



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRONICA**

SISTEMA DINÁMICO DE PESADO.

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECATRÓNICO**

DIEGO ARMANDO SALAZAR CASTILLO

DIRECTOR: PHD. DANIEL MIDEROS

Quito, Septiembre 2012

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2012
Reservados todos los derechos de reproducción.

DECLARACIÓN

Yo **DIEGO ARMANDO SALAZAR CASTILLO**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Diego Armando Salazar Castillo

C.I. 1719502716

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Sistema dinámico de pesado**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero Mecatrónico** fue desarrollado por **Diego Salazar**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.

Daniel Mideros

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 1713177325

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres Ruby y Rigoberto, gracias a ellos soy la persona que soy ya que ellos me han inculcado muy buenos valores y me han apoyado en los buenos y malos momentos.

A mis hermanos Kleber, Christan y David, quien les tengo mucho cariño y demostrarles que a pesar de todo depende de uno mismo para seguir adelante ya que todo lo que uno se propone se lo puede conseguir con amor, esfuerzo y constancia.

A mis sobrinos Samantha y Mateo, a quienes quiero mucho y espero ser un ejemplo para ellos.

A mis amigos y a todas esas personas que confiaron en mí y me brindaron su apoyo.

AGRADECIMIENTO

Antes de todo el desarrollo de este proyecto, quiero agradecer a Dios, a ese ser supremo que me ha dado la inteligencia y sabiduría necesaria para poder realizar mis estudios universitarios y proyecto de titulación y así seguir adelante durante todas las experiencias vividas.

Agradezco a todas las personas que me apoyaron y confiaron en mí, a mis padres, a mis tíos, a mis primos y a mis amigos que estuvieron alentándome siempre para seguir adelante con mis estudios

A mi tío Mario Salazar y a mi tía Gloria Carranza, quienes me apoyaron en el transcurso de mis estudios universitarios y pusieron su confianza en mí.

Al señor Favio Orozco, quien me prestó su taller para realizar mi proyecto y apoyo con su conocimiento y experiencia en bandas transportadoras.

Al Ing. Jorge Terán y al Ing. Raúl Loor quienes me apoyaron con su conocimiento y experiencia, en el desarrollo de este proyecto.

Al Doc. Daniel Mideros, mi tutor y amigo por guiarme durante todo el proceso de desarrollo de este proyecto de titulación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE ECUACIONES	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO DE REFERENCIA.....	5
2.1 SISTEMAS DE PESAJE.....	6
2.2 MOTORES ELÉCTRICOS	10
2.3 VARIADORES DE FRECUENCIA (VDF)	17
2.4 SISTEMA DE CONTROL	22
3. METODOLOGÍA Y MATERIALES	37
3.1 METODOLOGÍA MECATRÓNICA	38
3.1.1 ANÁLISIS DEL REQUERIMIENTO DEL PRODUCTO	39
3.1.2 DISEÑO MECÁNICO	39
3.1.3 DISEÑO DEL CIRCUITO DE POTENCIA.....	40
3.1.4 DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRONICO DE CONTROL	40
3.2 MATERIALES.....	41
4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.....	47
4.1 DISEÑO DE LA BANDA TRANSPORTADORA	48
4.1.1 ESTUDIO DE ESFUERZOS EN LA BANDA TRANSPORTADORA	52

4.2 SISTEMA DE CONTROL	53
4.3 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA.....	58
4.3.1 SISTEMA MECÁNICO.....	58
4.3.2 SISTEMA ELÉCTRICO.....	62
4.3.3 SISTEMA ELECTRÓNICO	64
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	66
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
6.1 CONCLUSIONES.....	75
6.2 RECOMENDACIONES	75
BIBLIOGRAFÍA.....	76
ANEXOS	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Nº 2. 1 Banda Pesaje Dinámico	9
Figura Nº 2. 2 Banda Transportadora	9
Figura Nº 2. 3 Principios de operación de un motor de inducción.....	10
Figura Nº 2. 4 Componentes de un motor	12
Figura Nº 2. 5 Motor Transtecno TS 6324B14	12
Figura Nº 2. 6 Relación voltaje frecuencia suministrada por un variador de frecuencia.	18
Figura Nº 2. 7 Principio de operación de modulación del ancho del pulso.....	20
Figura Nº 2. 8 Diagrama esquemático del variador tipo modulación del ancho del pulso (PWM).....	21
Figura Nº 2. 9 Efecto Hall.....	23
Figura Nº 2. 10 Símbolo del Amplificador Operacional	24
Figura Nº 2. 11 Amplificador Diferencial.....	25
Figura Nº 2. 12 Esquema de conexión del AD620	25
Figura Nº 2. 13 Esquema simplificado del AD602.....	26
Figura Nº 2. 14 Acondicionamiento lineal de la señal y en recuadro la función de transferencia.....	27
Figura Nº 2. 15 Un filtro pasa-bajas sólo permite el paso de señales con frecuencias menores a f_l	29
Figura Nº 2. 16 Muestreo de la señal analógica.....	30
Figura Nº 2. 17 Muestreo (Sampling)	31
Figura Nº 2. 18 Cuantización de la señal analógica.....	32
Figura Nº 2. 19 Codificación de la señal en código binario	33
Figura Nº 2. 20 Diagrama de Bloques de Programación estructurada.....	36
Figura Nº 3. 1 Metodología Mecatrónica.....	38
Figura Nº 3. 2 Diagrama del sistema de control electrónico.....	41
Figura Nº 3. 3 Motor Reductor	42
Figura Nº 3. 4 Variador de Frecuencia.....	43
Figura Nº 3. 5 Banda.....	44
Figura Nº 3. 6 Transformador de corriente.....	45

Figura Nº 3. 7	Especificaciones del Transformador de Corriente.....	45
Figura Nº 3. 8	PIC 16F877A.....	46
Figura Nº 4. 1	Diseño de la Banda Transportadora.....	48
Figura Nº 4. 2	Diseño banda transportadora solidworks.	51
Figura Nº 4. 3	Estudio de esfuerzos en solidworks con 100N de Fuerza....	52
Figura Nº 4. 4	Estudio de esfuerzos en solidworks con 1000N de fuerza...	53
Figura Nº 4. 5	Esquema del circuito eléctrico del control de velocidad de la banda transportadora.....	55
Figura Nº 4. 6	Esquema del circuito electrónico del sensado de señal de la variación de corriente del motor.....	57
Figura Nº 4. 7	Rodillos de la banda transportadora.....	59
Figura Nº 4. 8	Mesa de la banda transportadora.....	59
Figura Nº 4. 9	Ensamble de los tambores y mecanismo tensor.....	60
Figura Nº 4. 10	Mecanismo tensor.....	60
Figura Nº 4. 11	Ensamble de la patas de la banda transportadora.....	61
Figura Nº 4. 12	Ensamble del motor en la banda transportadora.....	62
Figura Nº 4. 13	Dispositivos de control de velocidad de la banda transportadora.....	62
Figura Nº 4. 14	Caja control de velocidad de la banda transportadora.....	63
Figura Nº 4. 15	Cableado de control de velocidad de la banda transportadora.....	63
Figura Nº 4. 16	Ensamble del control de velocidad en la banda transportadora.....	64
Figura Nº 4. 17	Esquema 3D de la placa del circuito de control del sensado de señal de la variación de corriente del motor.....	66
Figura Nº 4. 18	Pruebas y calibración en la banda	67
Figura Nº 5. 1	Pruebas en el programa hecho en microcode con las siguientes características; Voltaje de entrada 12V, Voltaje de referencia 62mV, frecuencia del variador 40 Hz.....	70

