabajo del programa de Ingeniería Mecánica sacó adelante un prototipo de una máquina clasificadora de tuercas con un desarrollo llamativo y excelente respuesta en el tiempo. Esta información se usó como base para realizar una adaptación tecnológica más completa para mostrar una autonomía en el funcionamiento.

7. RESULTADOS

7.1 NORMAS Y REGULACIONES QUE APLICAN AL PROYECTO

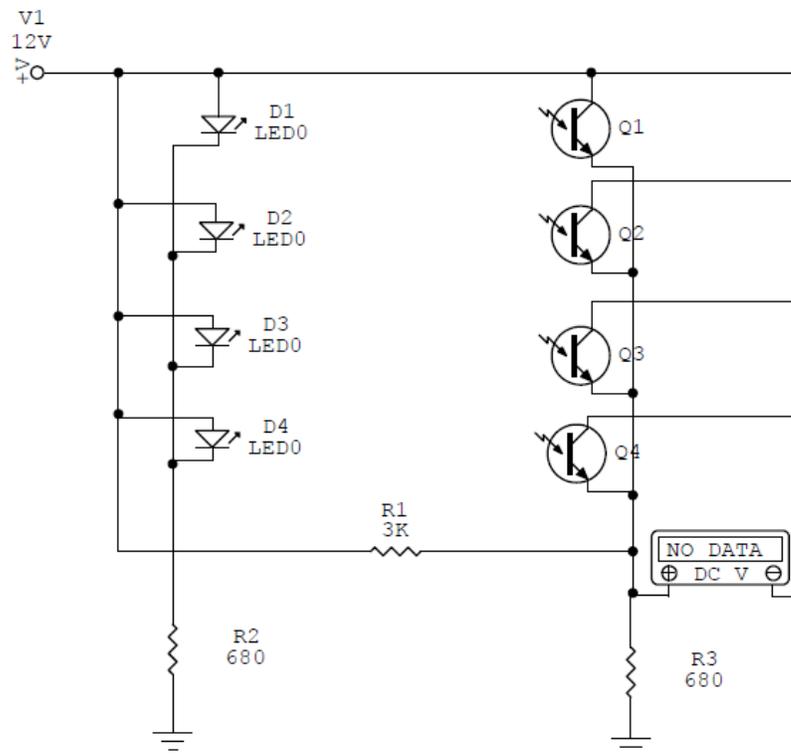
Durante la consulta bibliográfica no se encontraron normas que tengan alguna relación con el diseño de máquinas clasificadoras de tuercas.

7.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE SENSOR PARA IDENTIFICACIÓN DEL TAMAÑO

Para la selección del tipo de sensor se realizan las siguientes prácticas con un sensor de tipo óptico y de efecto Hall.

7.2.1 Practica de laboratorio con diodos emisores de luz. En un *protoboard* se realizó la instalación de cuatro transistores emisores de luz con sus respectivos receptores tal como aparece en la figura 20.

Figura 20. Diagrama del circuito para emisores y receptores de luz.

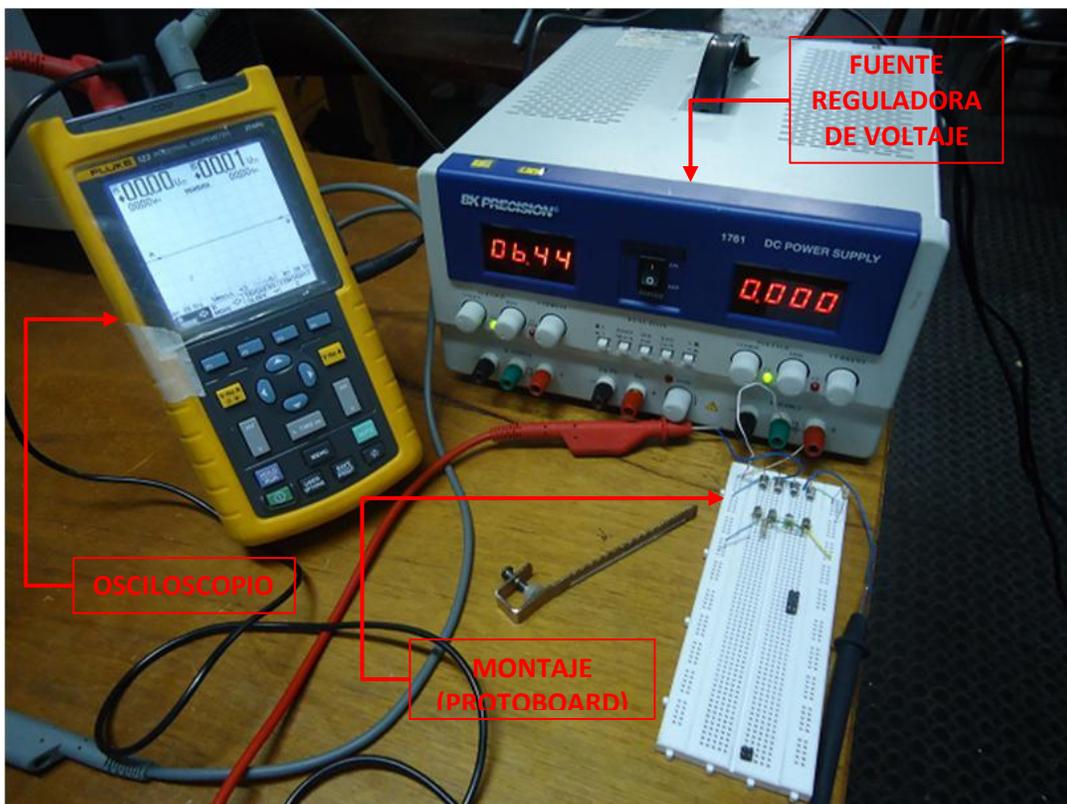


CircuitMaker

Como se puede observar, los transistores se instalan en paralelo para sumar las corrientes. Tanto los emisores como los receptores se ubican frente a frente para estudiar el comportamiento de la señal una vez se interponga algún objeto entre cada par emisor-receptor, obstruyendo la trayectoria del haz de luz infrarroja que se transmite entre los dos.

La experiencia práctica se ilustra en la figura 21.

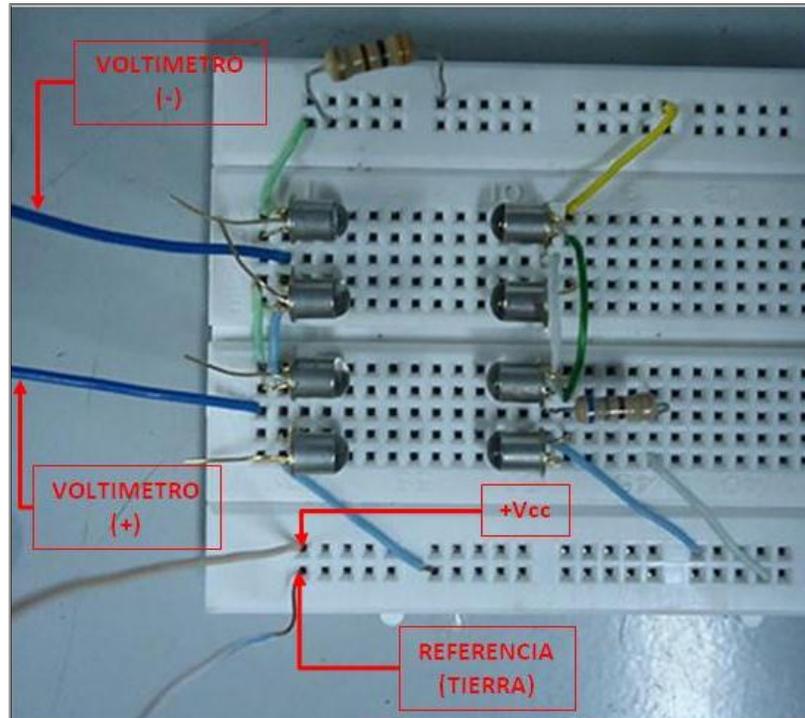
Figura 21. Montaje del sistema de detección y registro de la señal.



Laboratorio de Modelos de la Universidad Tecnológica de Pereira

La configuración de los opto transistores y los foto diodos se aprecia en la figura 22.

Figura 22. Montaje del sistema de detección. Opto transistores (emisores y receptores).

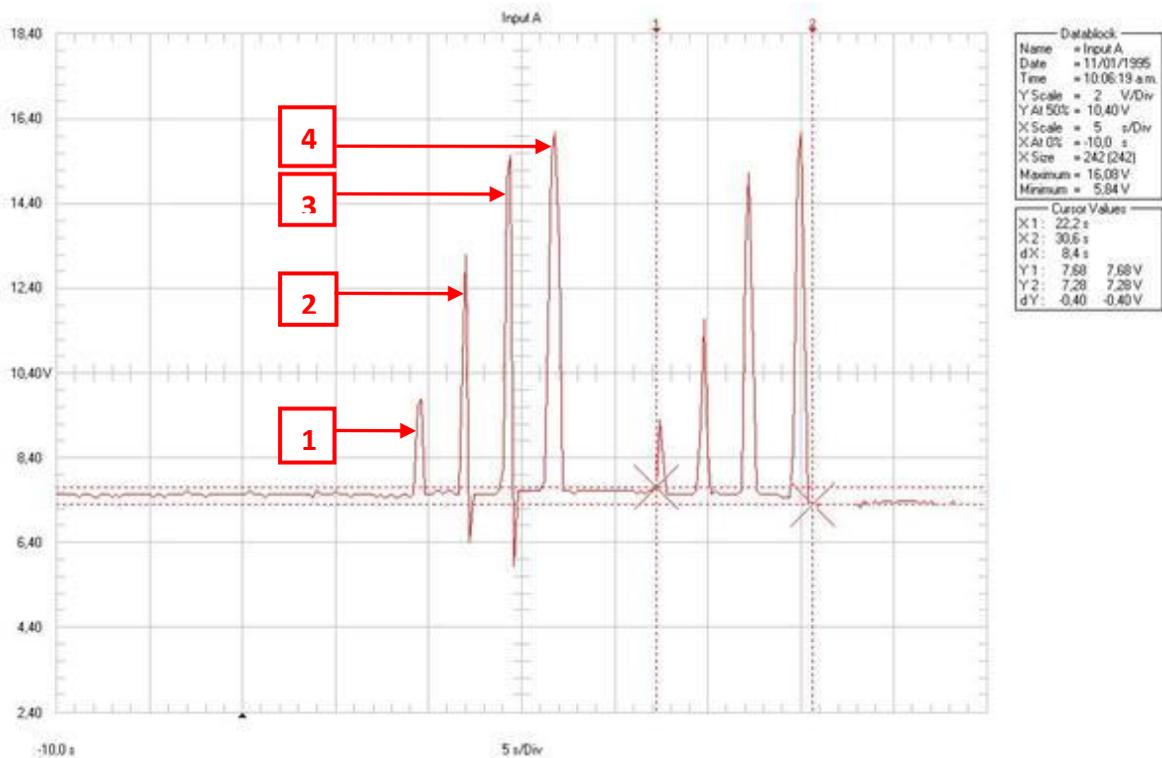


Laboratorio de Modelos de la Universidad Tecnológica de Pereira

Esta configuración permite ampliar el campo de detección que podría obtenerse con un solo par emisor-receptor. Resulta entonces de la suma de los campos obtenidos de cada par emisor- receptor.

Se efectuó la obstrucción del haz de luz con un elemento metálico (gancho) entre cada par. Primero un par, posteriormente dos, luego tres y por último los cuatro pares de transistores. Por medio del osciloscopio se obtuvo el registro de la señal que se ilustra en la figura 23.

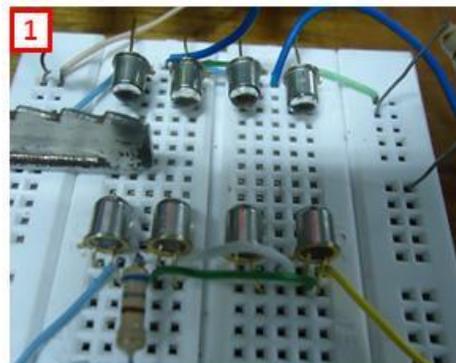
Figura 23. Mediciones con los emisores de luz. (Imagen obtenida directamente del osciloscopio FLUKE123)



Toma de registros usando el software del Osciloscopio FLUKE 123

El primer pico representa un emisor con su receptor detectando la obstrucción efectuada por el gancho metálico (ver figura 24).

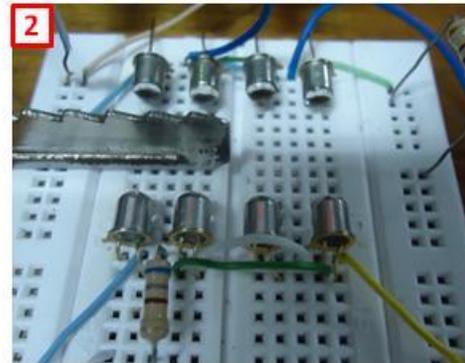
Figura 24. Obstrucción del haz de luz infrarroja entre un par de diodos emisor-receptor.



Laboratorio de Modelos de la Universidad Tecnológica de Pereira

El segundo pico representa dos pares de diodos emisor-receptor obstruidos por el gancho metálico (ver figura 25).

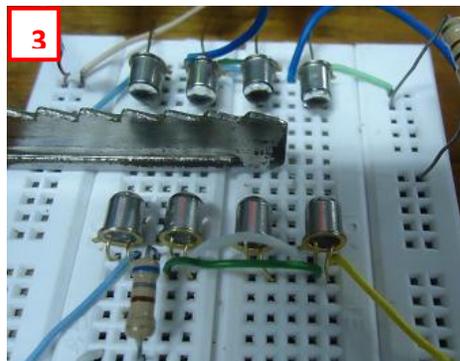
Figura 25. Obstrucción del haz de luz infrarroja entre dos pares de diodos emisor-receptor.



Laboratorio de Modelos de la Universidad Tecnológica de Pereira

El tercer pico representa tres pares de diodos emisor-receptor obstruidos por el gancho metálico (ver figura 26).

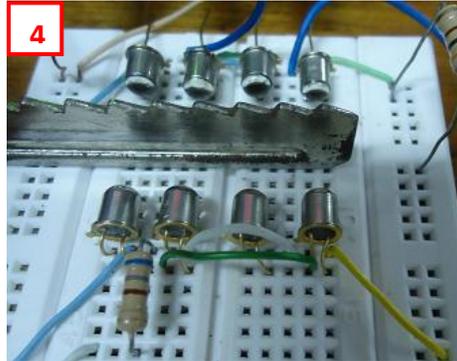
Figura 26. Obstrucción del haz de luz infrarroja entre 3 pares de diodos emisor-receptor.



Laboratorio de Modelos de la Universidad Tecnológica de Pereira

El cuarto pico corresponde a cuatro pares de diodos emisor-receptor obstruidos (ver figura 27).

Figura 27. Obstrucción del haz de luz infrarroja entre 4 pares de diodos emisor-receptor.

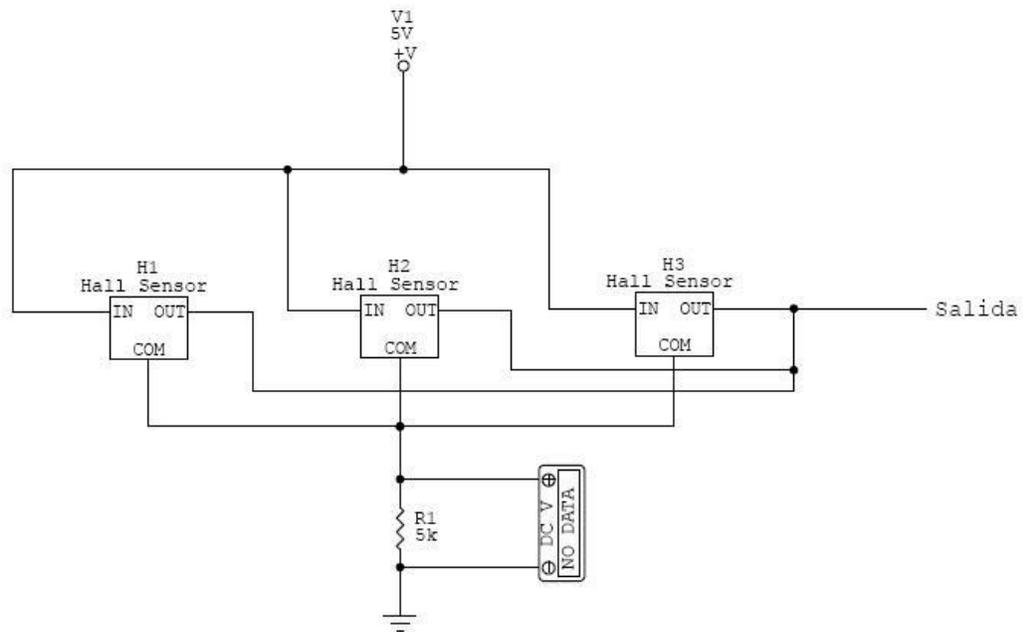


Laboratorio de Modelos de la Universidad Tecnológica de Pereira

La actividad descrita, se realiza en dos ocasiones, comprobándose que la medida registrada para cada caso es fácilmente repetible y cómodamente diferenciable respecto a cada uno de las otras tres medidas.

7.2.2 Práctica de laboratorio con sensores de efecto Hall. Estudiando el funcionamiento del sensor de efecto *Hall*, a partir de la información encontrada en la hoja de datos (*data sheet* – ver anexo O), se entendió que sería suficiente con acercar un elemento metálico para obtener una señal. Con apoyo de un osciloscopio, se realizó la práctica basados en la configuración que se ilustra a continuación.

Figura 28. Diagrama del circuito para sensores de efecto *Hall*.



CircuitMaker

Se realizó la práctica con los elementos básicos descritos en el circuito, tal como se aprecia en la figura 29.

Figura 29. Montaje del sistema de detección y registro de la señal.



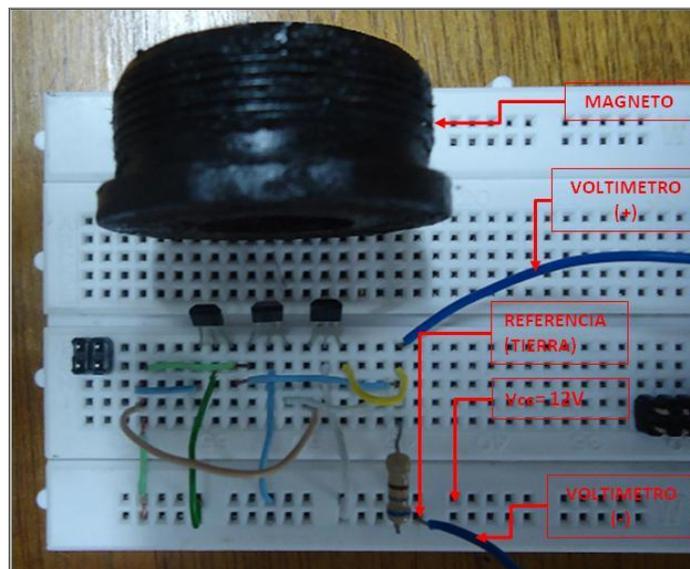
Laboratorio de Modelos de la Universidad Tecnológica de Pereira

En la primera prueba no fue posible obtener señales que permitieran realizar una diferenciación clara entre objetos de diferentes tamaños.