Figura Nº 5. 2 Pruebas en el programa hecho en mikrobasic con las siguientes características; Voltaje de entrada 12V, Voltaje de referencia 62mV, frecuencia del variador 40 Hz.	71
Figura Nº 5. 3 Promedios de los Pruebas de los programa hechos en microcode y mikrobasic respectivamente con las siguientes características; Voltaje de entrada 12V, Voltaje de referencia 62mV, frecuencia del variador 40 Hz.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla Nº 2. 1 Velocidad síncrona de motores de inducción.	14
Tabla Nº 2. 2 Conversión a código binario.	33
Tabla Nº 2. 3 Conversión a código binario de la codificación	34
Tabla Nº 3. 1 Características del Motor Trifásico	42
Tabla Nº 3. 2 Características del variador de frecuencia.....	43
Tabla Nº 3. 3 Construcción de la banda.	44
Tabla Nº 3. 4 Datos técnicos de la banda.....	44
Tabla Nº 3. 5 Características PIC 16F877A	46
Tabla Nº 5. 1 Ejemplo tabla microcode para la prueba 2 características del sistema.....	68
Tabla Nº 5. 2 Ejemplo tabla mikrobasic para la prueba 4 características del sistema.....	69
Tabla Nº 5. 3 Pesos estimados, prueba final.....	73

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación N° 2.1 Corriente Nominal de un motor.....	13
Ecuación N° 2.2 Velocidad sincrónica de un motor.....	13
Ecuación N° 2.3 Deslizamiento de un motor.....	14
Ecuación N° 2.4 HP de un motor.....	16
Ecuación N° 2.5 Voltaje Hall.....	23
Ecuación N° 2.6 Ganancia del amplificador de instrumentación.....	28
Ecuación N° 2.7 Resistencia externa de ganancia del amplificador de instrumentación.....	28
Ecuación N° 4.1 Relación de diámetros en los tambores de una banda transportadora.....	49
Ecuación N° 4.2 RPM en una banda transportadora.....	49
Ecuación N° 4.3 Longitud total de la banda.....	49
Ecuación N° 4.4 RPM de un motor trifásico.....	50
Ecuación N° 4.5 Potencia de un motor.....	51
Ecuación N° 4.6 Esfuerzo normal.....	52

RESUMEN

Los sistemas de pesaje dinámico ofrecen diversas ventajas que los hacen atractivos para muchas aplicaciones. En la mayoría de los casos, representan un incremento de productividad y una simplificación del flujo productivo o logístico dentro de la industria.

Normalmente se realiza pesaje dinámico en las bandas o cintas transportadoras para lo cual en el presente proyecto se investiga una nueva opción para la implementación de sistemas dinámicos de pesado en una banda transportadora.

Al analizar los efectos que tiene una carga sobre un sistema motriz, se determinó la existencia de una variación de corriente en el motor del mismo, debido al cambio proporcional del torque necesario para compensar la fuerza aplicada al sistema. Por esta razón se planteó estudiar la variación de corriente y buscar una relación con respecto a la carga aplicada en el sistema para determinar de una manera rápida el peso de la carga aplicada sobre la banda transportadora.

Con este fin se diseñó y construyó un sistema basado en una banda transportadora para alimentos, buscando una aplicación real. De la misma manera, se implementó un circuito de sensado de la variación de corriente con respecto a la carga en la banda. Esta señal se procesó para posibilitar la presentación del peso aplicado.

Como resultado se obtuvo que la relación de la variación de corriente y el peso es lineal con un coeficiente de determinación, $R^2=0,99$, lo que demuestra la factibilidad para la implementación de un sistema de estas características. Sin embargo, debido a la precisión necesaria en el sistema mecánico y en la adquisición de las señales los resultados dieron el peso aplicado con un error del 5%, que a pesar de ser alto para fines comerciales, como un primer paso en el diseño de sistemas de pesado dinámico utilizando la variación de corriente en el motor es totalmente aceptable.

ABSTRACT

Dynamic weighing systems offer several advantages that make them attractive for many applications. In most cases, represent an increase of productivity and simplify the production or logistic flow within the industry.

Usually done in dynamic weighing conveyor belts or for which in the present project investigates a new option for deploying heavy dynamic systems on a conveyor belt.

In analyzing the effects of a load on a motor system, we investigated the existence of a current change in the engine of the same, due to the proportional change in the torque needed to compensate the force applied to the system. Therefore this study was raised current variation and find a relationship with respect to the applied load in the system to quickly determine the weight of applied load on the conveyor.

For this purpose it was designed and built a system based on a conveyor belt for food, looking for a real application. Similarly, a circuit is implemented sensing the variation of current with respect to the load in the band. This signal was processed to enable the presentation of the weight applied.

It was observed that the ratio of current variation and weight is linear with a coefficient of determination, $R^2 = 0.99$, demonstrating the feasibility of implementing a system like this. However, due to the precision needed in the mechanical system and the acquisition of the signals given weight results applied with a 5% error, which despite being high for commercial purposes, as a first step in the design of dynamic weighing systems using the variation of motor current is acceptable.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de pesaje dinámico son sistemas diseñados para ser colocado en las bandas transportadoras para el pesaje de sólidos áridos a granel. El equipo está diseñado para reaccionar solamente con las componentes verticales de las fuerzas que le están siendo aplicadas.

Se definen los sistemas de pesaje dinámico en dos grupos diferenciados:

Sistemas de pesaje fijos con cargas en movimiento (SPF), se caracterizan por tener el receptor de carga y los sensores de peso estáticos, mientras que la carga que se pretende medir está en movimiento cuando se efectúa la medida. Puede tratarse de cargas discretas (vehículos, latas de conserva, etc.), material sólido a granel o polvo (detergente, cemento, tabaco, etc.), o bien líquidos.

Sistemas de pesaje a bordo (SPB), es un sistema de pesaje integrado en el vehículo, dispositivo de manipulación o mecanismo de elevación que sustenta la carga que se pretende medir el peso.

Estos sistemas representan una ventaja significativa en relación a los sistemas convencionales de pesado ya que ofrecen diversas ventajas que los hacen atractivos para muchas aplicaciones. En la mayoría de los casos, representan un incremento de productividad y una simplificación del flujo productivo o logístico dentro de la industria.

Sin embargo, es poca la investigación en el país para el desarrollo de sistemas de estas características, inclusive, a nivel internacional, poco interés se ha prestado a la posibilidad de determinar las cargas en motores debido a la variación de corriente.