Revisando nuevamente la hoja de datos del sensor, se comprendió que alrededor del montaje debía de estar presente un campo magnético para que a partir de la presencia de un objeto metálico se pudiese obtener algún tipo de señal.

Por lo descrito, se añadió un magneto al montaje con el fin de generar el campo magnético necesario (ver figura 30).

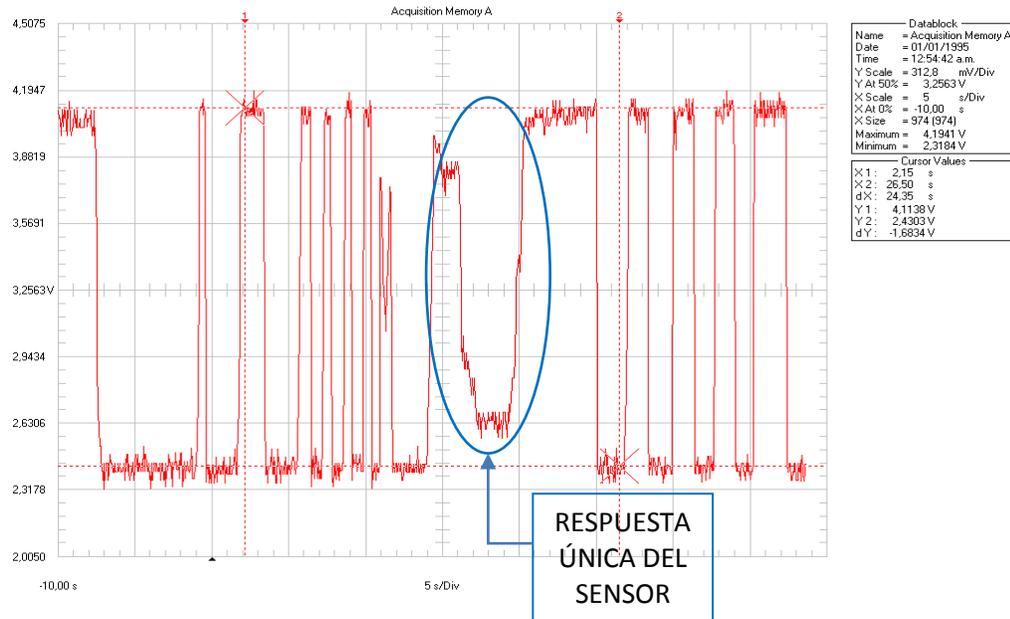
Figura 30. Montaje del sistema de detección en presencia de un campo magnético.



Laboratorio de Modelos de la Universidad Tecnológica de Pereira

A partir de la práctica realizada se obtuvo la imagen mostrada en la figura 31.

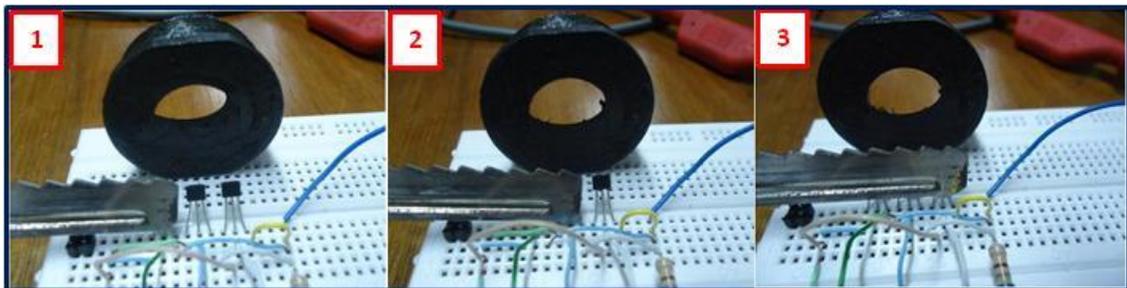
Figura 31. Mediciones con los sensores de efecto Hall.



Toma de registros usando el software del Osciloscopio FLUKE 123

Se pudo observar un registro (o excitación) en el sensor, que una vez bajo la influencia del campo magnético producido por el magneto, generó un pulso en sentido negativo como se puede apreciar en la figura 31.

Figura 32. Secuencia de exposición del objeto metálico al campo de detección de los sensores de efecto *Hall*.



Laboratorio de Modelos de la Universidad Tecnológica de Pereira

La señal obtenida en cada una de las exposiciones a uno, dos y tres sensores (ver figura 32) fue idéntica y de baja resolución.

Por los motivos expuestos, se escogió finalmente al sistema de opto-transistores como el más idóneo para montar en la máquina clasificadora y trabajar como sistema de detección.

7.3 PROPUESTA DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PARA ALOJAR LOS SISTEMAS MECÁNICOS Y DE CONTROL DE LA MÁQUINA.

Entre varias opciones disponibles en cuanto a programas de diseño, se eligió usar SolidWorks, un *software* de diseño asistido por computador para modelado mecánico desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp. Fue introducido en el mercado en 1995 para competir con otros programas CAD como Pro/ENGINEER, NX, Solid Edge, CATIA y Autodesk Mechanical Desktop.

El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, “construyendo virtualmente” la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada.

A continuación se relacionan las ideas básicas para la creación del diseño:

- ✓ El desplazamiento de las partes debe darse por acción de la fuerza de gravedad.
- ✓ Posterior a la detección de las partes, éstas debían ser desviadas según sus características, a un lugar de disposición final.
- ✓ Según los resultados obtenidos a partir de las pruebas realizadas con sensores de diferente naturaleza, el tipo de sensor a usar fue un transistor emisor y receptor de luz.

Definidos los aspectos básicos del sistema, se selecciona un perfil en “U” como la opción más simple para dirigir el flujo de piezas. Se considera entonces que el material de fabricación más adecuado para la máquina es el acero enrolado en frío (*coldrolled*), ya que su superficie es apta para el deslizamiento de las tuercas, también es más económico que el acero inoxidable y el acero galvanizado, aproximadamente 480% y 130% más costoso respectivamente.

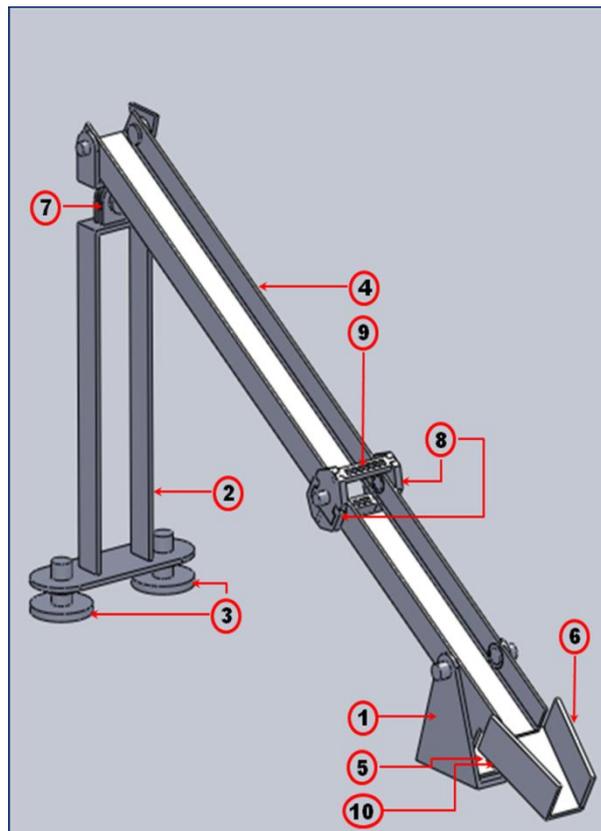
La estructura debe tener dos (2) bases en sus extremos que permitan crear el diferencial de altura necesario. Las piezas, se depositan en la parte alta y se desplazan a lo largo del perfil hasta una posición más baja.

Debido a la necesidad de realizar pruebas físicas del modelo, en el momento de su construcción, se recomendapara los ajustes finales unir los elementos con articulaciones que permitan la variación relativa de su posición.

De acuerdo a las propuestas realizadas, se comenzó a crear el diseño de la máquina. Las pruebas posteriores con modelos físicos y con valores reales de cada variable que interviene, arrojaran los valores dimensionales definitivos. Por ejemplo, aunque el ángulo para el posicionamiento del perfil podría haberse calculado con anticipación, se estimó que los ajustes finales debían hacerse sobre los resultados obtenidos en pruebas reales. Por este motivo, la altura de uno de los apoyos (en este caso, el de mayor altura), debía ser regulable.

7.3.1 Creación paso a paso del modelo virtual de la estructura. A continuación en la figura 33 se ilustra el modelo creado a partir de las ideas inicialmente propuestas. Este modelo aún carece de sistemas y partes necesarias para el correcto funcionamiento de la máquina, pero ya puede ser objeto de análisis con el fin de realizar correcciones en la ruta de diseño.

Figura 33. Primera propuesta de diseño de la estructura.



SolidWorks

Las partes se encuentran descritas en la siguiente tabla.

Tabla 1. Partes primera propuesta de diseño

Ítem	Nombre
1	Base corta
2	Base larga
3	Soportes derecho e izquierdo base larga
4	Canal
5	Soporte motor
6	Direccionador
7	Soporte superior rotador
8	Platina soporte sistema de lectura derecha e izquierda
9	Sistema de lectura superior e inferior
10	Motor paso a paso direccionador

7.3.2 Análisis de la estructura diseñada. La estructura creada a partir de las condiciones y restricciones iniciales, se somete a un análisis funcional, es decir, que a partir de las vistas y otras herramientas que ofrece el programa de diseño, se advierte sobre las limitaciones y necesidades presentadas en la propuesta inicial. Se analizaron algunos puntos críticos y características que restaban funcionalidad y que podían ser mejorados. Estos puntos críticos son:

- **Sistema de pivote para inclinación de la estructura (Ítem 7 Figura 33):** El sistema de pivote o articulación en el extremo superior del canal se creó con el fin de girarlo y poder dirigir el flujo de las piezas hacia un costado, procurando en caso de ser necesario hacer más fácil la lectura al sistema de sensores.

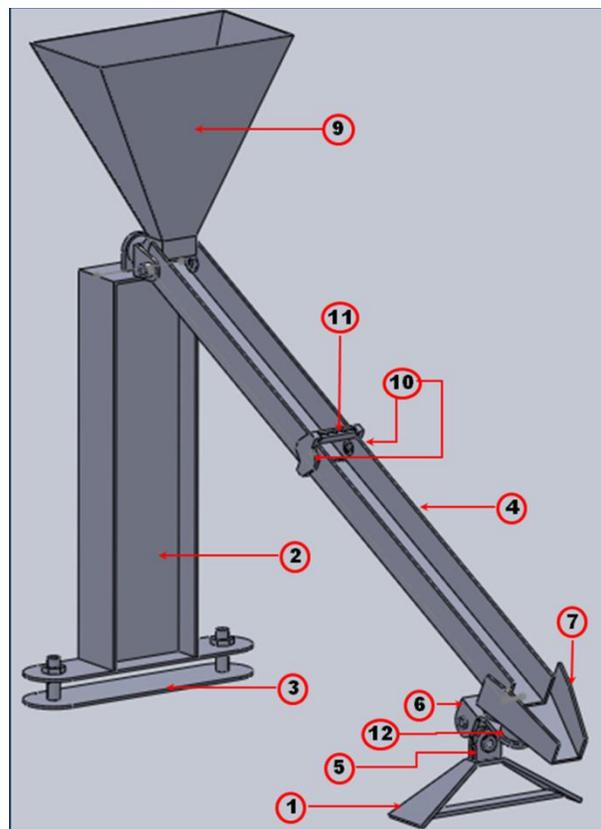
El pivote quedó justo debajo del canal. Lo anterior tiene como consecuencia que una vez girado el sistema, se crea un momento que hace inestable a la estructura y le confiere una tendencia de giro hacia un costado. Además la base inferior, no estaba correctamente diseñada para adaptarse al movimiento propuesto

- **Sistema de registro (Ítems 8 y 9 Figura 33):** Aunque en este punto todavía debía adicionarse un seguro que restringiera el desplazamiento en sentido vertical de los bloques para el sistema de lectura superior e inferior (Ítem 9), se consideró que lo mejor sería rediseñar esta sección del sistema para asegurar la distancia requerida entre estos bloques desde el mismo momento del montaje.

- **Base corta(Ítem 1 Figura 33):** La base pequeña para soportar la estructura debía ser articulada, para permitir el giro del canal de la misma forma que lo hacía el pivote (Ítem 7 Figura 33).
- **Depósito de partes:** Ante la ausencia de un depósito para recibir las piezas que van a ser seleccionadas, se propone la adición una tolva que cumpla con esta función.

7.3.3 Rediseño de la estructura. Teniendo en cuenta las observaciones realizadas, se efectuaron algunas modificaciones que se encuentran en la figura 34.

Figura 34. Segunda propuesta de diseño de la estructura



SolidWorks

Y sus partes se enumeran en la tabla 2.

Tabla 2. Partes de la segunda propuesta de diseño

Ítem	Nombre
1	Base corta
2	Base larga
3	Soporte base larga
4	Canal
5	Soporte inferior rotador
6	Soporte motor
7	Direccionador
8	Soporte superior rotador
9	Tolva
10	Platina soporte sistema de lectura derecha e izquierda
11	Sistema de lectura superior e inferior.
12	Motor paso a paso direccionador

Finalmente se terminó la segunda propuesta de diseño para la estructura que soportaría todo el sistema. Se modificaron algunas dimensiones, siendo la longitud total del canal la dimensión que más cambió. El objetivo es que en el caso de que la máquina sea fabricada, los responsables de su ejecución definan el valor final de algunas medidas basados en las pruebas físicas que se realicen.

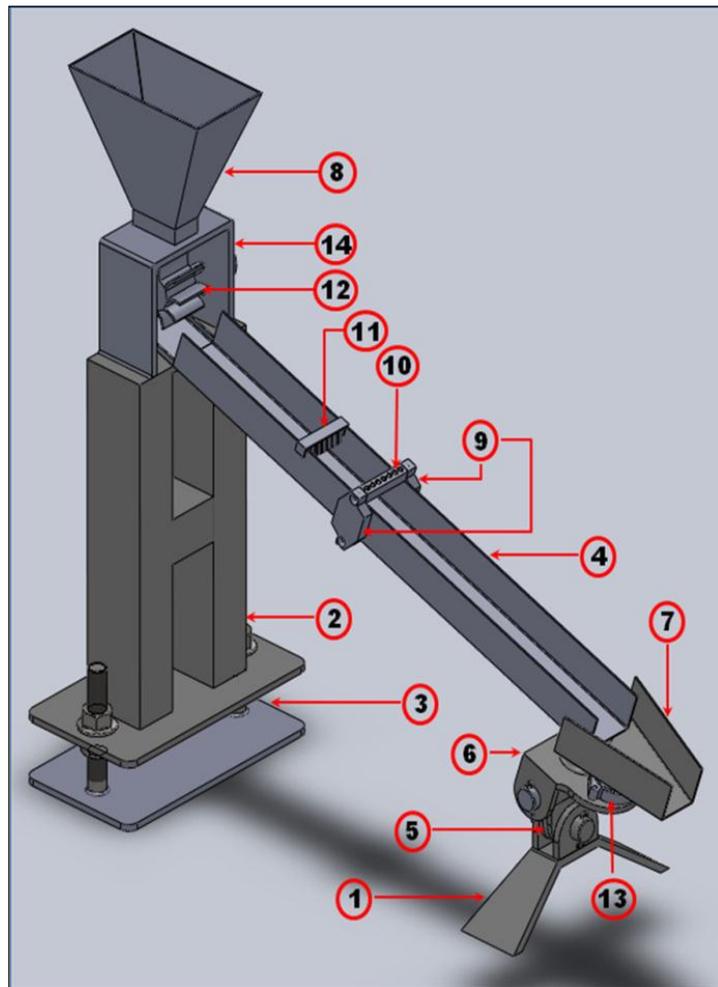
Los puntos susceptibles de mejora y que fueron objeto de modificación en la propuesta final de diseño fueron:

- **Base larga:** Se consideró necesario realizar una propuesta diferente en cuanto al material de fabricación y la forma de la base larga (Ítem 2 Figura 34). Lo anterior se hizo con intención de integrar al diseño materiales de uso más común en el medio y de un menor costo como tubería cuadrada en acero *coldrolled*.
- **Soporte base larga:** Se ampliaron sus dimensiones con el fin de brindar mayor estabilidad a la estructura.
- **Dosificación del flujo de tuercas:** Hasta el momento no existe un mecanismo que regule el flujo de las tuercas creado entre la tolva de almacenamiento y el canal.

7.3.4 Propuesta final de diseño de la estructura. Después de considerar las soluciones propuestas anteriormente para cada componente del sistema, se propuso un diseño de la estructura que posibilita al futuro constructor realizar variaciones de la posición relativa entre sus partes, variaciones en la pendiente de trabajo del canal y en general, realizar cambios que permitan optimizar el desempeño de la máquina con base en los resultados que se obtengan al momento de realizar las pruebas.

En la figura 35 se puede observar una vista en perspectiva de la solución fina obtenida. La vista en explosión y los planos de fabricación de cada una de sus partes se encuentran en los anexos C, D, E, F, G, H, I, J y K.

Figura 35. Propuesta final de diseño de la estructura.



SolidWorks

Y sus partes se enuncian en la tabla 3.

Tabla 3. Partes propuesta final del diseño

Ítem	Nombre
1	Base corta
2	Base larga
3	Soporte base larga
4	Canal
5	Soporte inferior rotador
6	Soporte motor
7	Direccionador
8	Tolva
9	Platina soporte sistema de lectura derecha e izquierda
10	Sistema de lectura superior e inferior
11	Escobillas
12	Regulador
13	Motor paso a paso direccionador
14	Motor dc regulador de flujo

7.3.5 Cálculos dinámicos del desplazamiento de las tuercas sobre la estructura.

En el siguiente planteamiento se puede observar dicho cálculo.

Dados

μ = Coeficiente de fricción cinética entre una tuerca de masa m_t y la superficie del canal de direccionamiento.

X = Distancia recorrida por la tuerca entre dos puntos cualesquiera correspondientes al canal de direccionamiento.

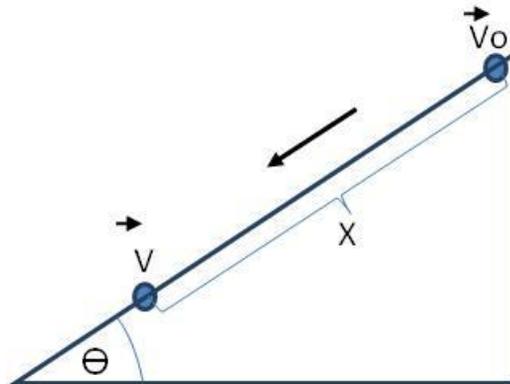
θ = Angulo de inclinación de la estructura.

m_t = Masa de la tuerca.

Se procede a averiguar la formula necesaria para deducir el coeficiente de fricción cinética a partir del tiempo transcurrido desde el paso por un punto en el eje longitudinal del canal hasta otro punto sobre el mismo eje (Figura 36).

Se procedió en un orden lógico averiguando el tiempo de recorrido para X y el valor de la velocidad en el X dado de las piezas con masa m_t y coeficiente de fricción dinámica μ .

Figura 36. Diagrama representativo de la posición y el desplazamiento de las tuercas.



Autores

Siendo:

$x = \text{Distancia}$

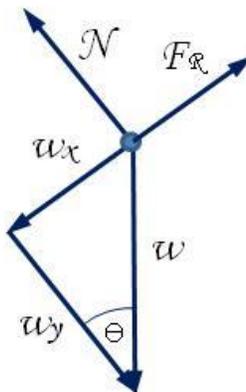
$V_0 = \text{Velocidad inicial}$

$V = \text{Velocidad}$

$\theta = \text{Ángulo con respecto a la horizontal}$

Para mostrar las fuerzas que actúan sobre el cuerpo, se presenta el diagrama de cuerpo libre de la figura 37.

Figura 37. Diagrama de cuerpo libre de una tuerca representativa con las fuerzas que actúan sobre ella.



Autores

Siendo:

$N = Normal$

$F_R = Fuerza de fricción$

$W = Peso$

$W_x = Componente del peso en X$

$W_y = Componente del peso en Y$

$\theta = \text{Ángulo}$

Según la ecuación para el desplazamiento con movimiento uniformemente acelerado, se tiene:

$$x = v_{0x}t + \frac{1}{2} * a_x * t^2 \quad (1)$$

$$x = \frac{1}{2} a_x t^2 \quad v_0 = 0 \quad (2)$$

$$a_x = 2 \frac{x}{t^2} \quad (3)$$

$$\sum F_x = m * a_x \quad (4)$$

$$F_R - w_x = m * a_x \quad (5)$$

$$w_x = w * \sin \theta \quad (6)$$

$$w_x = m * g * \sin \theta \quad (7)$$

$$\sum F_y = 0 \quad (8)$$

$$N - w_y = 0 \quad (9)$$

$$N = w_y = w * \cos \theta \quad (10)$$

$$F_R = \mu * N \quad (11)$$

Reemplazando (12) en (5) se tiene:

$$\mu * N - w_x = m * a_x \quad (12)$$

$$\mu = \frac{m * a_x + w_x}{N} \quad (13)$$

$$a_x = \frac{\mu * N - w_x}{m} \quad (14)$$

De la ecuación para velocidad con movimiento uniformemente acelerado se obtiene:

$$v_{fx} = v_{0x} + a_x * t \quad (15)$$

$$v_{fx} = a_x * t \quad ; \quad v_0 = 0 \quad (16)$$

Reemplazando (15) en (17) se tiene:

$$v_{fx} = \frac{\mu * N - w_x}{m} * t \quad (17)$$

Reemplazando (7) y (11) en (18), tiene:

$$v_{fx} = \frac{\mu * m * g * \sin \theta - m * g * \cos \theta}{m} * t \quad (18)$$

$$v_{fx} = (\mu * g * \sin \theta - g * \cos \theta) * t$$

$$v_{fx} = g * (\mu * \sin \theta - \cos \theta) * t \quad (19)$$

De (2) tiene:

$$t = \sqrt{\frac{2 * x}{a_x}} \quad (20)$$

Reemplazando (21) en (20), se tiene:

$$v_{fx} = g * (\mu * \sin \theta - \cos \theta) * \sqrt{\frac{2 * x}{a_x}} \quad (21)$$

Reemplazando (15) en (22)

$$v_{fx} = g * (\mu * \sin \theta - \cos \theta) * \sqrt{\frac{2 * x}{\frac{\mu * N - w_x}{m}}} \quad (22)$$

$$v_f = g * (\mu * \sin \theta - \cos \theta) * \sqrt{\frac{2 * x}{\frac{\mu * m * g * \cos \theta - m * g * \sin \theta}{m}}} \quad (23)$$

$$v_f = g * (\mu * \sin \theta - \cos \theta) * \sqrt{\frac{2*x}{g*(\mu \cos \theta - \sin \theta)}} \quad (24)$$

De (16) se tiene:

$$t = \frac{v_f}{a_x} \quad (25)$$

$$t = \frac{v_f}{\frac{\mu*N-w_x}{m}} = \frac{m*v_f}{\mu*m*g*\sin \theta - m*g*\cos \theta} = \frac{v_f}{g*(\mu*\sin \theta - \cos \theta)} \quad (26)$$

$$\mu = \frac{m*a_x + w_x}{N} \quad (27)$$

$$\mu = \frac{m*\frac{2*x}{t^2} + m*g*\sin \theta}{m*g*\cos \theta} \quad (28)$$

Se encontró que el coeficiente de fricción dinámica entre un elemento (tuercas en nuestro caso) y el plano del canal es:

$$\mu = \frac{\frac{2*x}{t^2} + g*\sin \theta}{g*\cos \theta} \quad (29)$$

Así, con el desarrollo de una prueba experimental y la aplicación de la ecuaciones desarrolladas (ecuación 29) sobre los valores obtenidos, es posible deducir de manera aproximada datos como el coeficiente de fricción dinámica (μ) y el tiempo que invierte cada tuerca en completar el recorrido a través del canal (t). Los cálculos se realizan como insumo para el fabricante en caso de ser requerido.

7.4 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA LÓGICA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El funcionamiento de la máquina se basa en la lectura que hace el sistema respecto del tamaño de las tuercas. Aunque el número de elementos a diferenciar podría ser amplio (superior a 10), solo se evaluaron tres tamaños, por lo tanto, en el momento en que las tuercas sean registradas por el sistema de detección, se puede enviar una señal correspondiente a la detección de una tuerca grande (TG), tuerca mediana (TM), tuerca pequeña (TP), o elemento no valido (cualquier elemento que esta por fuera de los valores establecidos para cualquiera de los anteriores tres ítems). Cuando se detecta alguno de los tamaños mencionados, el

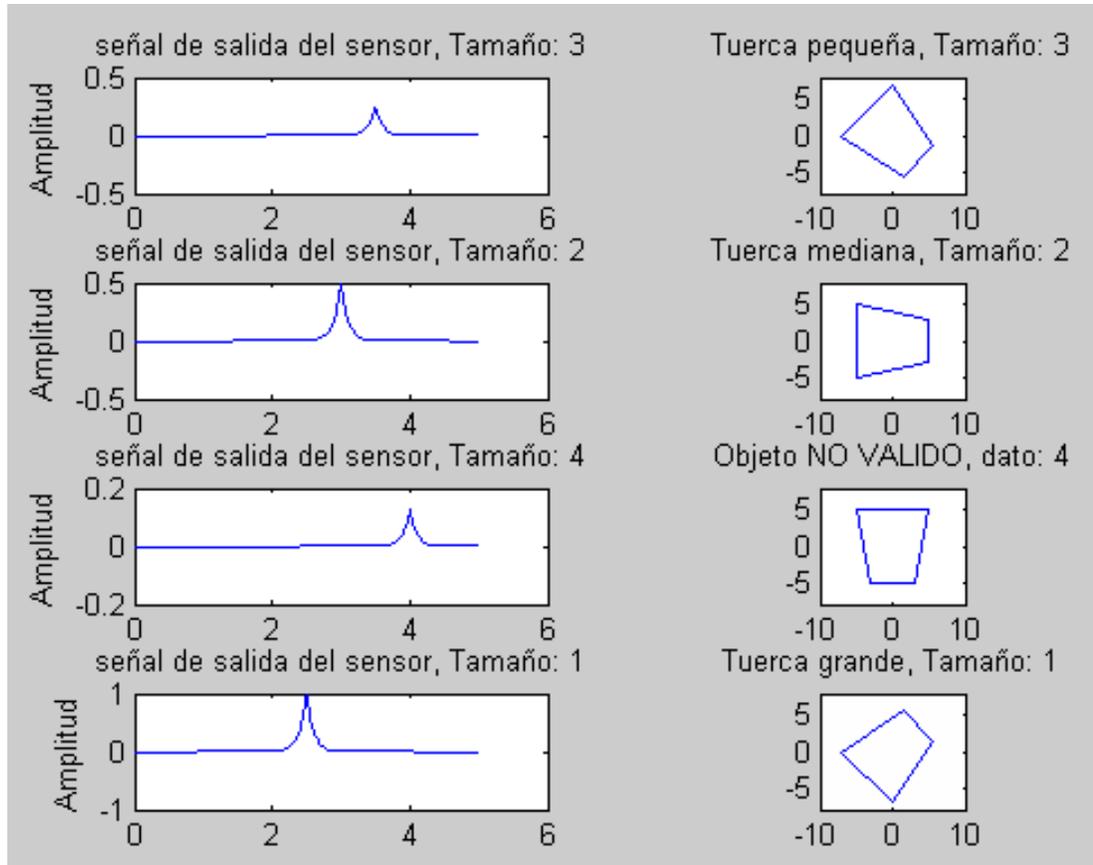
sistema de lectura entrega un uno (1), y los otros dos tendrán un cero (0) lo cual dará como respuesta la posición correspondiente al tamaño de las tuercas, la tuerca grande se dirigirá a la posición uno (1), la mediana a la posición dos (2) y la pequeña a la posición tres (3). El diagrama de flujo correspondiente al funcionamiento del sistema, se ilustra en el Anexo J.

7.5 SIMULACIÓN EN MATLAB DE LA LÓGICA PROGRAMADA PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Para tener una idea más clara del funcionamiento del sistema se realizó una simulación en Matlab que permite visualizar la señal que entrega el sensor y la influencia que ésta tiene en la posición final del clasificador (Ver figura 38).

La simulación se realizó con la ayuda de dos programas: Matlab y Microsoft Excel. En Excel se generaron las matrices de datos, producto de aplicar algoritmos propios de control sobre las variables de entrada, que para este caso son los diferentes voltajes emitidos por los sensores.

Figura 38. Respuesta del sistema (posición del direccionador) Vs la señal registrada por los opto-transistores.



Simulación por medio de MATLAB® con el ToolBox Excel Link

Como criterios de la simulación se tuvo que, el número de posiciones para este caso debía ser de 4, siendo estas: Posición 1 para tuerca grande, posición 2 para tuerca mediana, posición 3 para tuerca pequeña y posición 4 para elementos no válidos.

En una versión inicial, el programa ofrecía la posibilidad de obtener una posición de la imagen que representa al seleccionador a partir de un dato ingresado.

Posteriormente como mejora del programa, se introdujo una función aleatoria que le permite asemejarse más al comportamiento real del sistema.

Como se puede observar, al igual que los resultados obtenidos con los sensores, la simulación muestra un comportamiento marcado para cada tipo de señal lo que le permite ser fácilmente detectable y separable por el sistema de control.

8. CONCLUSIONES

Se realizaron investigaciones referentes a normativas que aplicaran al proyecto y no se encontraron documentos conforme a los cuales se pudiera reglamentar el diseño de la máquina.

Haciendo pruebas con dos tipos de sensores, óptico y magnético se obtuvo como resultado que la mejor opción son los ópticos de tipo emisor – receptor por su rápida respuesta, sensibilidad y fácil instalación. Por otro lado los sensores de efecto Hall, requieren de la adición de un imán para obtener una señal clara y útil para realizar el diseño del sistema de control.

Realizando el diseño mecánico se observó que es necesario hacer ajustes durante el proceso del desarrollo del mismo, por lo tanto es importante que esta nos brinde la posibilidad de ajustarse a cada una de las necesidades.

El Matlab se utilizó para generar un algoritmo que realiza una estimación con valores definidos por el programador, estos valores identifican a cada una de las piezas a clasificar así como a las que hay que desechar con un funcionamiento ideal, por otra parte la prueba con los sensores receptores de luz muestra que en la realidad hay varias características a contemplar como el ruido, la vibración, la posibilidad que las piezas de una misma dimensión no sean exactamente iguales.

El diagrama de flujo y el uso de Matlab sirvieron como base para realizar el diseño de un programa útil para el control efectivo de la máquina donde se evalúan todas las combinaciones posibles de las variables de entrada y ofreciendo una respuesta para cada combinación.

9. RECOMENDACIONES

Se recomienda a estudiantes e interesados en la Ingeniería Mecatrónica tomar este proyecto como base y continuar con una línea de desarrollo, de tal modo que el concepto aquí mostrado sea funcional para otro tipo de aplicaciones en la industria. Además se recomienda construir el sistema de selección con el fin de evaluar las propuestas realizadas para cada área del sistema.

Se recomienda hacer uso de la misma estructura física propuesta para realizar pruebas a sensores de diferente naturaleza que permitan observar las diferencias entre ellos y evaluar combinaciones que hagan más rápido y confiable el sistema de selección.

Se recomienda trabajar en la mejora del programa de simulación en Matlab realizado en este proyecto, específicamente en la creación de un registro permanente donde se almacene la información referente al número de tuercas clasificadas por día, sus tamaños, el número de elementos no válidos registrados y un margen de error que permita manejar las afectaciones a las detecciones.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ANGULO USATEGUI, José María. Electrónica Digital y Microprogramable. España: International Thompson Editores Spain Paraninfo S.A., 2007. 263 páginas.
- [2] ARTOBOLEVSKI, I. I. Mecanismos en la técnica moderna. Rusia: Editorial Mir, 1976.
- [3] BALCELLS, Josep y ROMERAL, Jose Luis. Autómatas Programables. Mexico: Alfaomega Grupo Editor, 1998. 439 páginas.
- [4] BOOTHROYD, Geoffrey. Assembly Automation and Product Design. Estados Unidos: Taylor & Francis Group, 2005. 512 páginas.
- [5] BUBAN, Peter; MALVINO, Albert Paul y SCHMITT, Marshall L. Electricidad y Electrónica: Aplicaciones Prácticas. México: McGraw-Hill, 1987.
- [6] DELORES M, Etter. Solución de problemas de ingeniería con Matlab. México: Prentice Hall Hispanoamericana S.A., 1998. 329 páginas.
- [7] Eastern Illinois University. DC Motors. En línea. Fecha de consulta: 05 de septiembre de 2009. <http://pen.eiu.edu/~cudjw/DC%20Motors.html>
- [8] Ero-Pic Una gran colección de tutoriales de electrónica. En línea. http://perso.wanadoo.es/luis_ju/pic/pic01.html
- [9] GAITHER, Norman y FRAZIER, Greg. Administración de producción y operaciones. México: International Thomson Learning Editores, 2000. 846 páginas.
- [10] GONZALEZ VASQUEZ, Jose Adolfo. Introducción a los microcontroladores: Hardware, software y aplicaciones. CD.
- [11] GROOVER, Mikell P.; WEISS, Mitchell; NAGEL, Rober y ODREY, Nicholas. Robótica industrial: Tecnología, programación y aplicaciones. España: McGraw-Hill, 1989. 600 páginas.
- [12] JONES, Franklin D. Ingenious Mechanisms For Designers and Inventors Volume 3. Estados Unidos: Industrial Press Inc. 1951, 536 páginas.
- [13] JOYANES AGUILAR, Luis. Metodología de la programación: Diagramas de flujo, algoritmos y programación estructurada. Estados Unidos: McGraw-Hill. 243 páginas.

- [14] MARTINEZ BENCARDINO, Ciro. Estadística básica aplicada. Colombia: Ecoe Ediciones, 2007. 386 páginas.
- [15] OGATA, Katsuhiko; RODRIGUEZ RAMIREZ, Francisco; DORMIDO CANTO, Sebastián y DORMIDO CANTO, Raquel. Ingeniería de control moderna. España: Pearson Educación, 2003. 965 páginas.
- [16] PALLAS ARENY, Ramon. Sensores y acondicionadores de señal. México: Alfaomega Grupo Editor, 2007. 480 páginas.
- [17] RODRIGUEZ LOAIZA, Gonzalo y VASQUEZ RAMIREZ, Maria Victoria. Motores paso a paso. Trabajo de Grado (Ingenieros Electricistas). Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Motores Eléctricos. 1996. 170 páginas.
- [18] SHIGLEY, Joseph Edward; MISCHKE, Charles R. y LING ALTAMIRANO, Federico. Elementos de maquinaria: Mecanismos. México: McGraw-Hill, 1995. 221 páginas.
- [19] SHIGLEY, Joseph Edward; MISCHKE, Charles R. y LING ALTAMIRANO, Federico. Elementos de maquinaria: Fundamentos de diseño de máquinas. México: McGraw-Hill, 1995. 214 páginas.
- [20] SMITH, Carlos A. y CORRIPIO, Armando B. Control automático de procesos. Mexico: Editorial Limussa, 2007. 717 páginas.
- [21] Todo Robot. Tutorial sobre motores paso a paso (Stepper Motors). En línea. Fecha de actualización: 06 de junio de 2009.
http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial_stepper/stepper-tutorial.htm
- [22] Wikipedia. Microcontrolador. En línea. Fecha de actualización: 11 de noviembre de 2009. <http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>
- [23] Wikipedia. Sensor Efecto Hall. En línea. Fecha de actualización: 20 de noviembre de 2009. http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_de_efecto_Hall
- [24] Wikipedia. Fotodiodo. En línea. Fecha de actualización: 21 de noviembre de 2009. <http://es.wikipedia.org/wiki/Fotodiodo>
- [25] Wikipedia. Pereira. En línea. Fecha de actualización: 15 de octubre de 2010. <http://es.wikipedia.org/wiki/Pereira>.
- [26] BELLO PEREZ, Rafael. El Diseño de Ingeniería y la Inteligencia Artificial Revista Facultad de Ingeniería.