Para el desarrollo de un sistema de pesado dinámico que evalúe la variación de corriente en relación al peso aplicado, es necesario diseñar y construir un sistema de transporte, donde al aplicar estos principios se pueda determinar el peso del producto en la banda.

En busca de una aplicación real al sistema diseñado se optó por la implementación de una banda transportadora para productos cárnicos.

Es también de suma importancia tener presentes ciertas características técnicas de los sistemas de pesado. Así, en los sistemas de pesado dinámico se requiere tener una velocidad constante para que no existan perturbaciones en los cálculos previos que se hará con la señal que dará el sensor para optimizar el peso del producto.

Para el sistema de sensado y el tratamiento de la señal es necesario diseñar e implementar un circuito capaz de adquirir, procesar y relacionar la variación de corriente con el peso aplicado.

De esta manera, para el presente proyecto de investigación se plantearon los siguientes objetivos:

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema dinámico de pesado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar la posibilidad de medir cargas aplicadas a un motor tomando como referencia la variación de corriente.
2. Diseñar un sistema de sensado de corriente y procesamiento de la señal.
3. Determinar la factibilidad de un sistema dinámico de pesado, basado en la variación de corriente del motor.

El proyecto en su totalidad es el resultado del estudio de un sistema dinámico de pesado, y está estructurado de la siguiente manera: En el primer capítulo se ha hecho la investigación del problema en donde se fue desarrollando la sistematización y la solución con la cual podemos plantear y empezar con la investigación de este proyecto, dando una introducción a los

sistemas dinámicos de pesado y determinando objetivos y viabilidad del proyecto.

En el segundo capítulo se muestra los conceptos básicos que se utilizan en un sistema dinámico de pesado para lo cual se debe tener conocimientos para implementar un sistema de control para la banda transportadora, actuadores y dispositivos de control ya que se tiene que tener conocimiento de sistemas de control tanto de potencia como de electrónica ya que se debe diseñar sistema de sensado y procesamiento de señales de la misma.

En el tercer capítulo se hace el estudio de requerimientos de nuestro sistema para su funcionamiento en donde observaremos los materiales que lo conforman, tanto mecánicos, eléctricos y electrónicos previo a su construcción.

En el cuarto capítulo se hace el desarrollo de los cálculos para la construcción, en donde diseñamos los sistema mecánicos, eléctricos y electrónicos de sensado haciendo la simulación necesaria previo a su construcción para no tener problemas en el momento de tener todas las partes acopladas y se fue desarrollando las calibraciones necesarias para poder hacer las pruebas que necesitaremos para tener los resultados estimados.

En el quinto capítulo se ha hecho el análisis de resultados teniendo las tablas de las muestras tomadas por lo cual sacamos la ecuación que relaciona a la variación de corriente con el peso, obteniendo los resultados deseados y sacando el margen de error del sistema.

En el sexto capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron en el transcurso de la investigación del proyecto.

2. MARCO DE REFERENCIA

Se realiza el estudio teórico e investigación preliminar para el sustento del proceso, diseño e implementación del proyecto. Los conceptos necesarios para el desarrollo de este proyecto, es el diseño y construcción de sistemas de pesaje dinámico en donde la mayoría de los casos se utiliza bandas transportadoras donde se verá la teoría y análisis del sistema de pesaje en una banda transportadora, luego observaremos que tipos de sistemas existen.

2.1 SISTEMAS DE PESAJE

Un sistema de pesaje industrial consiste en una serie de balanzas para usos muy diversos dentro de cualquier empresa donde constantemente estén pesando mercancías de todo tipo. Estos artefactos son muy precisos y están diseñados para soportar el peso de grandes cantidades de productos, de manera que facilita el control de los mismos en una compañía a toda hora.

Uno de los sistemas de pesaje industrial más utilizados por las empresas, son los que constan de las básculas monocélulas, las cuales funcionan de manera electrónica con una célula NiCr que también es resistente al óxido. Los materiales para su fabricación constan de un plato y marcos tubulares de acero inoxidable. Estas básculas cuentan con un visor electrónico para saber el peso de lo que se quiere medir. Entre sus accesorios se pueden encontrar otros visores para contar piezas y con memoria de almacenamiento para gestionar almacenes, los cuales pueden adquirirse por separado. Son muchas las medidas con las que el interesado puede conseguir esta clase de báscula, las cuales van desde 400 mm de largo por 400 mm de ancho hasta 800 mm de largo por 800 mm de ancho. Su capacidad de soporte de peso va desde 15 kg hasta 600 kg. (Sistemas de pesaje industrial: tipos y usos, Recuperado 8 del 03 de 2012, <http://es.overblog.com/Sistemasdepesajeindustrialtiposyusos1228321767art260138.html>).

Otro tipo de sistema de pesaje industrial, son las básculas sobre-suelo, que como su nombre lo indica, se colocan encima del suelo y sirven para pesar grandes cantidades de productos. Cuentan con un chasis inoxidable de una célula, indicador de peso iluminado automáticamente, plataforma de acero pintada integrada a una estructura de bajo perfil.

Hay diversas medidas de esta clase de básculas, encontrándose algunos modelos que pueden tener unas dimensiones de 1.500 mm de ancho por 1.500 mm de largo y soportar hasta 3.000 kg de peso.

Con esas mismas dimensiones antes mencionadas, están las básculas sobre-suelo empotradas, que se ubican al ras del piso, lo que contribuye al ahorro del espacio físico en las empresas.

En la industria ganadera y agrícola se usa mucho esta clase de sistemas de pesaje. Por ejemplo: En una hacienda o finca se deben pesar muchos animales como vacas, caballos, cerdos, ovejas, entre otros animales que posteriormente serán procesados. A nivel de la agricultura, cuando se recoge la cosecha siempre es bueno llevar un control de lo que se ha recolectado por lo que es útil una báscula de este tipo. En las aduanas se usan las básculas para pesar grandes cantidades de productos que llegan a un país por vía marítima o aérea. Y en los peajes existen básculas para pesar vehículos, en especial góndolas que transportan containers, siendo otro de los usos que se le dan a estos sistemas de pesaje industrial. (Sistemas de pesaje industrial: tipos y usos, Recuperado 8 del 03 de 2012, <http://es.overblog.com/Sistemasdepesajeindustrialtiposyusos1228321767art260138.html>).

Los sistemas de pesaje dinámico ofrecen diversas ventajas que los hacen atractivos para muchas aplicaciones. En la mayoría de los casos, representan un incremento de productividad y una simplificación del flujo productivo o logístico dentro de la industria.

Se definen los sistemas de pesaje dinámico en dos grupos diferenciados:

Sistemas de pesaje fijos con cargas en movimiento (SPF) Se caracterizan por tener el receptor de carga y los sensores de peso estáticos, mientras que la carga que se pretende medir está en movimiento cuando se efectúa la medida. Puede tratarse de cargas discretas (vehículos, latas de conserva, etc.), material sólido a granel o polvo (detergente, cemento, tabaco, etc.), o bien líquidos.

Sistemas de pesaje a bordo (SPB) El sistema de pesaje está integrado en el vehículo, dispositivo de manipulación o mecanismo de elevación que sustenta la carga que se pretende medir el peso.