ANEXO A

Revisión del estado de la técnica

Ítem	Título	Descripción	Fecha	Inventor(es)	Solicitante(es)	Número Patente
1	MEJORAS EN LAS MAQUINAS DE MANIPULACION DE DEPOSITOS DE ARTICULOS Y RECIPIENTES SIMILARES	Máquina para la manipulación de depósitos de artículos y recipientes similares. Consta de una torre (8) que tiene un lecho rectangular (9) que está formado a partir de perfiles metálicos unidos por soldadura, estando dicha torre provista de cuatro ruedas (10) dotadas de pestañas laterales exteriores para el movimiento guiado exacto a lo largo de guías; de un motor reductor (11) montado en el lecho de la maquina, el cual tiene la misión de impulsar la torre (8) a lo largo de las guías; de zapatas (16) fijadas a los lados del lecho (9), para impedir que la torre se vuelque. De aplicación en la clasificación de productos procedentes de cultivos agrícolas.	16/01/1987		DECCO RODA SPA	ES8700627 (A1)
2	RECICLAJE DE BOTELLAS DE PET	Método para el reprocesamiento de botellas de PET usadas, en el que el PET reprocesado se utiliza para la producción de botellas nuevas, con las etapas: a) trituración (101, 201) de las botellas hasta copos de plástico, b) clasificación de los copos de plástico (103, 104) según al menos un criterio en al menos dos subconjuntos, c) tratamiento de reprocesamiento individual de cada uno de los subconjuntos, en un caso dado, incluyendo tratamiento de descontaminación y d) reagrupación de los al menos dos subconjuntos y transformación común.	16/10/2009	FRIEDLANDER THOMAS [DE]; HOFFERBERT MAREN [DE]; KIRCHHOFF TIMM [DE]	KRONES AG	ES2326655 (T3)
3	METODO PARA EL TRATAMIENTO INTEGRAL DE DESECHOS INDUSTRIALES	Método para el tratamiento integral de desechos industriales. Frente a los sistemas convencionales de tratamiento de desechos industriales, cada uno de los cuales se centra exclusivamente en un determinado desecho, el método de la invención permite el tratamiento integral de todo tipo de desechos tanto sólidos como líquidos y pastosos y tanto orgánicos como inorgánicos. Se parte de una clasificación de los productos por su naturaleza, seleccionando por un lado aquellos desechos industriales sólidos y pastosos orgánicos	16/07/2009	GARCIA GONZALEZ ANTONIO [ES]	GARCIA GONZALEZ ANTONIO [ES]	ES2323485 (A1)

Ítem	Título	Descripción	Fecha	Inventor(es)	Solicitante(es)	Número Patente
		<p>con un PCI comprendido entre 1.000 y 11.000 Kcal/Kg, realizando una mezcla homogénea cuyo PCI resultante esté a su vez comprendido entre 4.000 y 5.000 Kcal/Kg, mezcla con la que se abastece una primera cámara de combustión. Los gases de la combustión son sobrecalentados en una segunda cámara de combustión provista de un quemador alimentado con desechos líquidos orgánicos. Finalmente los desechos industriales líquidos y con un poder calorífico inferior a 1.000 Kcal/Kg son tratados en un baño acuotubular, con un proceso físico-químico tradicional, donde son transformados en vapor de agua para su aprovechamiento energético.</p>				
4	CONTENEDOR PARA RECOGIDA DE RESIDUOS DE OBRA	<p>1. Contenedor para recogida de residuos de obra, constituido por un cuerpo metálico resistente de configuración tronco-piramidal invertida, y con medios de enganche para realizar la carga/descarga por parte de un camión de recogida y/o transporte, así como medios de enganche para realizar el volteo y correspondiente vaciado de los residuos, caracterizado porque incluye un tabique interior que establece dos compartimentos para clasificación de dos tipos de residuos; con la particularidad de que su dimensión longitudinal es reducida respecto a los contenedores convencionales, permitiendo una disposición del contenedor de forma perpendicular a la acera, para facilitar las operaciones de carga y/o descarga por parte del camión de recogida y/o transporte, incorporando además unas tapas de cierre superior de los compartimentos, susceptibles de complementarse con medios de cerradura para evitar su apertura no deseada. 2. Contenedor para recogida de residuos de obra, según reivindicación 1, caracterizado porque las tapas van abisagradas entre sí mediante un eje común, en correspondencia con la parte central superior del propio contenedor, estando el eje de abisagramiento retenido en su posición por medio de una pieza de presión extrema, con posibilidad de desmontaje para independizar las tapas y permitir el apilado de contenedores vacíos, realizándose el montaje de tales tapas mediante una pareja de montantes triangulares laterales previstos en la parte superior del propio</p>	01/10/2008	TERTRE TORAN JOSE IGNACIO [ES]	TECSOMA S L [ES]; RECYCLING S L 3 [ES]	ES1068310 (U)

Ítem	Título	Descripción	Fecha	Inventor(es)	Solicitante(es)	Número Patente
		contenedor. 3. Contenedor para recogida de residuos de obra, según reivindicación 1, caracterizado porque la parte superior de las paredes anterior y posterior incorporan sendas compuertas abatibles, cuya apertura establece una amplia escotadura en tales paredes, para facilitar el depositado de residuos en los correspondientes compartimentos.				
5	APARATO Y METODO PARA CLASIFICAR Y/O ENVASAR AUTOMATICAMENTE FRUTOS FRAGILES.	Un aparato (1) para clasificar y/o envasar automáticamente productos delicados alargados, tales como pepinos u otros vegetales y/o fruta, que comprende: - medios de transporte que comprenden recipientes de transporte (11) para el transporte individualizado de los productos; y - medios de liberación o entrega (31), destinados a entregar los productos de una manera orientada y/o alineada, desde los medios de transporte al interior de un recipiente de envasado (5), caracterizado por que se coloca un marco de clasificación o armazón de clasificación (4) que tiene un cierto número de compartimentos, dentro o por encima de la posición deseada del recipiente de envasado, con el fin de distribuir los productos a través de los compartimentos.	06/10/2009	DE GREEF JACOB HENDRIK [NL]	GREEFS WAGEN CARROSSERIE	ES2326279 (T3)
6	MAQUINA CLASIFICADORA DE PRENDAS Y OTROS ARTICULOS	Máquina clasificadora de prendas y otros artículos. Comprende al menos un elemento receptor (2) para la introducción de los artículos, medios de identificación (7) de cada uno de los artículos introducidos, un transportador (3) de bucle cerrado a lo largo del cual existen una pluralidad de salidas de descarga (4) separadas, medios de descarga (14) de los artículos transportados, y medios de control (5 y 6) para que la descarga de cada artículo se realice en una salida (4) determinada. El transportador (3) comprende recipientes (13) que incorporan los citados medios de descarga (14) en su fondo. Permite la clasificación automática de prendas y otros artículos, de una forma rápida y eficaz, mediante unos criterios de clasificación adaptables, y pudiéndose introducir artículos sueltos o bien empaquetados o estuchados.	16/06/2003	SANSA GARCIA JOAN [ES]; GIMENEZ GARCIA FIRMO [ES]	SANSA GARCIA JOAN [ES]; GIMENEZ GARCIA FIRMO [ES]	ES2188352 (A1)

Ítem	Título	Descripción	Fecha	Inventor(es)	Solicitante(es)	Número Patente
7	METODO DE CLASIFICACION DE TAPONES DE CORCHO	Método de clasificación de tapones de corcho, a partir de imágenes de su superficie (26), que comprende: obtener a partir de las imágenes de sus fases (27) una imagen binaria mediante un solo valor umbral de grises; filtrado de "extracción de contornos y seguimiento" de las anteriores imágenes (28); segmentación adaptativa para obtener un valor de grises umbral de defectos y fondo de la superficie lateral (29); erosión de la imagen digitalizada de la superficie lateral, utilizando un filtrado morfológico (g); filtrado adicional (e) con patrones de la imagen de la etapa anterior, para eliminar defectos triviales; digitalización referente a zonas con y sin defectos de las imágenes superior e inferior (30); erosión de las imágenes de la etapa anterior digitalizadas por medio de un filtrado morfológico; y clasificación del tapón (h).	16/02/2000	VALVERDE VALVERDE JOSE MARIA [ES]; DUQUE CARRILLO JUAN FRANCISCO [ES]; SANCHEZ SINENCIO EDGAR [ES]; PEREZ-ALOE VALVERDE RAQUEL [ES]	CORCHOS DE MERIDA S A [ES]; UNIV EXTREMADURA [ES]	ES2140309 (A1)

ANEXO B

Estructura de tareas para el diseño.

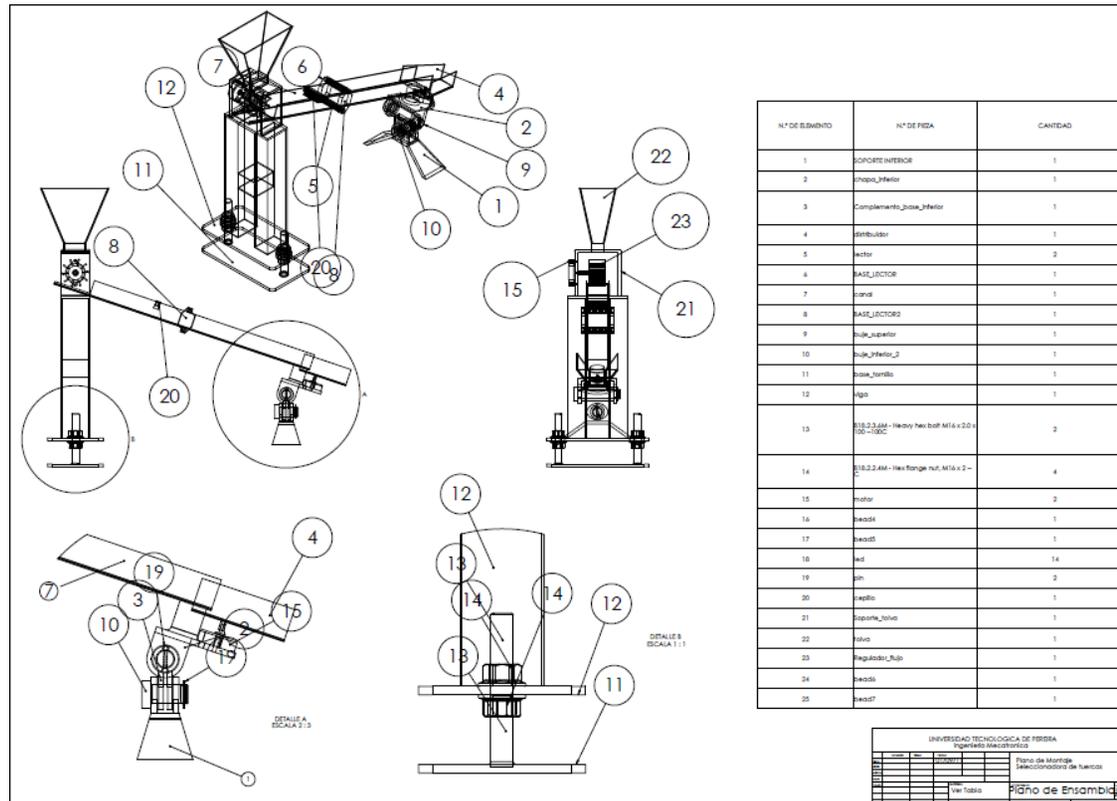
TAREA	MÉTODOS	SUB TAREAS
<p>Diseñar Propuesta</p> <p>Generación de especificaciones para subproblemas.</p> <p>Composición de solución de sub problemas.</p>	<p>Proponer, Criticar, Modificar (PCM) Métodos de descomposición y métodos de transformación.</p> <p>Métodos basados en casos. Métodos globales de restricción – satisfacción Métodos de optimización numérica. Métodos de restricción de propagación numérica o simbólica.</p> <p>Propagación de restricción incluyendo publicación de la misma. Métodos de configuración.</p>	<p>Proponer, Verificar, Criticar, Modificar. Generación de especificaciones para sub problemas.</p> <p>Solución de sub problemas generados por descomposición. Composición de soluciones de subproblemas. Igualar y recuperar casos similares.</p> <p>Simulación para decidir cómo se propagan las restricciones. Simulación para predecir el comportamiento de una configuración candidata.</p>
<p>Verificar</p>	<p>Dominio o simulación de los cálculos específicos. Simulación cualitativa, Consolidación. Simulación Visual.</p>	

TAREA	MÉTODOS	SUB TAREAS
Criticar	<p>Técnicas de análisis del comportamiento causal para asignar responsabilidades.</p> <p>Técnicas de análisis de dependencias.</p>	
Modificar	<p>Métodos ascendentes con parámetros que incrementen mejorías.</p> <p>Cambios basados en dependencias.</p> <p>Conocimiento de la asignación de la función de la estructura.</p> <p>Adicionar nuevas funciones.</p>	Diseñar nuevas funciones. Recomponer con candidato diseñado.

Fuente: "Design Problem Solving: A Task analysis" (R. Chandrasekaran, AI Magazine Winter 1990)

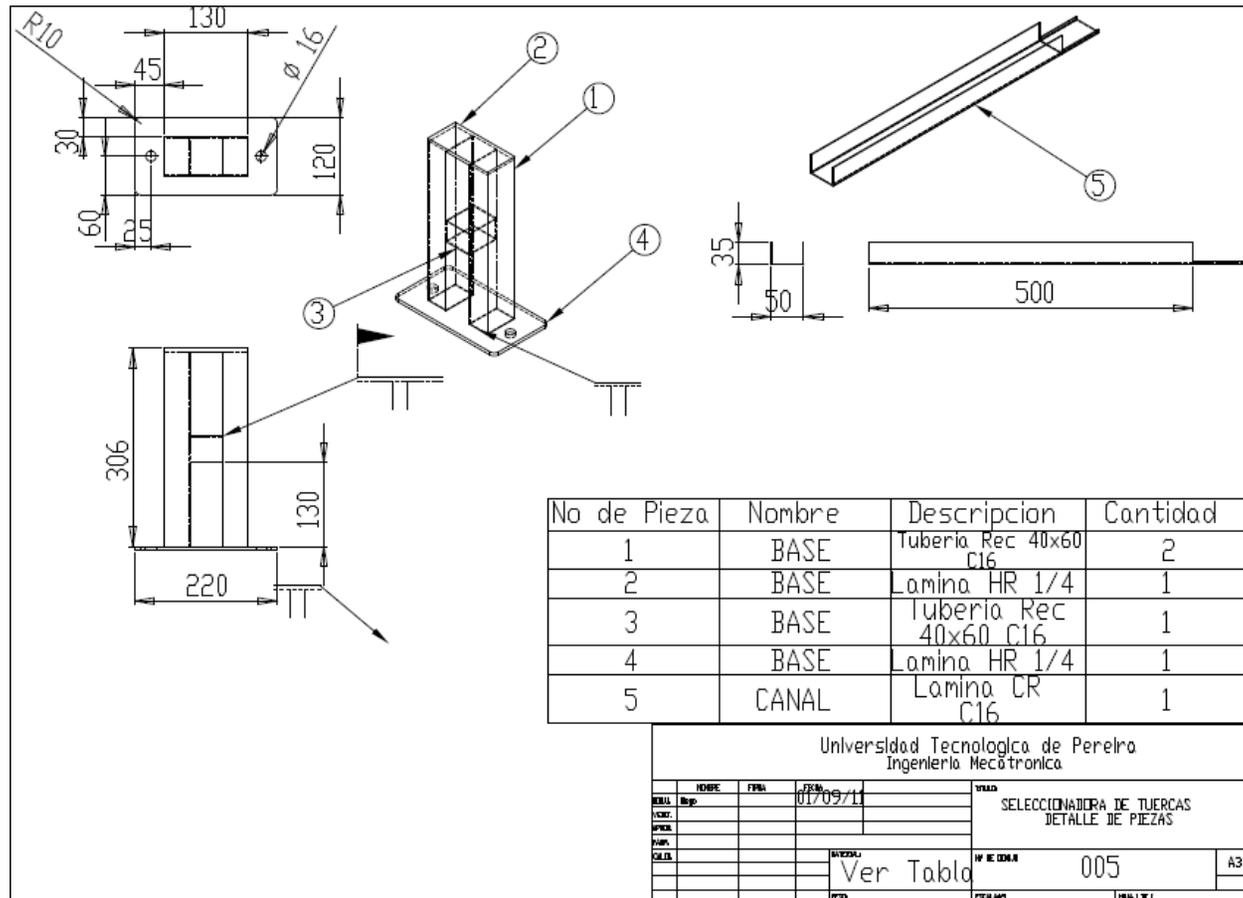
ANEXO C

Plano ilustrativo del ensamble de las partes que conforman la máquina clasificadora de tuercas automatizada.



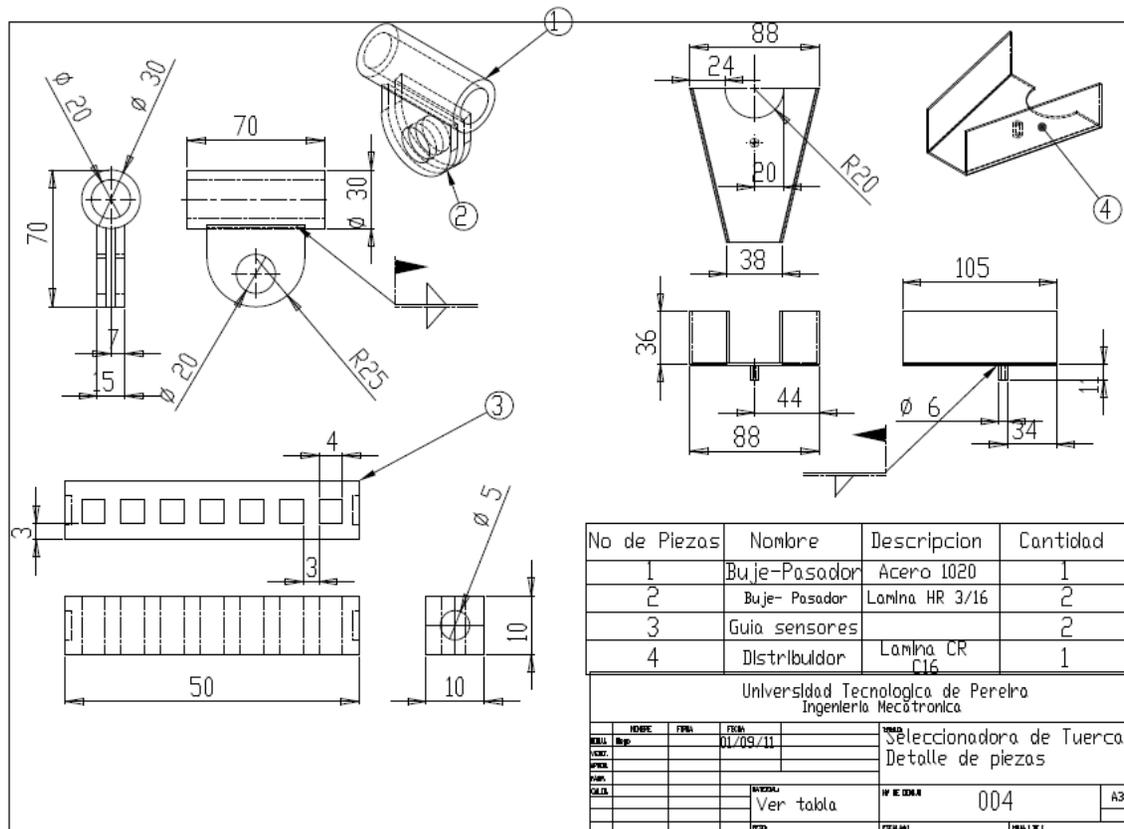
ANEXO D

Plano de construcción del canal para el flujo de las tuercas y base mayor.



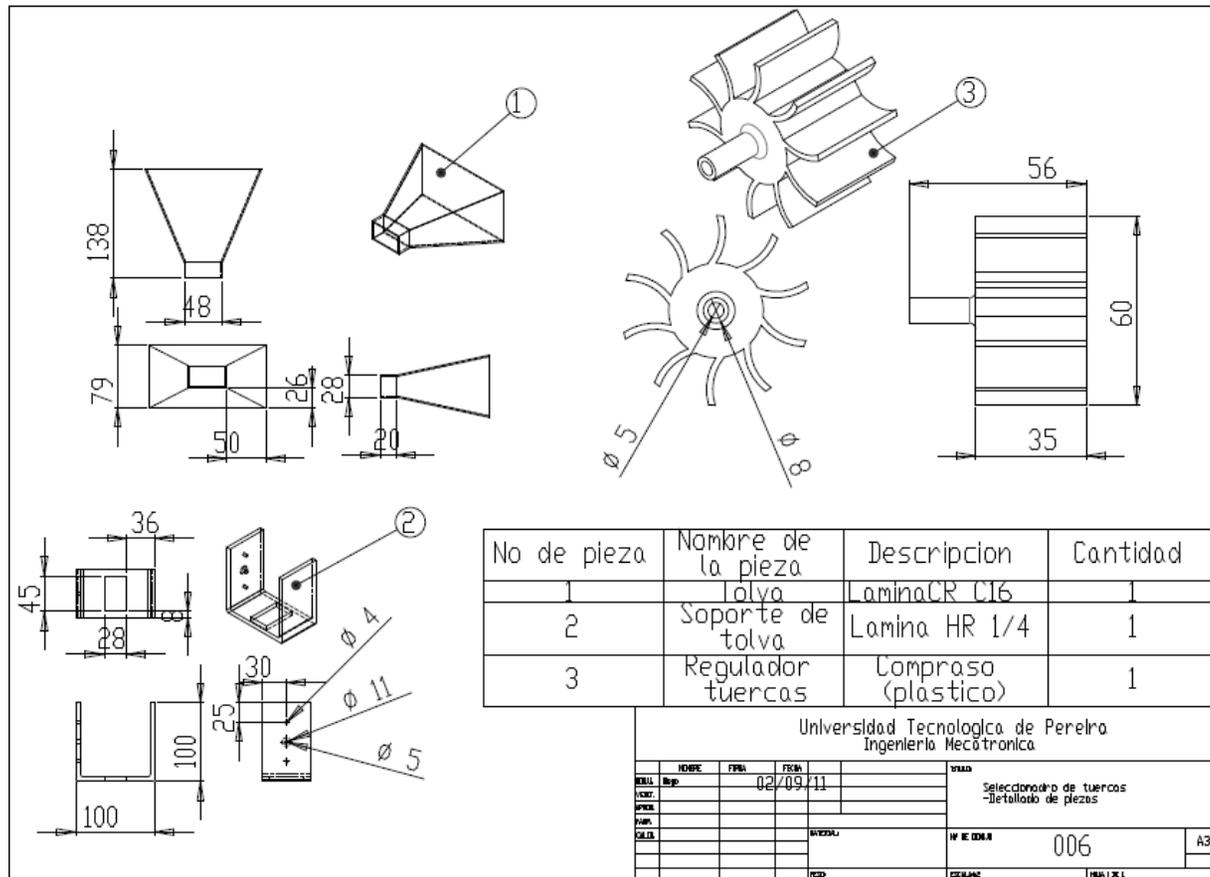
ANEXO E

Planos de fabricación del direccionador, bloque de lectura y acople apoyado inferior- estructura.



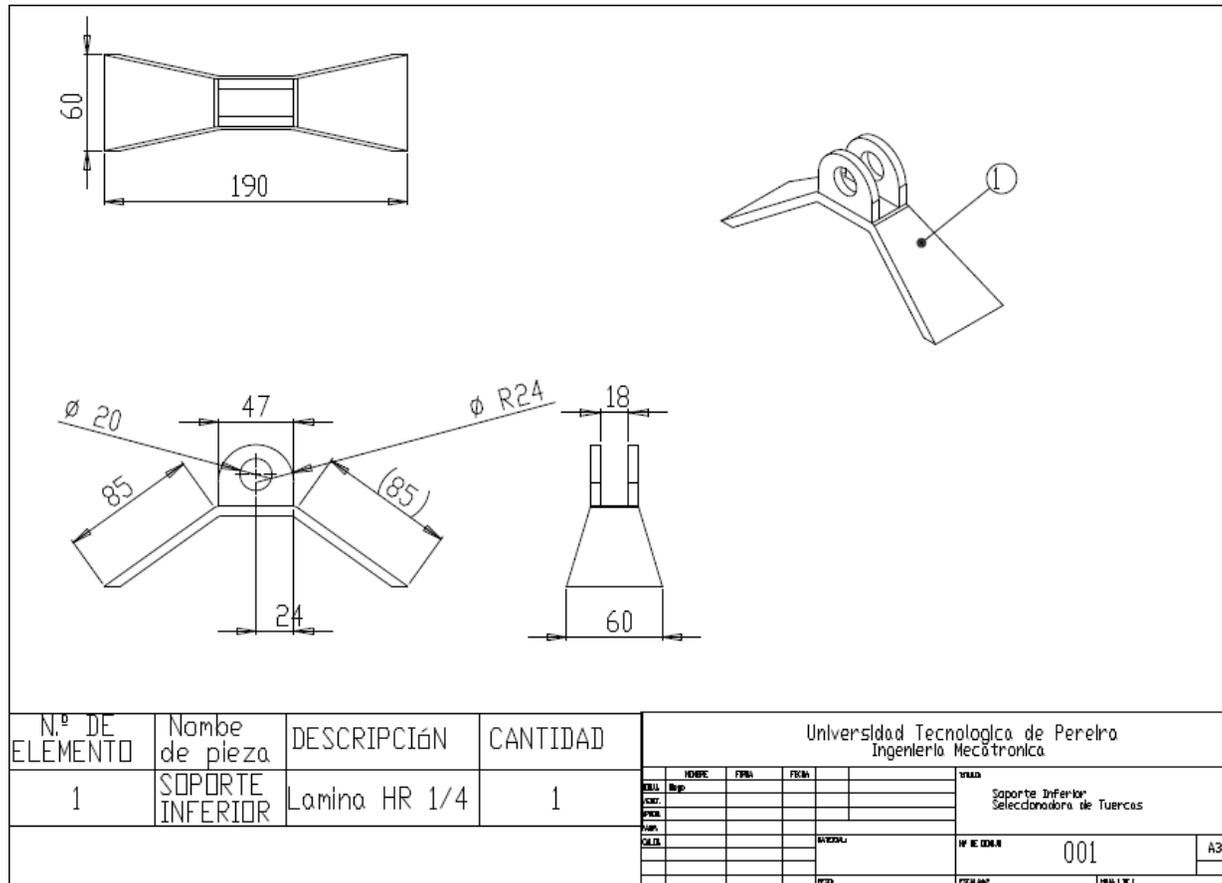
ANEXO F

Planos de fabricación de la Tolva, soporte de la tolva y el regulador de flujo de las tuercas.



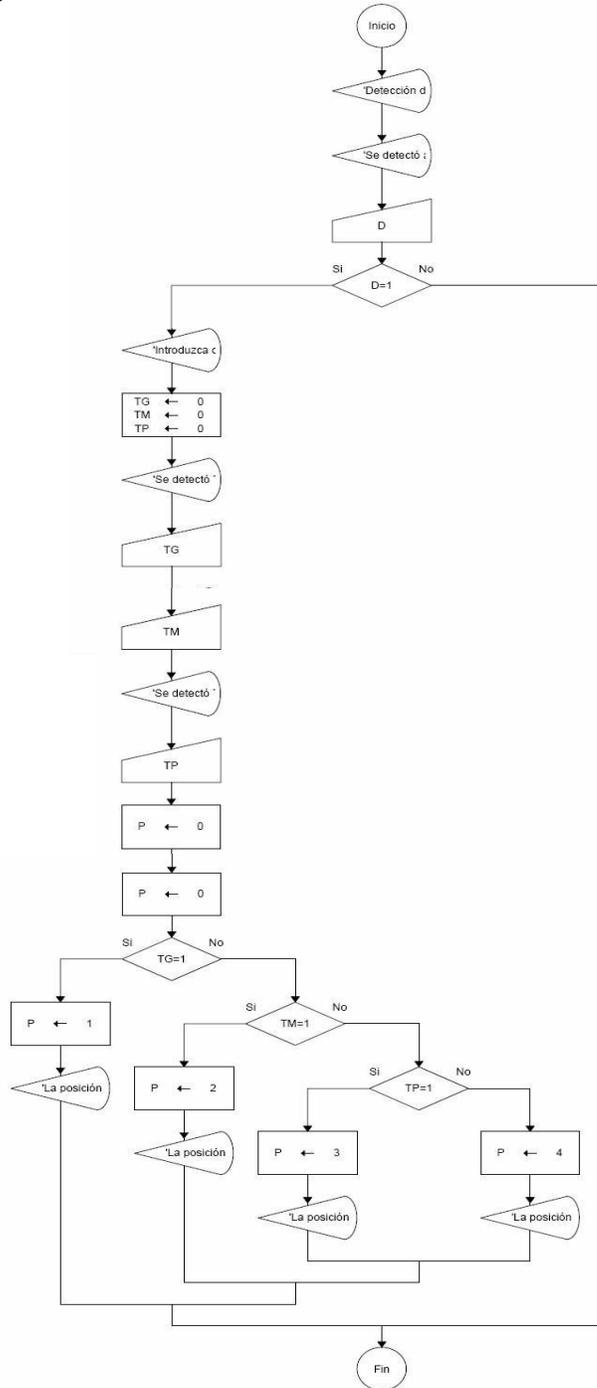
ANEXO H

Plano de fabricación del soporte inferior.



ANEXO J

Diagrama de flujo de funcionamiento del sistema.



ANEXO K

Programa en Matlab para simulación del funcionamiento del sistema.

```
clear; close all; clc

p0 = 1 + round(3*rand(1,1));
pa = round(3*rand(1,4)) + 2;
numtimes=1
fps=1;

A=xlsread('Libro1','Hoja2');
B=xlsread('Libro1','Hoja1');
C=xlsread('Libro1','Hoja3');
x1=B(:,1);

figure
for T=1:4

    y1=B(:,pa(1,T));
    ymax=max(y1);

    if      T==1
        t=1;
    elseif  T==2
        t=3;
    elseif  T==3
        t=5;
    else
        t=7;
    end

    subplot(4,2,t)
    plot(x1,y1)
    title(['señal de salida del sensor, Tamaño: ',num2str(pa(1,T)-1)])
    ylabel('Amplitud')

    if ((ymax>=0.98) && (ymax<=1.2))

        p1=C(p0,:);

        for n=1:length(p1)
            if p1(:,n)==0
                n=length(p1);
            else

                x=A((8*(p1(:,n)-1)+1):8*p1(:,n),1);
                y=A((8*(p1(:,n)-1)+1):8*p1(:,n),2);
                subplot(4,2,t+1)
                plot(x,y);

                axis equal;
            end
        end
    end
end
```

```

        axis([-10,10,-8,8]);
        title(['Tuercagrande, Tamaño: ', num2str(pa(1,1,T)-1)]);
        M(n)=getframe;
        end
    end

    p0=1;
    movie(M,numtimes,fps)

elseif((ymax>=0.48)&&(ymax<=0.52))

    p1=C(p0+4,:);

    for n=1:length(p1)
        if p1(:,n)==0
            n=length(p1);
        else
            x=A((8*(p1(:,n)-1)+1:8*p1(:,n)),1);
            y=A((8*(p1(:,n)-1)+1:8*p1(:,n)),2);
            subplot(4,2,t+1)
            plot(x,y);

            axis equal;
            axis([-10,10,-8,8]);
            title(['Tuercamediana, Tamaño: ', num2str(pa(1,T)-1)]);
            M2(n)=getframe;
            end
        end

        p0=2;
        movie(M2,numtimes,fps)

elseif((ymax>=0.24)&&(ymax<=0.26))

    p1=C(p0+8,:);

```

```

for n=1:length(p1)
    if p1(:,n)==0
        n=length(p1);
    else
        x=A((8*(p1(:,n)-1)+1:8*p1(:,n)),1);
        y=A((8*(p1(:,n)-1)+1:8*p1(:,n)),2);
        subplot(4,2,t+1)
        plot(x,y);

        axis equal;
        axis([-10,10,-8,8]);
        title(['Tuercapequeña, Tamaño: ',num2str(pa(1,T)-1)]);
        M3(n)=getframe;
    end
end

p0=3;
movie(M3,numtimes,fps)

else

p1=C(p0+12,:);

for n=1:length(p1)
    if p1(:,n)==0
        n=length(p1);
    else

        x=A((8*(p1(:,n)-1)+1:8*p1(:,n)),1);
        y=A((8*(p1(:,n)-1)+1:8*p1(:,n)),2);
        subplot(4,2,t+1)
        plot(x,y);

        axisequal;
        axis([-10,10,-8,8]);
        title(['Objeto NO VALIDO, dato: ',num2str(pa(1,T)-1)]);
        M4(n)=getframe;
    end
end
p0=4;

movie(M4,numtimes,fps)
end
end

```

ANEXO L

Hoja de cálculo para las coordenadas rectangulares del posicionador.

-7,07106781	4,33155E-16	0,78539816	45
1,414213562	5,656854249	0,78539816	45
1,414213562	5,656854249	0,78539816	45
5,656854249	1,414213562	0,78539816	45
5,656854249	1,414213562	0,78539816	45
	-		
-4,3316E-16	7,071067812	0,78539816	45
	-		
-4,3316E-16	7,071067812	0,78539816	45
-7,07106781	4,33155E-16	0,78539816	45
-5	5	0	0
5	3	0	0
5	3	0	0
5	-3	0	0
5	-3	0	0
-5	-5	0	0
-5	-5	0	0
-5	5	0	0
		-	
0	7,071067812	0,78539816	-45
		-	
5,656854249	1,414213562	0,78539816	-45
		-	
5,656854249	1,414213562	0,78539816	-45
		-	
1,414213562	5,656854249	0,78539816	-45
		-	
1,414213562	5,656854249	0,78539816	-45
		-	
-7,07106781	0	0,78539816	-45
		-	
-7,07106781	0	0,78539816	-45
		-	
0	7,071067812	0,78539816	-45
		-	
5	5	1,57079633	-90
		-	
3	-5	1,57079633	-90
		-	
3	-5	-	-90

		1,57079633	
		-	
-3	-5	1,57079633	-90
		-	
-3	-5	1,57079633	-90
		-	
-5	5	1,57079633	-90
		-	
-5	5	1,57079633	-90
		-	
5	5	1,57079633	-90

ANEXO M

Hoja de cálculo para determinar el desplazamiento del direccionador a partir de su posición de origen y de destino.

1	0	0	0
2	1	0	0
3	2	1	0
4	3	2	1
1	2	0	0
2	0	0	0
3	2	0	0
4	3	2	0
1	2	3	0
2	3	0	0
3	0	0	0
4	3	0	0
1	2	3	4
2	3	4	0
3	4	0	0
4	0	0	0

ANEXO N

Data Sheet Sensor Efecto Hall.

Programmable Linear Hall Effect Sensor

1. Introduction

The HAL 805 is a recent member of the Micronas family of programmable linear Hall sensors. As an extension to the HAL 800, it offers open-circuit detection and individual programming of different sensors which are in parallel to the same supply voltage.

The HAL 805 is an universal magnetic field sensor with a linear output based on the Hall effect. The IC is designed and produced in sub-micron CMOS technology and can be used for angle or distance measurements if combined with a rotating or moving magnet. The major characteristics like magnetic field range, sensitivity, output quiescent voltage (output voltage at $B = 0$ mT), and output voltage range are programmable in a non-volatile memory. The sensor has a ratiometric output characteristic, which means that the output voltage is proportional to the magnetic flux and the supply voltage.

The HAL 805 features a temperature-compensated Hall plate with chopped offset compensation, an A/D converter, digital signal processing, a D/A converter with output driver, an EEPROM memory with redundancy and lock function for the calibration data, a serial interface for programming the EEPROM, and protection devices at all pins. The internal digital signal processing is of great benefit because analog offsets, temperature shifts, and mechanical stress do not degrade the sensor accuracy.

The HAL 805 is programmable by modulating the supply voltage. No additional programming pin is needed. The easy programmability allows a 2-point calibration by adjusting the output voltage directly to the input signal (like mechanical angle, distance, or current). Individual adjustment of each sensor during the customer's manufacturing process is possible. With this calibration procedure, the tolerances of the sensor, the magnet, and the mechanical positioning can be compensated in the final assembly. This offers a low-cost alternative for all applications that presently need mechanical adjustment or laser trimming for calibrating the system.

In addition, the temperature compensation of the Hall IC can be fit to all common magnetic materials by programming first and second order temperature coefficients of the Hall sensor sensitivity. This enables operation over the full temperature range with high accuracy.

The calculation of the individual sensor characteristics and the programming of the EEPROM memory can easily be done with a PC and the application kit from Micronas.

The sensor is designed for hostile industrial and automotive applications and operates with typically 5 V supply voltage in the ambient temperature range from -40 °C up to 150 °C. The HAL 805 is available in the very small leaded package TO-92UT.

1.1. Major Applications

Due to the sensor's versatile programming characteristics, the HAL 805 is the optimal system solution for applications such as:

- contactless potentiometers,
- angle sensors,
- distance measurements,
- magnetic field and current measurement.

1.2. Features

- high-precision linear Hall effect sensor with ratiometric output and digital signal processing
- multiple programmable magnetic characteristics in a non-volatile memory (EEPROM) with redundancy and lock function
- open-circuit detection (ground and supply line break detection)
- for programming an individual sensor within several sensors in parallel to the same supply voltage, a selection can be done via the output pin
- temperature characteristics are programmable for matching all common magnetic materials
- programmable clamping function
- programming through a modulation of the supply voltage
- operates from -40 °C up to 150 °C ambient temperature
- operates from 4.5 V up to 5.5 V supply voltage in specification and functions up to 8.5 V
- total error $< 2.0\%$ over operating voltage range and temperature range
- operates with static magnetic fields and dynamic magnetic fields up to 2 kHz
- overvoltage and reverse-voltage protection at all pins
- magnetic characteristics extremely robust against mechanical stress
- short-circuit protected push-pull output
- EMC and ESD optimized design

1.3. Marking Code

The HAL 805 has a marking on the package surface (branded side). This marking includes the name of the sensor and the temperature range.

Type	Temperature Range	
	A	K
HAL 805	805A	805K

1.3.1. Special Marking of Prototype Parts

Prototype parts are coded with an underscore beneath the temperature range letter on each IC. They may be used for lab experiments and design-ins but are not intended to be used for qualification tests or as production parts.

1.4. Operating Junction Temperature Range (T_J)

The Hall sensors from Micronas are specified to the chip temperature (junction temperature T_J).

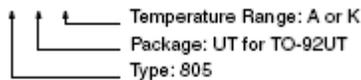
A: $T_J = -40\text{ °C to }+170\text{ °C}$

K: $T_J = -40\text{ °C to }+140\text{ °C}$

The relationship between ambient temperature (T_A) and junction temperature is explained in Section 4.5. on page 19.