El equipo de pesaje continuo es un sistema diseñado para ser colocado en los transportadores de banda para el pesaje de sólidos áridos a granel. El equipo está diseñado para reaccionar solamente con las componentes verticales de las fuerzas que le están siendo aplicadas. En esencia este sistema consiste en una estructura de apoyo fija (estática) y una estructura viva (dinámica). La estructura estática es el apoyo principal del equipo, que a su vez sirve de apoyo a la estructura viva. La estructura dinámica sirve de apoyo al rodillo y transfiere el peso del producto a la relación del torque del motor que mueve la banda. (Alcober, X)

Como lo anterior mente mencionado los sistemas de pesajes dinámicos utilizan bandas transportadoras donde: Una banda transportadora es un sistema de transporte continuo, se usan principalmente para transportar materiales granulados, agrícolas e industriales, tales como cereales, carbón, minerales, frutas, cárnicos, etc.

Una banda transportadora está formada básicamente por una banda continua que se mueve entre dos tambores.

La banda es arrastrada por fricción por uno de los tambores, que a su vez es accionado por un motor. El otro tambor suele girar libre, sin ningún tipo de accionamiento, y su función es servir de retorno a la banda. La banda es soportada por rodillos entre los dos tambores.(ESCUELA PROVINCIAL DE EDUCACIÓN TECNICA N° 1, 2005)



Figura Nº 2. 1 Banda Pesaje Dinámico

Fuente: El Directorio Industrial, Recuperado 29 de 05 de 2012,
<http://www.logismarket.cl/pesamatic/chequeadordepesoconvelocidadvariable/15600912571460814258p.html?source=IMG#images>.

Debido al movimiento de la banda el material depositado sobre la banda es transportado hacia el tambor de accionamiento donde la banda gira y da la vuelta en sentido contrario. En esta zona el material depositado sobre la banda es vertido fuera de la misma debido a la acción de la gravedad. (ESCUELA PROVINCIAL DE EDUCACIÓN TECNICA Nº 1, 2005)

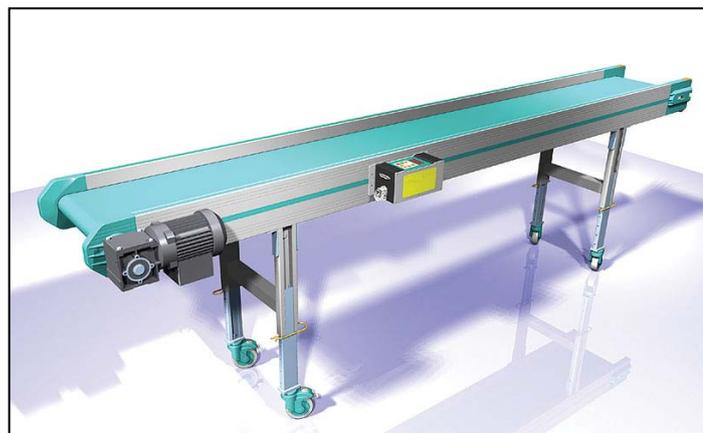


Figura Nº 2. 2 Banda Transportadora

2.2 MOTORES ELÉCTRICOS

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores.

Los motores de corriente alterna y los de corriente continua se basan en el mismo principio de funcionamiento, el cual establece que si un conductor por el que circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, éste tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético. El conductor tiende a funcionar como un electroimán debido a la corriente eléctrica que circula por el mismo adquiriendo de esta manera propiedades magnéticas, que provocan, debido a la interacción con los polos ubicados en el estator, el movimiento circular que se observa en el rotor del motor. Partiendo del hecho de que cuando pasa corriente por un conductor produce un campo magnético, además si lo ponemos dentro de la acción de un campo magnético potente, el producto de la interacción de ambos campos magnéticos hace que el conductor tienda a desplazarse produciendo así la energía mecánica. Dicha energía es comunicada al exterior mediante un dispositivo llamado flecha. (Moreno, A)

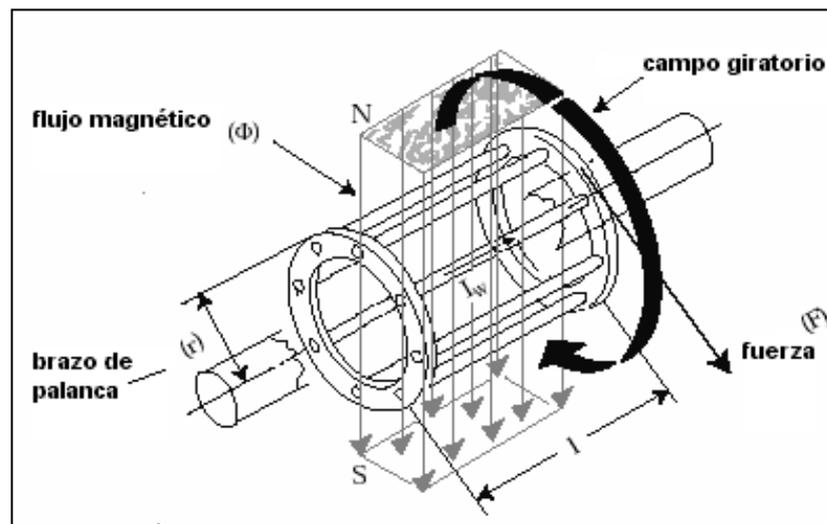


Figura Nº 2. 3 Principios de operación de un motor de inducción

Fuente: (Hernández, M, 2011).

COMPONENTES DE UN MOTOR

Las partes principales de un motor de inducción jaula de ardilla son las siguientes:

- Estator

Donde se colocan los devanados del motor, esta parte no tiene movimiento y es donde se produce el campo magnético.

Comúnmente se fabrica en acero colado y en su interior se colocan paquetes de láminas delgadas de acero al silicio, que es donde se alojan las bobinas para crear el campo magnético.

La razón de utilizar acero al silicio es su alta permeabilidad al flujo magnético. Es decir, la facilidad de conducir el flujo, con lo que las pérdidas de flujo se disminuyen considerablemente.

- Rotor

Es la parte giratoria del motor, está formado por láminas delgadas de acero al silicio unidas con barras de aluminio y se coloca encima de la flecha del motor, que es la que trasmite el movimiento.

- Tapa anterior.

Es la que cubre los devanados del estator y aloja el balero de carga del motor.

- Tapa posterior.

Cubre también la parte posterior de los devanados del estator y aloja el balero posterior.

- Cubierta del ventilador.

Cubre el ventilador de enfriamiento del motor.

- Baleros o rodamientos.

Sirven para soportar a la flecha y transmitir el par motor sin fricción. se denomina balero lado carga el que se ubica hacía donde se transmite el movimiento y balero posterior al opuesto. (Hernández, M, 2011).