1.5. Hall Sensor Package Codes

HALXXPA-T



Example: HAL805UT-K

- Type: 805
- Package: TO-92UT
- Temperature Range: $T_J = -40\text{ °C to }+140\text{ °C}$

Hall sensors are available in a wide variety of packaging versions and quantities. For more detailed information, please refer to the brochure: "Ordering Codes for Hall Sensors".

1.6. Solderability

Package TO-92UT: according to IEC68-2-58

During soldering reflow processing and manual reworking, a component body temperature of 260 °C should not be exceeded.

Components stored in the original packaging should provide a shelf life of at least 12 months, starting from the date code printed on the package labels, even in environments as extreme as 40 °C and 90% relative humidity.

1.7. Pin Connections and Short Descriptions

Pin No.	Pin Name	Type	Short Description
1	V _{DD}	IN	Supply Voltage and Programming Pin
2	GND		Ground
3	OUT	OUT	Push Pull Output and Selection Pin

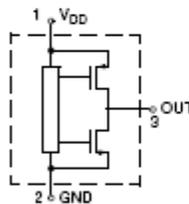


Fig. 1-1: Pin configuration

2. Functional Description

2.1. General Function

The HAL 805 is a monolithic integrated circuit which provides an output voltage proportional to the magnetic flux through the Hall plate and proportional to the supply voltage (ratiometric behavior).

The external magnetic field component perpendicular to the branded side of the package generates a Hall voltage. The Hall IC is sensitive to magnetic north and south polarity. This voltage is converted to a digital value, processed in the Digital Signal Processing Unit (DSP) according to the settings of the EEPROM registers, converted to an analog voltage with ratiometric behavior, and stabilized by a push-pull output transistor stage. The function and the parameters for the DSP are explained in Section 2.2. on page 7.

The setting of the LOCK register disables the programming of the EEPROM memory for all time. This register cannot be reset.

As long as the LOCK register is not set, the output characteristic can be adjusted by programming the EEPROM registers. The IC is addressed by modulating the supply voltage (see Fig. 2-1). In the supply voltage range from 4.5 V up to 5.5 V, the sensor generates an analog output voltage. After detecting a command, the sensor reads the memory and answers with a digital signal on the output pin. The

analog output is switched off during the communication.

Several sensors in parallel to the same supply and ground line can be programmed individually. The selection of each sensor is done via its output pin.

The open-circuit detection provides a defined output voltage if the V_{DD} or GND line is broken. Internal temperature compensation circuitry and the chopped off-set compensation enables operation over the full temperature range with minimal changes in accuracy and high offset stability. The circuitry also rejects offset shifts due to mechanical stress from the package. The non-volatile memory consists of redundant EEPROM cells. In addition, the sensor IC is equipped with devices for overvoltage and reverse-voltage protection at all pins.

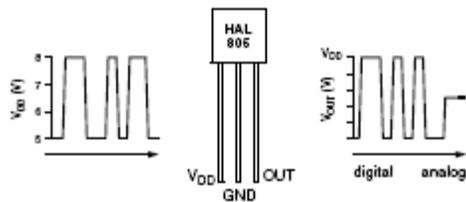


Fig. 2-1: Programming with V_{DD} modulation

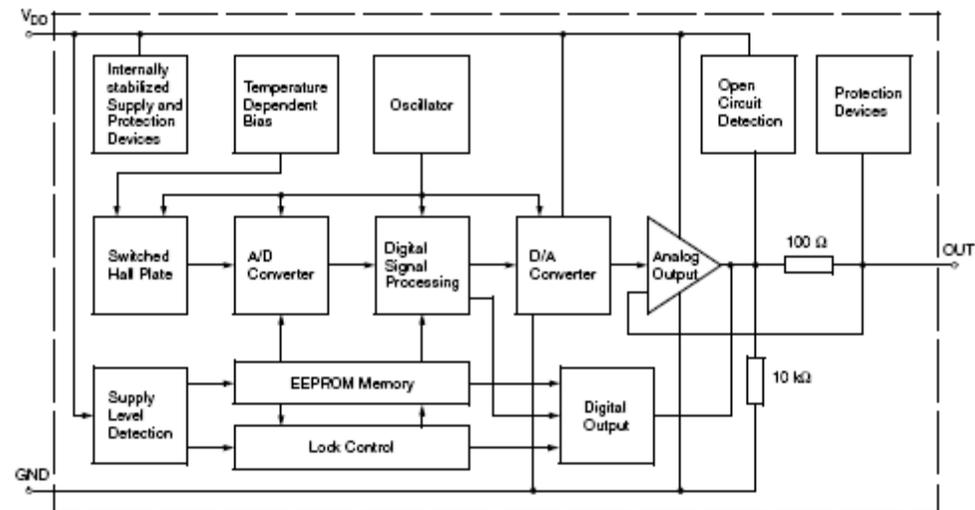


Fig. 2-2: HAL 805 block diagram

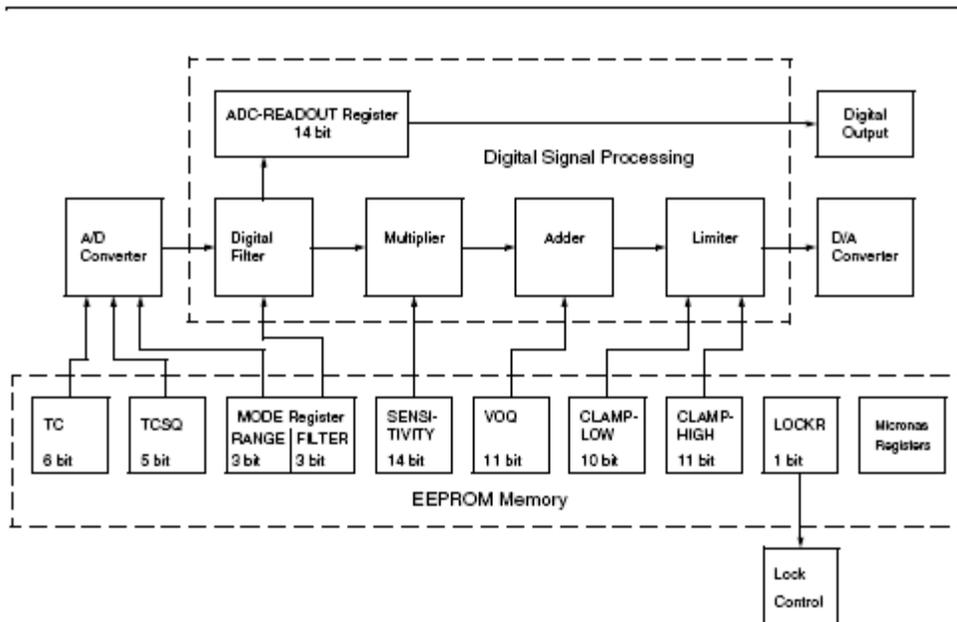


Fig. 2-3: Details of EEPROM and Digital Signal Processing

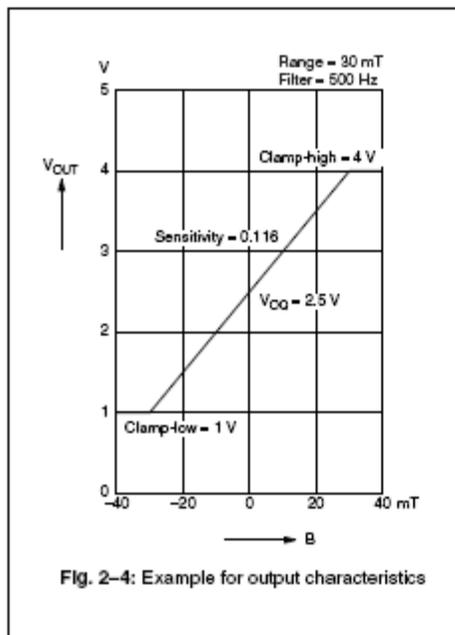


Fig. 2-4: Example for output characteristics

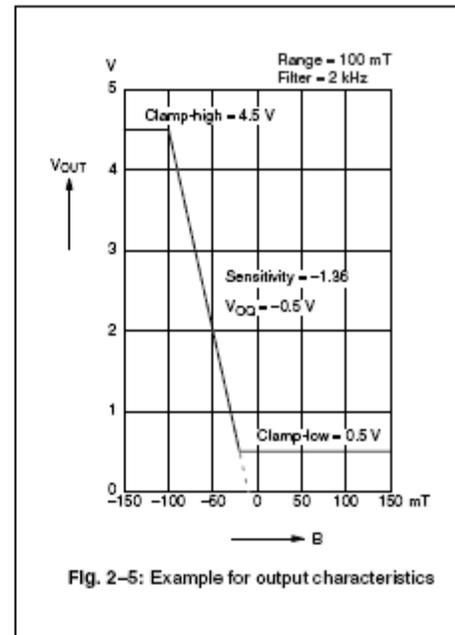


Fig. 2-5: Example for output characteristics

2.2. Digital Signal Processing and EEPROM

The DSP is the main part of this sensor and performs the signal conditioning. The parameters for the DSP are stored in the EEPROM registers. The details are shown in Fig. 2–3.

Terminology:

SENSITIVITY: name of the register or register value

Sensitivity: name of the parameter

The EEPROM registers consist of three groups:

Group 1 contains the registers for the adaption of the sensor to the magnetic system: MODE for selecting the magnetic field range and filter frequency, TC and TCSQ for the temperature characteristics of the magnetic sensitivity.

Group 2 contains the registers for defining the output characteristics: SENSITIVITY, VOQ, CLAMP-LOW, and CLAMP-HIGH. The output characteristic of the sensor is defined by these 4 parameters (see Fig. 2–4 and Fig. 2–5 for examples).

- The parameter V_{OO} (Output Quiescent Voltage) corresponds to the output voltage at $B = 0$ mT.
- The parameter Sensitivity defines the magnetic sensitivity:

$$\text{Sensitivity} = \frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta B}$$

- The output voltage can be calculated as:

$$V_{OUT} = \text{Sensitivity} \times B + V_{OO}$$

The output voltage range can be clamped by setting the registers CLAMP-LOW and CLAMP-HIGH in order to enable failure detection (such as short-circuits to V_{DD} or GND and open connections).

Group 3 contains the Micronas registers and LOCK for the locking of all registers. The Micronas registers are programmed and locked during production and are read-only for the customer. These registers are used for oscillator frequency trimming, A/D converter offset compensation, and several other special settings.

An external magnetic field generates a Hall voltage on the Hall plate. The ADC converts the amplified positive or negative Hall voltage (operates with magnetic north and south poles at the branded side of the package) to a digital value. Positive values correspond to a magnetic north pole on the branded side of the package. The digital signal is filtered in the internal low-pass filter and is readable in the ADC-READOUT register. Depending on the programmable magnetic range of the Hall IC, the operating range of the A/D converter is from –30 mT...+30 mT up to –150 mT...+150 mT.

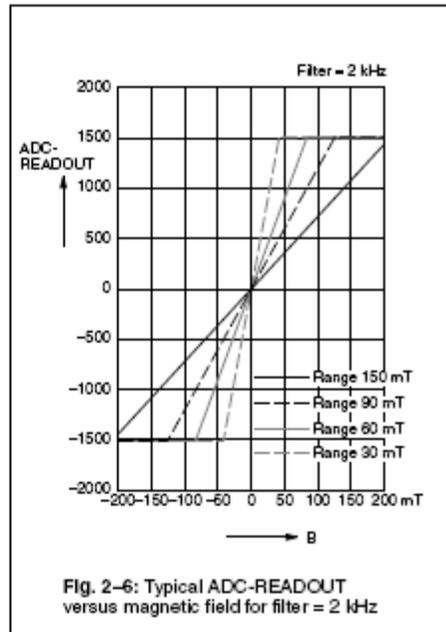


Fig. 2–6: Typical ADC-READOUT versus magnetic field for filter = 2 kHz

During further processing, the digital signal is multiplied with the sensitivity factor, added to the quiescent output voltage and limited according to the clamping voltage. The result is converted to an analog signal and stabilized by a push-pull output transistor stage.

The ADC-READOUT at any given magnetic field depends on the programmed magnetic field range but also on the filter frequency. Fig. 2–6 shows the typical ADC-READOUT values for the different magnetic field ranges with the filter frequency set to 2 kHz. The relationship between the minimum and maximum ADC-READOUT values and the filter frequency setting is listed in the following table.

Filter Frequency	ADC-READOUT RANGE
80 Hz	–3968...3967
160 Hz	–1985...1985
500 Hz	–5292...5290
1 kHz	–2646...2645
2 kHz	–1512...1511

Note: During application design, it should be taken into consideration that the maximum and minimum ADC-READOUT is not exceeded during calibration and operation of the Hall IC. Consequently, the maximum and minimum magnetic fields that may occur in the operational range of a specific application should not saturate the A/D converter. Please note that the A/D converter saturates at magnetic fields well above, respectively below, the magnetic range limits. This large safety band between specified magnetic range and true operational range helps to avoid any saturation.

Range

The RANGE bits are the three lowest bits of the MODE register; they define the magnetic field range of the A/D converter.

Magnetic Field Range	RANGE
-30 mT...30 mT	0
-40 mT...40 mT	4
-60 mT...60 mT	5
-75 mT...75 mT	1
-80 mT...80 mT	6
-90 mT...90 mT	2
-100 mT...100 mT	7
-150 mT...150 mT	3

Filter

The FILTER bits are the three highest bits of the MODE register; they define the -3 dB frequency of the digital low pass filter.

-3 dB Frequency	FILTER
80 Hz	0
160 Hz	1
500 Hz	2
1 kHz	3
2 kHz	4

TC and TCSQ

The temperature dependence of the magnetic sensitivity can be adapted to different magnetic materials in order to compensate for the change of the magnetic strength with temperature. The adaption is done by programming the TC (Temperature Coefficient) and the TCSQ registers (Quadratic Temperature Coefficient). Thereby, the slope and the curvature of the temperature dependence of the magnetic sensitivity can be matched to the magnet and the sensor assembly. As a result, the output voltage characteristic can be fixed over the full temperature range. The sensor can compensate for linear temperature coefficients ranging from about -3100 ppm/K up to 400 ppm/K and quadratic coefficients from about -5 ppm/K² to 5 ppm/K². Please refer to Section 4.3. on page 18 for the recommended settings for different linear temperature coefficients.

Sensitivity

The SENSITIVITY register contains the parameter for the multiplier in the DSP. The Sensitivity is programmable between -4 and 4. For $V_{DD} = 5$ V, the register can be changed in steps of 0.00049. Sensitivity = 1 corresponds to an increase of the output voltage by V_{DD} if the ADC-READOUT increases by 2048.

For all calculations, the digital value from the magnetic field of the A/D converter is used. This digital information is readable from the ADC-READOUT register.

$$\text{Sensitivity} = \frac{\Delta V_{OUT} * 2048}{\Delta \text{ADC-READOUT} * V_{DD}}$$

VOQ

The VOQ register contains the parameter for the adder in the DSP. V_{OQ} is the output voltage without external magnetic field ($B = 0$ mT, respectively ADC-READOUT = 0) and programmable from $-V_{DD}$ up to V_{DD} . For $V_{DD} = 5$ V, the register can be changed in steps of 4.9 mV.

Note: If V_{OQ} is programmed to a negative voltage, the maximum output voltage is limited to:

$$V_{OUTmax} = V_{OQ} + V_{DD}$$

For calibration in the system environment, a 2-point adjustment procedure (see Section 2.3.) is recommended. The suitable Sensitivity and V_{OQ} values for each sensor can be calculated individually by this procedure.

Clamping Voltage

The output voltage range can be clamped in order to detect failures like shorts to V_{DD} or GND or an open circuit.

The CLAMP-LOW register contains the parameter for the lower limit. The lower clamping voltage is programmable between 0 V and $V_{DD}/2$. For $V_{DD} = 5$ V, the register can be changed in steps of 2.44 mV.

The CLAMP-HIGH register contains the parameter for the upper limit. The upper clamping voltage is programmable between 0 V and V_{DD} . For $V_{DD} = 5$ V, in steps of 2.44 mV.

LOCKR

By setting this 1-bit register, all registers will be locked, and the sensor will no longer respond to any supply voltage modulation.

Warning: This register cannot be reset!

ADC-READOUT

This 14-bit register delivers the actual digital value of the applied magnetic field before the signal processing. This register can be read out and is the basis for the calibration procedure of the sensor in the system environment.

2.3. Calibration Procedure

2.3.1. General Procedure

For calibration in the system environment, the application kit from Micronas is recommended. It contains the hardware for the generation of the serial telegram for programming and the corresponding software for the input of the register values.

In this section, programming of the sensor using this programming tool is explained. Please refer to Section 5. on page 20 for information about programming without this tool.

For the individual calibration of each sensor in the customer application, a two point adjustment is recommended (see Fig. 2-7 for an example). When using the application kit, the calibration can be done in three steps:

Step 1: Input of the registers which need not be adjusted individually

The magnetic circuit, the magnetic material with its temperature characteristics, the filter frequency, and low and high clamping voltage are given for this application.

Therefore, the values of the following registers should be identical for all sensors of the customer application.

- FILTER
(according to the maximum signal frequency)
- RANGE
(according to the maximum magnetic field at the sensor position)
- TC and TCSQ
(depends on the material of the magnet and the other temperature dependencies of the application)
- CLAMP-LOW and CLAMP-HIGH
(according to the application requirements)

Write the appropriate settings into the HAL 805 registers.

Step 2: Calculation of V_{OQ} and Sensitivity

The calibration points 1 and 2 can be set inside the specified range. The corresponding values for V_{OUT1} and V_{OUT2} result from the application requirements.

Low damping voltage $\leq V_{OUT1,2} \leq$ *High damping voltage*

For highest accuracy of the sensor, calibration points near the minimum and maximum input signal are recommended. The difference of the output voltage between calibration point 1 and calibration point 2 should be more than 3.5 V.

Set the system to calibration point 1 and read the register ADC-READOUT. The result is the value ADC-READOUT1.

Now, set the system to calibration point 2, read the register ADC-READOUT again, and get the value ADC-READOUT2.

With these values and the target values V_{OUT1} and V_{OUT2} , for the calibration points 1 and 2, respectively, the values for Sensitivity and V_{OQ} are calculated as:

$$\text{Sensitivity} = \frac{V_{OUT1} - V_{OUT2}}{\text{ADC-READOUT1} - \text{ADC-READOUT2}} \cdot \frac{2048}{V_{DD}}$$

$$V_{OQ} = V_{OUT1} - \frac{\text{ADC-READOUT1} \cdot \text{Sensitivity} \cdot V_{DD}}{2048}$$

This calculation has to be done individually for each sensor.

Next, write the calculated values for Sensitivity and V_{OQ} into the IC for adjusting the sensor.

The sensor is now calibrated for the customer application. However, the programming can be changed again if necessary.

Step 3: Locking the Sensor

The last step is activating the LOCK function with the "LOCK" command. Please note that the LOCK function becomes effective after power-down and power-up of the Hall IC. The sensor is now locked and does not respond to any programming or reading commands.

Warning: This register cannot be reset!

2.3.2. Calibration of the Angle Sensor

The following description explains the calibration procedure using an angle sensor as an example. The required output characteristic is shown in Fig. 2-7.

- the angle range is from -25° to 25°
- temperature coefficient of the magnet: -500 ppm/K

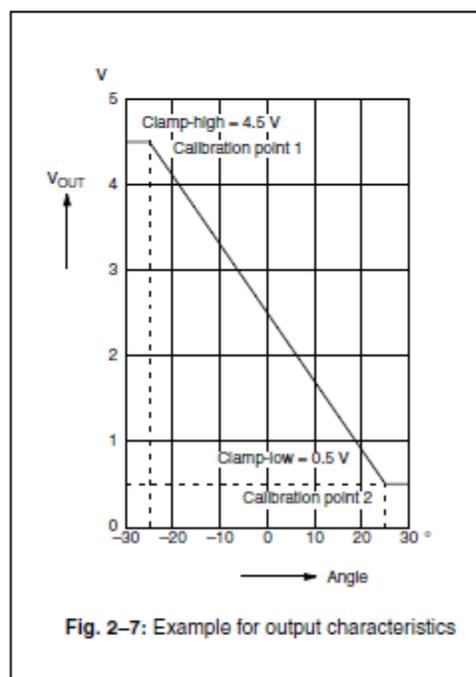


Fig. 2-7: Example for output characteristics

Step 1: Input of the registers which need not be adjusted individually

The register values for the following registers are given for all applications:

- FILTER
Select the filter frequency: 500 Hz
- RANGE
Select the magnetic field range: 30 mT
- TC
For this magnetic material: 6
- TCSQ
For this magnetic material: 14
- CLAMP-LOW
For our example: 0.5 V
- CLAMP-HIGH
For our example: 4.5 V

Enter these values in the software, and use the "write and store" command for permanently writing the values in the registers.

Step 2: Calculation of V_{OQ} and Sensitivity

There are two ways to calculate the values for V_{OQ} and Sensitivity.

Manual Calculation:

Set the system to calibration point 1 (angle 1 = -25°) and read the register ADC-READOUT. For our example, the result is ADC-READOUT1 = -2500.

Next, set the system to calibration point 2 (angle 2 = 25°), and read the register ADC-READOUT again. For our example, the result is ADC-READOUT2 = +2350.

With these measurements and the targets $V_{OUT1} = 4.5$ V and $V_{OUT2} = 0.5$ V, the values for Sensitivity and V_{OQ} are calculated as

$$\text{Sensitivity} = \frac{4.5 \text{ V} - 0.5 \text{ V}}{-2500 - 2350} \cdot \frac{2048}{5 \text{ V}} = -0.3378$$

$$V_{OQ} = 4.5 \text{ V} - \frac{-2500 \cdot (-0.3378) \cdot 5 \text{ V}}{2048} = 2.438 \text{ V}$$

Software Calibration:

Use the menu CALIBRATE from the PC software and enter the values 4.5 V for V_{OUT1} and 0.5 V for V_{OUT2} . Set the system to calibration point 1 (angle 1 = -25°), hit the button "Read ADC-Readout1", set the system to calibration point 2 (angle 2 = 25°), hit the button "Read ADC-Readout2", and hit the button "Calculate". The software will then calculate the appropriate V_{OQ} and Sensitivity.

This calculation has to be done individually for each sensor. Now, write the calculated values with the "write and store" command into the HAL 805 for programming the sensor.

Step 3: Locking the Sensor

The last step is activating the LOCK function with the "LOCK" command. Please note that the LOCK function becomes effective after power-down and power-up of the Hall IC. The sensor is now locked and does not respond to any programming or reading commands.

Warning: This register cannot be reset!

3. Specifications

3.1. Outline Dimensions

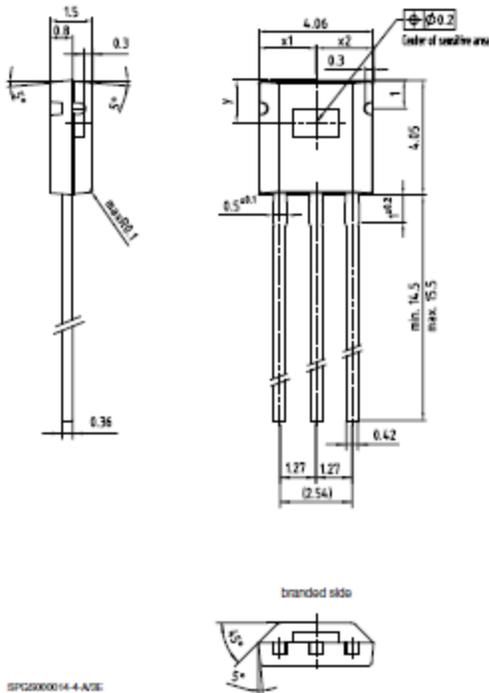


Fig. 3-1:
Plastic Transistor Single Outline Package
(TO-92UT)
Weight approximately 0.14 g
Dimensions in mm

Note: For all package diagrams, a mechanical tolerance of ± 0.05 mm applies to all dimensions where no tolerance is explicitly given. All package dimensions exclude molding flash.

3.2. Dimensions of Sensitive Area

0.25 mm x 0.25 mm

3.3. Position of Sensitive Area

	TO-92UT
x	center of the package
y	1.5 mm nominal

3.4. Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter	Pin No.	Min.	Max.	Unit
V _{DD}	Supply Voltage	1	-8.5	8.5	V
V _{DD}	Supply Voltage	1	-14.4 ^{1) 2)}	14.4 ^{1) 2)}	V
-I _{DD}	Reverse Supply Current	1	-	50 ¹⁾	mA
I _Z	Current through Protection Device	1 or 3	-300 ⁴⁾	300 ⁴⁾	mA
V _{OUT}	Output Voltage	3	-5 ⁶⁾ -5 ⁶⁾	8.5 ³⁾ 14.4 ^{3) 2)}	V
V _{OUT} - V _{DD}	Excess of Output Voltage over Supply Voltage	3,1		2	V
I _{OUT}	Continuous Output Current	3	-10	10	mA
t _{sh}	Output Short Circuit Duration	3	-	10	min
T _J	Junction Temperature Range		-40 -40	170 ⁵⁾ 150	°C °C
N _{PROG}	Number of Programming Cycles		-	100	
¹⁾ as long as T _{Jmax} is not exceeded ²⁾ t < 10 min (V _{DDmin} = -15 V for t < 1 min, V _{DDmax} = 16 V for t < 1 min) ³⁾ as long as T _{Jmax} is not exceeded, output is not protected to external 14 V-line (or to -14 V) ⁴⁾ t < 2 ms ⁵⁾ t < 1000h ⁶⁾ internal protection resistor = 100 Ω					

Stresses beyond those listed in the "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only. Functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the "Recommended Operating Conditions/Characteristics" of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum ratings conditions for extended periods may affect device reliability.

3.4.1. Storage and Shelf Life

Storage has no influence on the electrical and magnetic characteristics of the sensors. However, under disadvantageous conditions, extended storage time can lead to alteration of the lead plating, which affects the soldering process.

The permissible storage time (shelf life) of the sensors would be minimum 12 month, beginning from the date of manufacturing, if they are stored in the original packaging at maximum 40 °C ambient temperature and maximum 90% relative humidity.

3.5. Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Pin No.	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _{DD}	Supply Voltage	1	4.5	5	5.5	V
I _{OUT}	Continuous Output Current	3	-1	-	1	mA
R _L	Load Resistor	3	4.5	-	-	kΩ
C _L	Load Capacitance	3	0.33	10	1000	nF

3.6. Electrical Characteristics

at $T_J = -40\text{ }^\circ\text{C}$ to $+170\text{ }^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 4.5\text{ V}$ to 5.5 V , after programming, as not otherwise specified in Conditions.
 Typical Characteristics for $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$ and $V_{DD} = 5\text{ V}$

Symbol	Parameter	Pin No.	Min.	Typ.	Max.	Unit	Test Conditions
I_{DD}	Supply Current over Temperature Range	1		7	10	mA	
V_{DDZ}	Overvoltage Protection at Supply	1		17.5	20	V	$I_{DD} = 25\text{ mA}$, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $t = 20\text{ ms}$
V_{OZ}	Overvoltage Protection at Output	3		17	19.5	V	$I_O = 10\text{ mA}$, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $t = 20\text{ ms}$
	Resolution	3		12		bit	ratiometric to V_{DD} ¹⁾
E_A	Accuracy Error over all	3	-2	0	2	%	$R_L = 4.7\text{ k}\Omega$ (% of supply voltage) ²⁾
INL	Non-Linearity of Output Voltage over Temperature	3	-1	0	1	%	% of supply voltage ²⁾
E_R	Ratiometric Error of Output over Temperature (Error in V_{OUT} / V_{DD})	3	-0.5	0	0.5	%	$V_{OUT1} - V_{OUT2} > 2\text{ V}$ during calibration procedure
ΔV_{OUTCL}	Accuracy of Output Voltage at Clamping Low Voltage over Temperature Range	3	-45	0	45	mV	$R_L = 4.7\text{ k}\Omega$, $V_{DD} = 5\text{ V}$
ΔV_{OUTCH}	Accuracy of Output Voltage at Clamping High Voltage over Temperature Range	3	-45	0	45	mV	$R_L = 4.7\text{ k}\Omega$, $V_{DD} = 5\text{ V}$
V_{OUTH}	Output High Voltage	3	4.65	4.8		V	$V_{DD} = 5\text{ V}$, $-1\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 1\text{ mA}$
V_{OUTL}	Output Low Voltage	3		0.2	0.35	V	$V_{DD} = 5\text{ V}$, $-1\text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 1\text{ mA}$
f_{ADC}	Internal ADC Frequency	-	120	128	140	kHz	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$
f_{ADC}	Internal ADC Frequency over Temperature Range	-	110	128	150	kHz	$V_{DD} = 4.5\text{ V}$ to 8.5 V
$t_{r(O)}$	Response Time of Output	3	-	5 4 2 1	10 8 4 2	ms	3 dB Filter frequency = 80 Hz 3 dB Filter frequency = 160 Hz 3 dB Filter frequency = 500 Hz 3 dB Filter frequency = 2 kHz $C_L = 10\text{ nF}$, time from 10% to 90% of final output voltage for a steplike signal B_{step} from 0 mT to B_{max}
$t_{d(O)}$	Delay Time of Output	3		0.1	0.5	ms	$C_L = 10\text{ nF}$
t_{PDD}	Power-Up Time (Time to reach stabilized Output Voltage)			6 5 3 2	11 9 5 3	ms	3 dB Filter frequency = 80 Hz 3 dB Filter frequency = 160 Hz 3 dB Filter frequency = 500 Hz 3 dB Filter frequency = 2 kHz $C_L = 10\text{ nF}$, 90% of V_{OUT}
BW	Small Signal Bandwidth (-3 dB)	3	-	2	-	kHz	$B_{AC} < 10\text{ mT}$; 3 dB Filter frequency = 2 kHz
V_{OUTn}	Noise Output Voltage _{pp}	3	-	3	6	mV	²⁾ magnetic range = 90 mT 3 dB Filter frequency = 80 Hz Sensitivity ≤ 0.26
R_{OUT}	Output Resistance over Recommended Operating Range	3	-	1	10	Ω	$V_{OUTLmax} \leq V_{OUT} \leq V_{OUTHmin}$
$R_{thJA TO-02OUT}$	Thermal Resistance Junction to Soldering Point	-	-	150	200	K/W	

¹⁾ Output DAC full scale = 5 V ratiometric, Output DAC offset = 0 V, Output DAC LSB = $V_{DD}/4096$
²⁾ peak-to-peak value exceeded: 5%
³⁾ if more than 50% of the selected magnetic field range are used and the temperature compensation is suitable

3.7. Magnetic Characteristics

at $T_J = -40\text{ }^\circ\text{C}$ to $+170\text{ }^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 4.5\text{ V}$ to 5.5 V , after programming, as not otherwise specified in Conditions.
Typical Characteristics for $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$ and $V_{DD} = 5\text{ V}$

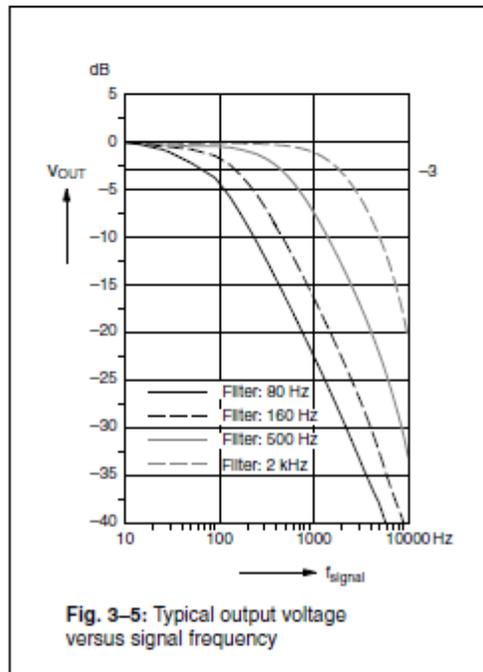
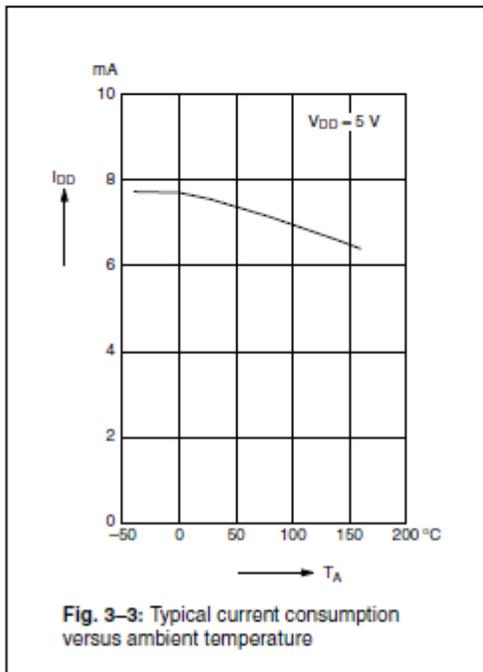
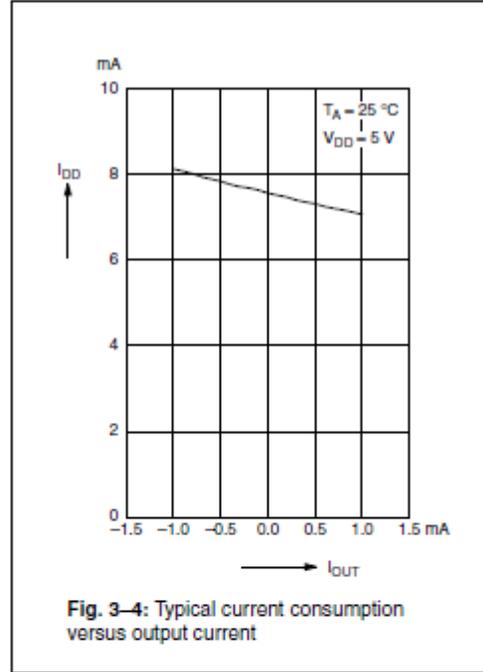
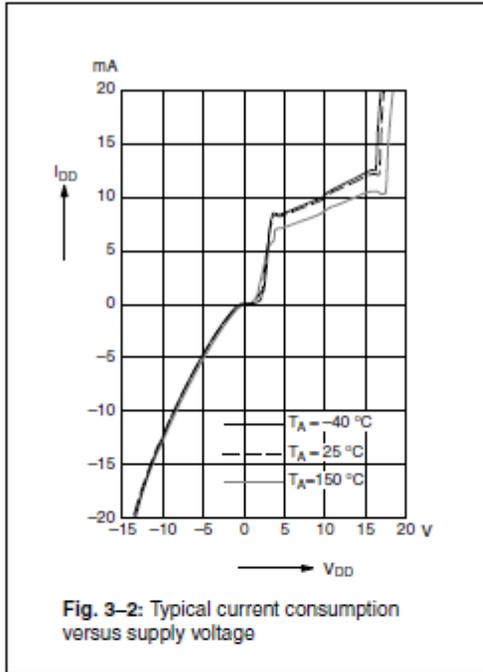
Symbol	Parameter	Pin No.	Min.	Typ.	Max.	Unit	Test Conditions
B_{Offset}	Magnetic Offset	3	-1	0	1	mT	$B = 0\text{ mT}$, $I_{\text{OUT}} = 0\text{ mA}$, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$
$\Delta B_{\text{Offset}}/\Delta T$	Magnetic Offset Change due to T_J		-15	0	15	$\mu\text{T/K}$	$B = 0\text{ mT}$, $I_{\text{OUT}} = 0\text{ mA}$
$B_{\text{Hysteresis}}$	Magnetic Hysteresis		-20	0	20	μT	Range = 30 mT, Filter = 500 Hz

3.8. Open Circuit Detection

at $T_J = -40\text{ }^\circ\text{C}$ to $+170\text{ }^\circ\text{C}$, Typical Characteristics for $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$

Symbol	Parameter	Pin No.	Min.	Typ.	Max.	Unit	Test Conditions
V_{OUT}	Output voltage at open V_{DD} line	3	0	0	0.2	V	$V_{DD} = 5\text{ V}$ $R_L = 10\text{ k}\Omega$ to GND
V_{OUT}	Output voltage at open GND line	3	4.7	4.8	5	V	$V_{DD} = 5\text{ V}$ $R_L = 10\text{ k}\Omega$ to GND

3.9. Typical Characteristics



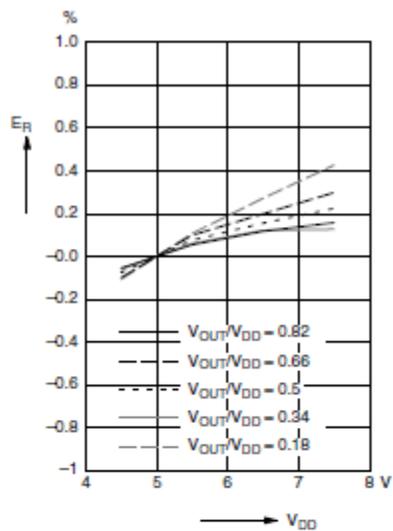


Fig. 3-6: Typical ratiometric error versus supply voltage

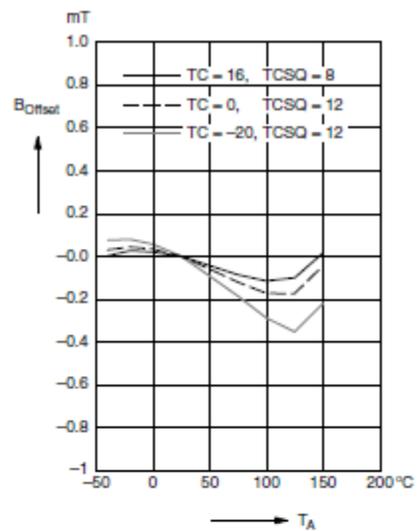


Fig. 3-8: Typical magnetic offset versus ambient temperature

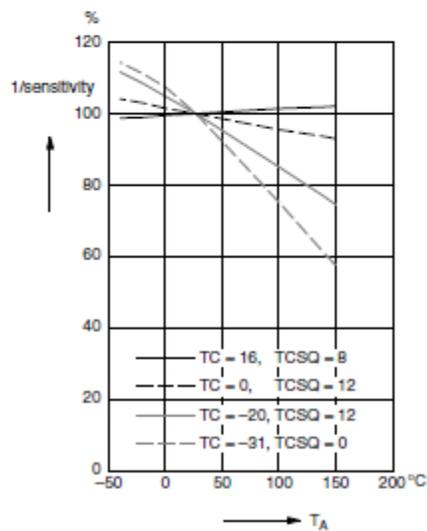


Fig. 3-7: Typical 1/sensitivity versus ambient temperature

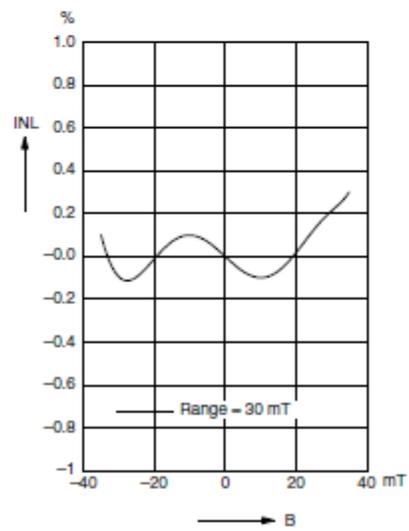


Fig. 3-9: Typical nonlinearity versus magnetic field

4. Application Notes

4.1. Application Circuit

For EMC protection, it is recommended to connect one ceramic 4.7 nF capacitor each between ground and the supply voltage, respectively the output voltage pin. In addition, the input of the controller unit should be pulled-down with a 4.7 kOhm resistor and a ceramic 4.7 nF capacitor.