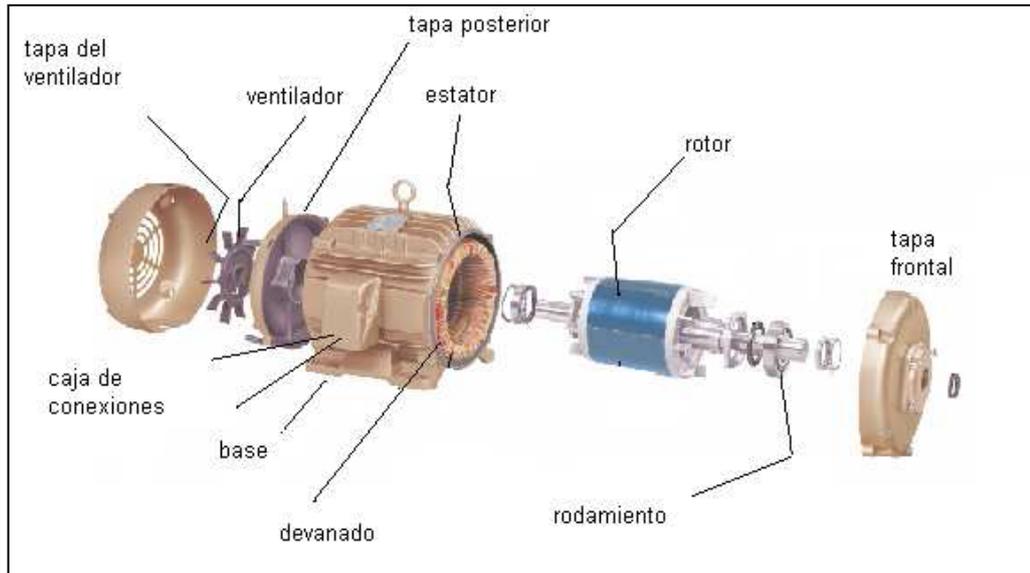


Figura Nº 2. 4 Componentes de un motor

Fuente: (Hernández, M, 2011).



Figura Nº 2. 5 Motor Transtecno TS 6324B14

Fuente: www.transtecno.com

CORRIENTE NOMINAL DE UN MOTOR.

La corriente nominal indicada en la placa de un motor de inducción, se refiere a la corriente absorbida por el motor operando a plena carga. La intensidad de corriente de un motor trifásico puede calcularse fácilmente aplicando la siguiente fórmula: (Hernández, M, 2011).

$$I = \frac{hp \times 746}{\sqrt{3 \times V \times \eta \times F.P.}} \quad (2.1)$$

Donde:

I= corriente

η = eficiencia del motor

V= Voltaje entre fases

FP= factor de potencia

HP = caballos de potencia

Como se puede observar, el factor de potencia es determinante para calcular la corriente del motor de inducción.

VELOCIDAD DE ROTACIÓN EN UN MOTOR

La velocidad con la que gira el campo magnético del estator (n_s) se conoce como velocidad síncrona (o sincrónica) del motor y se deduce que dicha velocidad síncrona solo se puede cambiar si se modifica la frecuencia o el número de polos.

La velocidad de giro de este campo magnético en revoluciones por minuto (RPM), es:

$$n_s = \frac{120 \times f}{p} \quad (2.2)$$

Donde:

f = Frecuencia de alimentación [Hz]

p = Número de polos del devanado del estator.

A esta diferencia entre la velocidad de sincronismo o del campo del estator y la velocidad del rotor se le denomina deslizamiento, y se expresa normalmente como porcentaje. (Hernández, M, 2011).

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100 \quad (2.3)$$

Donde:

S = deslizamiento [m/s²]

N_s = velocidad de sincronismo

N_r = velocidad real

Tabla Nº 2. 1 Velocidad síncrona de motores de inducción.

Numero de polos	Velocidad Síncrona(RPM)
2	3600
4	1800
6	1200
8	900

PAR EN LOS MOTORES DE INDUCCIÓN

Existen varios tipos de motores, cada uno con características particulares que permiten obtener un servicio específico y en particular, el par es uno de los factores que los caracteriza.

El término par del motor se refiere al torque desarrollado en el eje. El par motor se expresa y se mide en Newton-m (Nm); un par de 20 Nm, es igual al esfuerzo de tracción de 20 Newtons, aplicado a un radio de un metro.

Por otro lado, la potencia puede ser calculada si se conoce el torque requerido por el equipo, mediante la siguiente ecuación: (Hernández, M, 2011).

$$HP = \frac{\text{Torque(Nm)} \times \text{RPM}}{K}$$

Donde:

K es constante, 7,124 si T (Nm); 5,252 si T (pie-libra). (Hernández, M, 2011).

De todo lo dicho anteriormente se desprende que los motores eléctricos modernos con rotor bobinado, y particularmente los de tipo con rotor en jaula o cortocircuito, ya sea común o de alto par de arranque, se constituyen como los motores más utilizados en la industria. Por lo cual las características principales que se ponen en la placa del motor son: Potencia, Corriente, Tensión, Frecuencia, Velocidad, Número de fases, Temperatura, Lubricación, Condiciones del medio ambiente como requisitos para su mantenimiento y evitando tener interrupciones en su funcionamiento.

La potencia y su equivalente el torque, es lo primero que se debe tener en cuenta al momento de seleccionar un motor.

Para calcular la potencia adecuada que debe suministrar un motor para accionar una máquina determinada, se puede seguir uno de los métodos que se indican a continuación:

- Por mediciones eléctricas
- Por comparaciones cuidadosas
- Por cálculos específicos
- Por información de la Placa de la máquina
- Por cálculos mecánicos
- Por el método del freno

El dimensionamiento del motor para este sistema fue realizado por cálculos mecánicos, considerando los esfuerzos necesarios a desarrollar en kg o en lb para accionar la máquina, así como las velocidades de régimen y aplicando la fórmula que relaciona el torque y las RPM, con los HP, con el sistema de unidades escogida. (Hernández, M, 2011)

$$HP = \frac{\text{Torque(en Kg cm)} \times \text{RPM}}{71.620} \quad (2.4)$$

La variación de torque depende de la carga aplicada en la banda transportadora, así como también de la distancia en el sistema motriz donde

se la aplica debido a que la inercia del sistema cambia. De la misma manera, el consumo de corriente es directamente proporcional a la velocidad y al torque. Como consecuencia, cada vez que el sistema necesita más torque, debido a la variación de carga, la intensidad de corriente aumenta para compensar al sistema y no provocar inestabilidad. Este principio se puede utilizar para determinar la fuerza que se aplica en una banda transportadora mediante el análisis de la variación de la intensidad de corriente. (Pasquel, C, 2010)

Los reductores o motorreductores son apropiados para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad en una forma segura y eficiente.

Las transmisiones de fuerza por correa, cadena o trenes de engranajes que aún se usan para la reducción de velocidad presentan ciertos inconvenientes. La caja reductora sirve para bajar las vueltas del motor, "bajando" el consumo de la batería como consecuencia del menor desgaste del motor y mayor torque del mismo.

Usualmente una caja reductora cuenta con un tornillo sin fin el cual reduce en gran cantidad la velocidad. Otro dispositivo que se usa para cambiar la velocidad de transmisión es el sistema planetario. Se torna imprescindible en modelos grandes y de gran desplazamiento (pesados) donde el motor debe realizar grandes esfuerzos. En el mercado es muy difícil conseguir cajas reductoras, aunque algunos motores vienen provistos de ellas.