Please note that during programming, the sensor will be supplied repeatedly with the programming voltage of 12 V for 100 ms. All components connected to the V_{DD} line at this time must be able to resist this voltage.

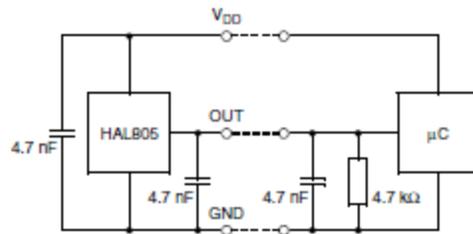


Fig. 4-1: Recommended application circuit

4.2. Use of two HAL 805 in Parallel

Two different HAL 805 sensors which are operated in parallel to the same supply and ground line can be programmed individually. In order to select the IC which should be programmed, both Hall ICs are inactivated by the "Deactivate" command on the common supply line. Then, the appropriate IC is activated by an "Activate" pulse on its output. Only the activated sensor will react to all following read, write, and program commands. If the second IC has to be programmed, the "Deactivate" command is sent again, and the second IC can be selected.

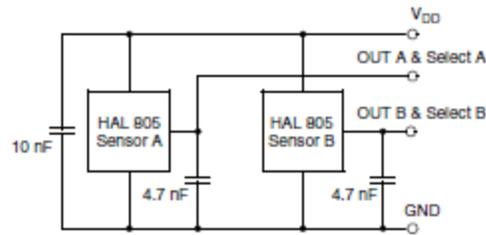


Fig. 4-2: Parallel operation of two HAL 805

4.3. Temperature Compensation

The relationship between the temperature coefficient of the magnet and the corresponding TC and TCSQ codes for linear compensation is given in the following table. In addition to the linear change of the magnetic field with temperature, the curvature can be adjusted as well. For this purpose, other TC and TCSQ combinations are required which are not shown in the table. Please contact Micronas for more detailed information on this higher order temperature compensation.

The HAL 800 and HAL 805 contain the same temperature compensation circuits. If an optimal setting for the HAL 800 is already available, the same settings may be used for the HAL 805.

Temperature Coefficient of Magnet (ppm/K)	TC	TCSQ
400	31	6
300	28	7
200	24	8
100	21	9
0	18	10
-50	17	10
-90	16	11
-130	15	11
-170	14	11
-200	13	12
-240	12	12
-280	11	12
-320	10	13
-360	9	13
-410	8	13
-450	7	13
-500	6	14
-550	5	14
-600	4	14
-650	3	14
-700	2	15
-750	1	15

Temperature Coefficient of Magnet (ppm/K)	TC	TCSQ
-810	0	15
-860	-1	16
-910	-2	16
-960	-3	16
-1020	-4	17
-1070	-5	17
-1120	-6	17
-1180	-7	18
-1250	-8	18
-1320	-9	19
-1380	-10	19
-1430	-11	20
-1500	-12	20
-1570	-13	20
-1640	-14	21
-1710	-15	21
-1780	-16	22
-1870	-17	22
-1950	-18	23
-2030	-19	23
-2100	-20	24
-2180	-21	24
-2270	-22	25
-2420	-24	26
-2500	-25	27
-2600	-26	27
-2700	-27	28
-2800	-28	28
-2900	-29	29
-3000	-30	30
-3100	-31	31

4.4. Undervoltage Behavior

In a voltage range below 4.5 V to approximately 3.5 V, the operation of the HAL 805 is typically given and predictable for the most sensors. Some of the parameters may be out of the specification. Below about 3.5 V, the digital processing is reset. If the supply voltage once again rises above about 3.5 V, a startup time of about 20 μ s elapses for the digital processing to occur. As long as the supply voltage is still above about 3.2 V, the analog output is kept at its last valid value ratiometric to V_{DD} . Below about 3 V, the entire sensor will reset.

4.5. Ambient Temperature

Due to the internal power dissipation, the temperature on the silicon chip (junction temperature T_J) is higher than the temperature outside the package (ambient temperature T_A).

$$T_J = T_A + \Delta T$$

At static conditions, the following equation is valid:

$$\Delta T = I_{DD} \cdot V_{DD} \cdot R_{thJA}$$

For typical values, use the typical parameters. For worst case calculation, use the max. parameters for I_{DD} and R_{th} , and the max. value for V_{DD} from the application.

For $V_{DD} = 5.5$ V, $R_{th} = 200$ KW and $I_{DD} = 10$ mA the temperature difference $\Delta T = 11$ K.

For all sensors, the junction temperature T_J is specified. The maximum ambient temperature T_{Amax} can be calculated as:

$$T_{Amax} = T_{Jmax} - \Delta T$$

4.6. EMC and ESD

The HAL 805 is designed for a stabilized 5 V supply. Interferences and disturbances conducted along the 12 V onboard system (product standards DIN40839 part 1 or ISO 7637 part 1) are not relevant for these applications.

For applications with disturbances by capacitive or inductive coupling on the supply line or radiated disturbances, the application circuit shown in Fig. 4-1 is recommended. Applications with this arrangement passed the EMC tests according to the product standards DIN 40839 part 3 (Electrical transient transmission by capacitive or inductive coupling) and part 4 (Radiated disturbances).

Please contact Micronas for the detailed investigation reports with the EMC and ESD results.

5. Programming of the Sensor

5.1. Definition of Programming Pulses

The sensor is addressed by modulating a serial telegram on the supply voltage. The sensor answers with a serial telegram on the output pin.

The bits in the serial telegram have a different bit time for the V_{DD} -line and the output. The bit time for the V_{DD} -line is defined through the length of the Sync Bit at the beginning of each telegram. The bit time for the output is defined through the Acknowledge Bit.

A logical "0" is coded as no voltage change within the bit time. A logical "1" is coded as a voltage change between 50% and 80% of the bit time. After each bit, a voltage change occurs.

5.2. Definition of the Telegram

Each telegram starts with the Sync Bit (logical 0), 3 bits for the Command (COM), the Command Parity Bit (CP), 4 bits for the Address (ADR), and the Address Parity Bit (AP).

There are 4 kinds of telegrams:

- Write a register (see Fig. 5–2)
After the AP Bit, follow 14 Data Bits (DAT) and the Data Parity Bit (DP). If the telegram is valid and the command has been processed, the sensor answers with an Acknowledge Bit (logical 0) on the output.

- Read a register (see Fig. 5–3)
After evaluating this command, the sensor answers with the Acknowledge Bit, 14 Data Bits, and the Data Parity Bit on the output.
- Programming the EEPROM cells (see Fig. 5–4)
After evaluating this command, the sensor answers with the Acknowledge Bit. After the delay time t_w , the supply voltage rises up to the programming voltage.
- Activate a sensor (see Fig. 5–5)
If more than one sensor is connected to the supply line, selection can be done by first deactivating all sensors. The output of all sensors will be pulled to ground by the internal 10 k Ω resistors. With an Activate pulse on the appropriate output pin, an individual sensor can be selected. All following commands will only be accepted from the activated sensor.

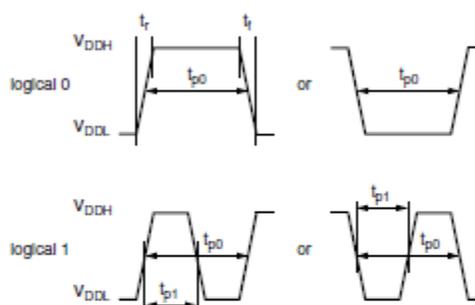


Fig. 5–1: Definition of logical 0 and 1 bit

Note: Please contact your supplier if programming board firmware is older than version 3.50.

Table 5–1: Telegram parameters

Symbol	Parameter	Pin	Min.	Typ.	Max.	Unit	Remarks
V_{DDL}	Supply Voltage for Low Level during Programming	1	5	5.6	6	V	
V_{DDH}	Supply Voltage for High Level during Programming	1	6.8	8.0	8.5	V	
t_r	Rise time	1			0.05	ms	
t_f	Fall time	1			0.05	ms	
t_{p0}	Bit time on V_{DD}	1	1.7	1.75	1.8	ms	t_{p0} is defined through the Sync Bit
t_{pOUT}	Bit time on output pin	3	2	3	4	ms	t_{pOUT} is defined through the Acknowledge Bit
t_{p1}	Voltage Change for logical 1	1, 3	50	65	80	%	% of t_{p0} or t_{pOUT}
V_{DDPROG}	Supply Voltage for Programming the EEPROM	1	12.4	12.5	12.6	V	
t_{PROG}	Programming Time for EEPROM	1	95	100	105	ms	
t_{rp}	Rise time of programming voltage	1	0.2	0.5	1	ms	

Table 5-1: Telegram parameters, continued

Symbol	Parameter	Pin	Min.	Typ.	Max.	Unit	Remarks
t_p	Fall time of programming voltage	1	0		1	ms	
t_w	Delay time of programming voltage after Acknowledge	1	0.5	0.7	1	ms	
V_{act}	Voltage for an Activate pulse	3	3	4	5	V	
t_{act}	Duration of an Activate pulse	3	0.05	0.1	0.2	ms	

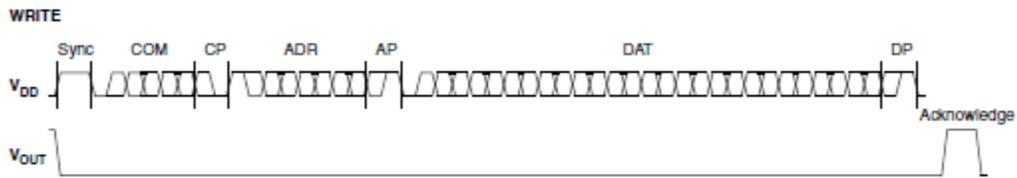


Fig. 5-2: Telegram for coding a Write command

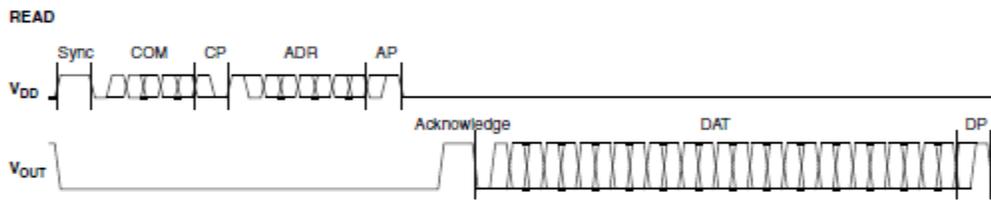


Fig. 5-3: Telegram for coding a Read command

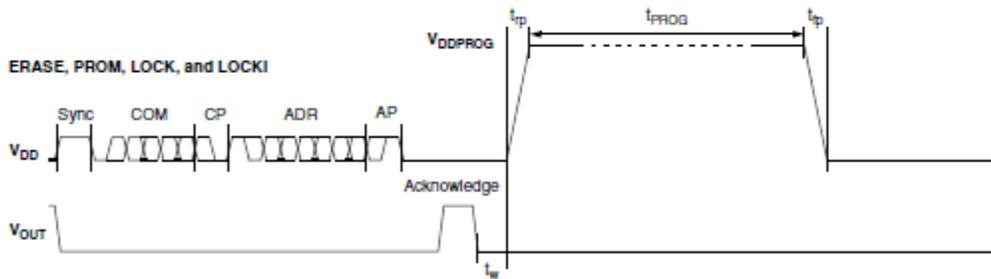


Fig. 5-4: Telegram for coding the EEPROM programming

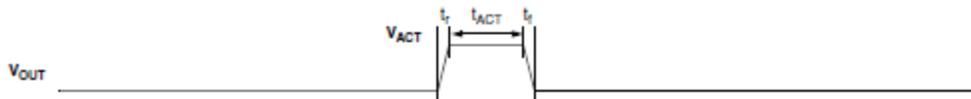


Fig. 5-5: Activate pulse

5.3. Telegram Codes

Sync Bit

Each telegram starts with the Sync Bit. This logical "0" pulse defines the exact timing for t_{p0} .

Command Bits (COM)

The Command code contains 3 bits and is a binary number. Table 5–2 shows the available commands and the corresponding codes for the HAL 805.

Command Parity Bit (CP)

This parity bit is "1" if the number of zeros within the 3 Command Bits is uneven. The parity bit is "0", if the number of zeros is even.

Address Bits (ADR)

The Address code contains 4 bits and is a binary number. Table 5–3 shows the available addresses for the HAL 805 registers.

Address Parity Bit (AP)

This parity bit is "1" if the number of zeros within the 4 Address bits is uneven. The parity bit is "0" if the number of zeros is even.

Data Bits (DAT)

The 14 Data Bits contain the register information.

The registers use different number formats for the Data Bits. These formats are explained in Section 5.4.

In the Write command, the last bits are valid. If, for example, the TC register (6 bits) is written, only the last 6 bits are valid.

In the Read command, the first bits are valid. If, for example, the TC register (6 bits) is read, only the first 6 bits are valid.

Data Parity Bit (DP)

This parity bit is "1" if the number of zeros within the binary number is even. The parity bit is "0" if the number of zeros is uneven.

Acknowledge

After each telegram, the output answers with the Acknowledge signal. This logical "0" pulse defines the exact timing for t_{pOUT} .

Table 5–2: Available commands

Command	Code	Explanation
READ	2	read a register
WRITE	3	write a register
PROM	4	program all nonvolatile registers (except the lock bits)
ERASE	5	erase all nonvolatile registers (except the lock bits)
LOCKI	6	lock Micronas lockable register
LOCK	7	lock the whole device and switch permanently to the analog-mode
Please note: The Micronas lock bit (LOCKI) has already been set during production and cannot be reset.		

5.4. Number Formats

Binary number:

The most significant bit is given as first, the least significant bit as last digit.

Example: 101001 represents 41 decimal.

Signed binary number:

The first digit represents the sign of the following binary number (1 for negative, 0 for positive sign).

Example: 0101001 represents +41 decimal
1101001 represents -41 decimal

Two-complementary number:

The first digit of positive numbers is "0", the rest of the number is a binary number. Negative numbers start with "1". In order to calculate the absolute value of the number, calculate the complement of the remaining digits and add "1".

Example: 0101001 represents +41 decimal
1010111 represents -41 decimal

Table 5-3: Available register addresses

Register	Code	Data Bits	Format	Customer	Remark
CLAMP-LOW	1	10	binary	read/write/program	Low clamping voltage
CLAMP-HIGH	2	11	binary	read/write/program	High clamping voltage
VOQ	3	11	two compl. binary	read/write/program	
SENSITIVITY	4	14	signed binary	read/write/program	
MODE	5	6	binary	read/write/program	Range and filter settings
LOCKR	6	1	binary	lock	Lock Bit
ADC-READOUT	7	14	two compl. binary	read	
TC	11	6	signed binary	read/write/program	
TCSQ	12	5	binary	read/write/program	
DEACTIVATE	15	12	binary	write	Deactivate the sensor

Micronas registers (read only for customers)

Register	Code	Data Bits	Format	Remark
OFFSET	8	5	two compl. binary	ADC offset adjustment
FOSCAD	9	5	binary	Oscillator frequency adjustment
SPECIAL	13	8		special settings
IMLOCK	14	1	binary	Lock Bit for the Micronas registers

5.5. Register Information

CLAMP-LOW

- The register range is from 0 up to 1023.
- The register value is calculated by:

$$CLAMP-LOW = \frac{Low\ Clamping\ Voltage}{V_{DD}} * 2048$$

CLAMP-HIGH

- The register range is from 0 up to 2047.
- The register value is calculated by:

$$CLAMP-HIGH = \frac{High\ Clamping\ Voltage}{V_{DD}} * 2048$$

VOQ

- The register range is from –1024 up to 1023.
- The register value is calculated by:

$$VOQ = \frac{V_{OQ}}{V_{DD}} * 1024$$

SENSITIVITY

- The register range is from –8192 up to 8191.
- The register value is calculated by:

$$SENSITIVITY = \frac{Sensitivity}{2048}$$

TC and TCSQ

- The TC register range is from –31 up to 31.
- The TCSQ register range is from 0 up to 31.

Please refer Section 4.2. on page 18 for the recommended values.

MODE

- The register range is from 0 up to 63 and contains the settings for FILTER and RANGE:

$$MODE = FILTER * 8 + RANGE$$

Please refer Section 2.2. on page 7 for the available FILTER and RANGE values.

ADC-READOUT

- This register is read only.
- The register range is from –8192 up to 8191.

DEACTIVATE

- This register can only be written.
- The register has to be written with 2063 decimal (80F hexadecimal) for the deactivation.
- The sensor can be reset with an Activate pulse on the output pin or by switching off and on the supply voltage.

5.6. Programming Information

If the content of any register (except the lock registers) is to be changed, the desired value must first be written into the corresponding RAM register. Before reading out the RAM register again, the register value must be permanently stored in the EEPROM.

Permanently storing a value in the EEPROM is done by first sending an ERASE command followed by sending a PROM command. The address within the ERASE and PROM commands is not important. ERASE and PROM act on all registers in parallel.

If all HAL 805 registers are to be changed, all writing commands can be sent one after the other, followed by sending one ERASE and PROM command at the end.

Note: For production and qualification tests, it is recommended to set the LOCK bit after final adjustment and programming of HAL 805. The LOCK function is active after the next power-up of the sensor.