Clasificados por tipo de engranes se encuentran: Sin fin-Corona, engranajes y planetarios.

Reductores de velocidad Sin fin-Corona. (Hernández, M, 2011).

Este tipo de reductor de velocidad es el más sencillo, se compone de una corona dentada, normalmente de bronce en cuyo centro se ha embutido un

eje de acero, esta corona está en contacto constante con un husillo de acero en forma de tornillo sin-fin. Una vuelta del tornillo sin fin provoca el avance de un diente de la corona y en consecuencia la reducción de la velocidad.

2.3 VARIADORES DE FRECUENCIA (VDF)

El variador de frecuencia variable es conocido con diferentes nombres; variadores de velocidad, drive, inversor, etc.; pero el nombre correcto es el de variador de frecuencia pues incorpora el término de frecuencia que es lo correcto en este caso, pues variadores de velocidad lo son la mayoría aunque la variación la hagan por métodos mecánicos o por C.D., e inversores solo se refiere a uno de los pasos del VDF.

La manera como un VDF convierte voltaje y frecuencia constante en voltaje y frecuencia variable se basa en un proceso de 3 pasos principales. Primero la corriente alterna es rectificadora y convertida a voltaje de corriente continua, después la invierte y vuelve a entregar corriente alterna pero con valores de frecuencia y voltaje variables. (Hernández, M, 2011).

El suministro de voltaje de un VDF puede realizarse a frecuencias que van desde 0 Hz hasta 300 Hz o más; por lo tanto la velocidad del motor es variable en la misma proporción que la variación de la frecuencia, así el motor puede girar lento o muy rápido dependiendo de la frecuencia que le suministra el VDF. Al mismo tiempo el voltaje también es variable en la misma proporción que la variación de la frecuencia para asegurar que la relación voltaje/frecuencia se mantenga con el mismo valor en todo el rango de velocidades mientras no pase de 60 Hz. Esto es porque el par que entrega el motor según diseño es determinado por esta relación y un motor de 460 V tendrá una relación V/f de 7.6, si este mismo motor lo manejamos a una frecuencia de 30 Hz, tendremos que suministrarle un voltaje de 230 V

para mantener la misma relación y el mismo par. Cualquier cambio en esta relación puede afectar el par, temperatura, velocidad o el ruido del mismo.

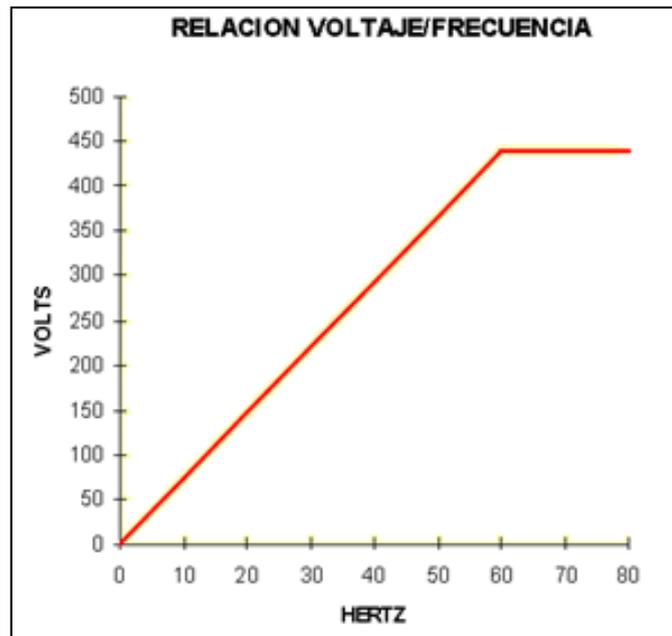


Figura Nº 2. 6 Relación voltaje frecuencia suministrada por un variador de frecuencia.

Fuente: (Hernández, M, 2011).

Por lo que se deduce que para producir el par nominal en cada motor a diferentes velocidades, es necesario modificar el voltaje suministrado conforme modificamos la frecuencia. El VDF mantiene esa relación de V/Hz suministrada al motor de manera automática.

Básicamente todos los variadores de frecuencia están formados por tres partes principales

- **RECTIFICADOR DE C.D.-** La parte rectificadora en el VDF convierte el voltaje en C.A. en voltaje en C.D. que es más fácil internamente en el VFD para generar la frecuencia variable de salida necesaria de una fuente no alterna de voltaje, dependiendo del tipo de VDF este voltaje de C.D. puede ser fijo o variable. La mayoría de los VDF manufacturados actualmente son del tipo de modulación del ancho del pulso (PWM por

sus siglas en inglés) que operan con un voltaje en C.D. suavizado. Los diodos de potencia son usados para producir el voltaje de C.D. fijo y los rectificadores controlados de silicio (SCR'S por sus siglas en inglés) son usados para el de voltaje de C.D. variable. Es importante hacer notar que el voltaje del bus de C.D. es 1.41 veces mayor al voltaje de C.A. pues toma el valor del pico de voltaje y no el voltaje RMS, por lo que el voltaje en bus de C.D. de un VDF de 460 V será de 648 V.C.D.

- **FILTRO Ó ENLACE.-** El cual dependiendo del tipo de variador, es como está conformado; también se denomina a esta parte bus de corriente directa
- **INVERSOR.-** Como se mencionaba, este es sólo uno de los pasos del VDF y no representa la función total del mismo. En esta sección el voltaje en C.D. se invierte y vuelve a tomar la forma alterna por medio de rectificadores controlados de silicio o transistores de potencia conectados directamente al bus de C.D. y controlados por microprocesadores, pero esta vez con una frecuencia y voltaje variables. Esta generación trifásica de C.A. al hacerse a través de aperturas instantáneas de los transistores aunque tiene ciclos positivos y negativos toma una forma cuadrática e interrumpida similar a la alimentación de entrada simulando la onda senoidal, según las necesidades de frecuencia pero que mantiene la misma relación V/Hz para el motor, a esta tecnología se le llama modulación del ancho del pulso. (Pulse Width Modulation PWM por sus siglas en inglés). Una tarjeta lógica de microprocesadores determina la frecuencia de conmutación de la sección de inversión, permitiendo un rango amplio de frecuencias de salida al motor, que van desde 0 Hz hasta 300 Hz o más. (Hernández, M, 2011).

De acuerdo con la tecnología utilizada, los arreglos de sus artículos y los componentes utilizados, son varios los tipos de variadores de frecuencia que existen, básicamente existen tres tipos, CSI, inversión de la corriente de

alimentación (Current Source Inverter), VSI, inversión del voltaje de alimentación (Voltaje Source Inverter) y PWM, Modulación de Ancho de Pulso (Pulse Width Modulation), Aunque los más utilizados son estos últimos; por lo que hablaremos solamente de estos.

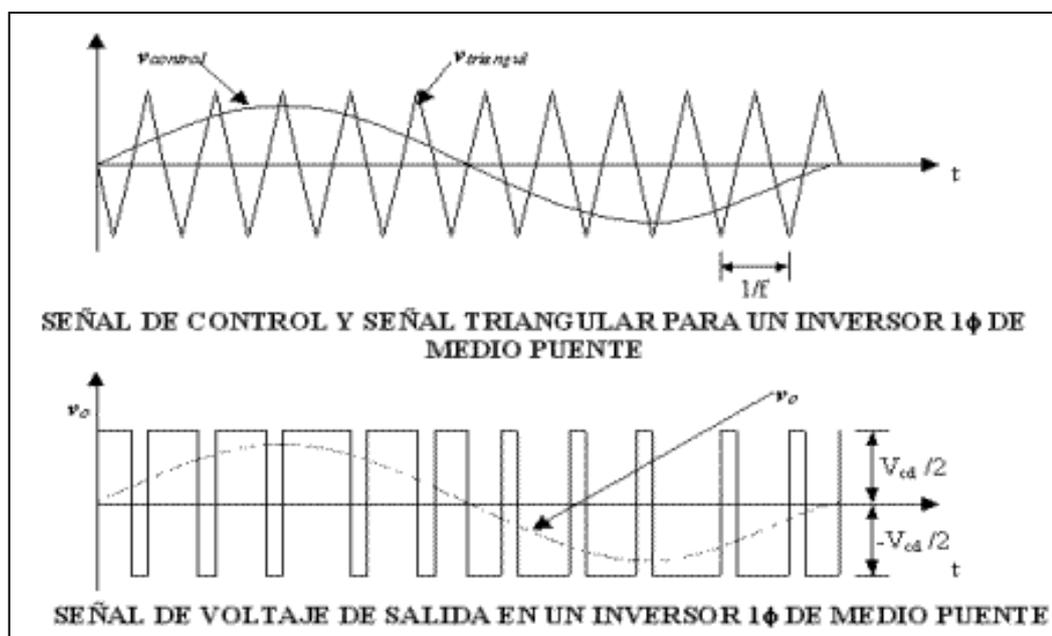


Figura Nº 2. 7 Principio de operación de modulación del ancho del pulso

Fuente: (Hernández, M, 2011).

VARIADOR TIPO MODULACIÓN DEL ANCHO DEL PULSO (PWM)

La "Modulación del ancho del pulso" (PWM) ha sido la tecnología más usada en los VDF pues ha dado buenos resultados para controlar motores desde 1/4 h.p. hasta 1000 h.p. debido a su confiabilidad, adaptación y porque genera la menor cantidad de armónicos a la línea. Aproximadamente 100 fabricantes trabajan con esta tecnología a nivel mundial En esta tecnología la sección de inversión es realizada por un puente de diodos y capacitores de C.D. para crear y mantener un voltaje estable y suavizado en C.D. Esta operación se realiza usando la tecnología de transistores bipolares de compuerta aislada (isolated gate bipolar transistor IGBT por sus siglas en inglés) los cuales regulan el voltaje y frecuencia para simular un voltaje que aunque es cuadrático es muy similar al senoidal. (Hernández, M, 2011).

El mismo término "modulación del ancho del pulso" explica como cada transición de voltaje alterno es una serie de pulsos cortos de diferente ancho. Variando el ancho del pulso en cada ciclo el promedio simula la onda senoidal.

El número de transiciones del positivo al negativo por segundo determina la frecuencia suministrada al motor. Al tener un mayor número de pulsos en cada medio ciclo, el ruido asociado a los motores controlados por VDF se reduce, al igual que la onda de corriente es suavizada y se eliminan los picos. (Hernández, M, 2011).

Las velocidades de switcheo o de resolución de los IGBT`s en un convertidor PWM pueden tener rangos desde 2 kHz hasta 18 kHz o más.

Las ventajas de este método es un excelente factor de potencia debido al voltaje del bus de C.D. suavizado, no hay disfunciones en la operación del motor a bajas velocidades, tiene una eficiencia mayor al 92 %, puede controlar varios motores con un solo VDF, habilidad para sobreponerse a las pérdidas de potencia en frecuencias de 3 a 5 Hz, y un costo bajo.

Entre las desventajas, se considera el calentamiento del motor y fallas en el aislamiento en algunas aplicaciones debido a la alta frecuencia de resolución, y la imposibilidad de regeneración; así como generación de armónicas en la línea, en algunas aplicaciones muy específicas.

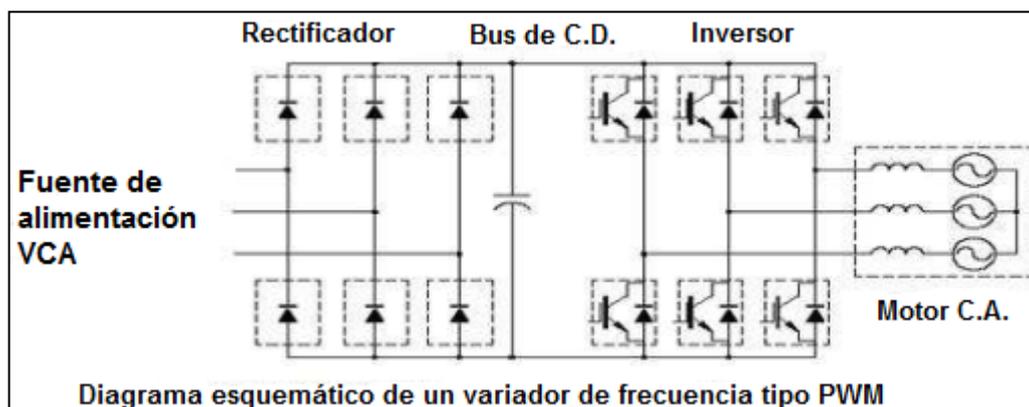


Figura Nº 2. 8 Diagrama esquemático del variador tipo modulación del ancho del pulso (PWM)

Fuente: (Hernández, M, 2011).

2.4 SISTEMA DE CONTROL

Los sistemas de control son sistemas en donde se maneja los equipos tales como: potencia, electrónico, etc. Para la cual nosotros necesitamos un sistema de control para la parte eléctrica que controlará la velocidad de la banda transportadora y el control de sensado de corriente que nos ayudará a saber la variación de corriente en el motor de la banda transportadora ya que existe cuando se ponen diferentes cargas sobre la banda.

Dada la naturaleza del presente trabajo, la adquisición de información del sistema debe basarse en el análisis de la variación de la intensidad de corriente que existe en el motor. Para este fin existen instrumentos de medición o sensores de corriente que utilizan la teoría del efecto hall.

El efecto Hall dicta que cuando en un conductor por el que circula una corriente, en presencia de un campo magnético perpendicular al movimiento de las cargas, aparece una separación de cargas que da lugar a un campo eléctrico en el interior del conductor perpendicular al movimiento de las cargas y al campo magnético aplicado, como se muestra en la figura N° 2.9.

En equilibrio la fuerza magnética (\vec{F}_M) y eléctrica ($q\vec{E}$) son iguales:

$$\vec{F}_M = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

$$\vec{F}_v = q\vec{E}$$

$$q(\vec{v} \times \vec{B}) = -q\vec{E}$$

El voltaje Hall (\vec{E}_H):

$$\vec{E}_H = -\vec{v} \times \vec{B} \tag{2.5}$$

$$V_H = E_H d = vBd \tag{(Gómez, J, Olmos, J)}$$

Donde: \vec{v} es la velocidad de arrastre

\vec{B} el campo magnético aplicado

d la anchura del conductor.

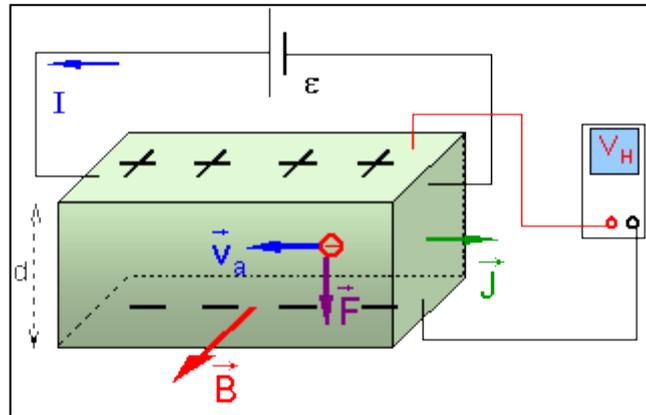


Figura N° 2. 9 Efecto Hall

Fuentes: (Gómez, J, Olmos, J)

Los sensores de corriente fueron creados por la necesidad de poder medir o monitorear la corriente continua y alterna en diversos procesos de la vida cotidiana. Este tipo de sensores se pueden dividir en 4 tipos diferentes, cada uno de estos tipos de sensor tiene sus propias características y aplicaciones determinada. Los 4 tipos de sensores son: Transformador de corriente, bobina de rogowski, sensor de efecto hall y el Shunt de corriente de baja resistencia. (Gómez, J, Olmos, J)

Usualmente estos dispositivos vienen con un amperímetro adecuado con la razón de transformación de los transformadores de corriente, por ejemplo: un transformador de 600/5 está disponible con un amperímetro graduado de 0 - 600A. (Cuesta, L, & Gil Padilla, A, & Remiro, F, 1991)

Un transformador de corriente tiene un amplio rango de medición de 0 – 50A en corriente alterna. El puede utilizarse para control de corriente ya que dependiendo de la corriente que pase por el transformador tiene un voltaje de salida en corriente continua. (Véase en el Anexo N° 1.6). (Cuesta, L, & Gil Padilla, A, & Remiro, F, 1991)

El voltaje de salida del transformador es muy pequeño y necesariamente tiene que ser amplificado para lo cual se utiliza amplificadores operacionales. El amplificador operacional es un amplificador ideal de tensión, basado en los amplificadores diferenciales que posee una elevadísima ganancia cuando trabaja en bucle abierto (sin realimentación) y se comercializa en un pequeño circuito integrado, como se muestra en la figura N° 2.10.

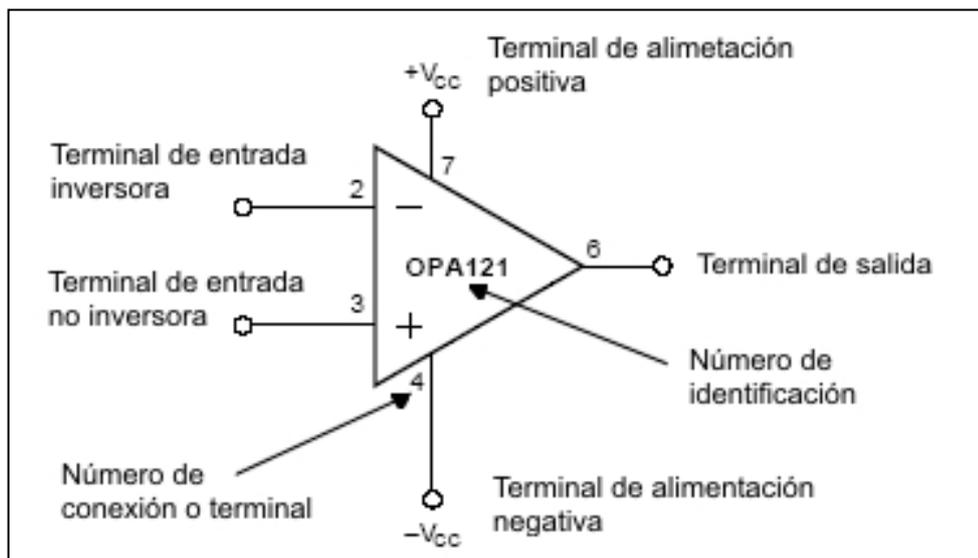


Figura N° 2. 10 Símbolo del Amplificador Operacional

Fuente: (Cuesta, L, & Gil Padilla, A, & Remiro, F, 1991).

Para este sistema se utiliza un amplificador de instrumentación. Los amplificadores de instrumentación son amplificadores diferenciales con un CMRR alto, muchos de ellos con ganancia variable. En pocas palabras diremos que son amplificadores diferenciales buenos.

La primera cuestión a tratar sería el porqué debe ser un amplificador diferencial. Tiene muchas respuestas, la primera de ellas quizás sea el hecho de que un amplificador diferencial es muy versátil de manera que se puede utilizar tanto como amplificador inversor como no inversor. Dado un amplificador diferencial como se muestra en la figura N° 2.11, la salida V_o sería:

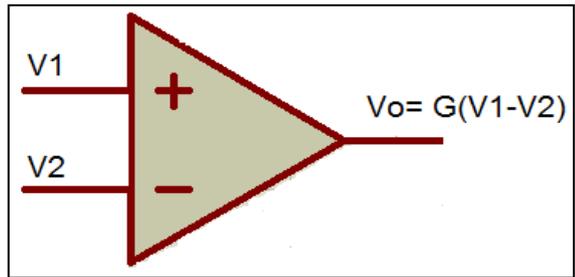


Figura N° 2. 11 Amplificador Diferencial

Si el voltaje de entrada $V_2 = 0$, entonces el voltaje de salida $V_o = G V_1$ y funcionaría como amplificador no inversor. Por otro lado si voltaje de entrada $V_1=0$, entonces $V_o = -G V_2$ y actuaría como un amplificador inversor. Donde G es la ganancia, y además, puede amplificar la diferencia. Sin embargo, la verdadera razón para trabajar con amplificadores diferenciales proviene de la facilidad que poseen para trabajar con señales diferenciales frente a las de modo común, es decir, y como veremos ahora, nos va a permitir distinguir entre señal y ruido.

El amplificador de instrumentación que se utiliza en este sistema es el amplificador AD620 es ideal para su uso en la precisión de adquisición de datos sistemas, tales como básculas y las interfaces de transductor. Además, el bajo nivel de ruido, baja corriente de entrada de polarización y de baja potencia. El esquema de conexión del AD620 se puede apreciar en la figura N° 2.12. (AD620, Datasheet).

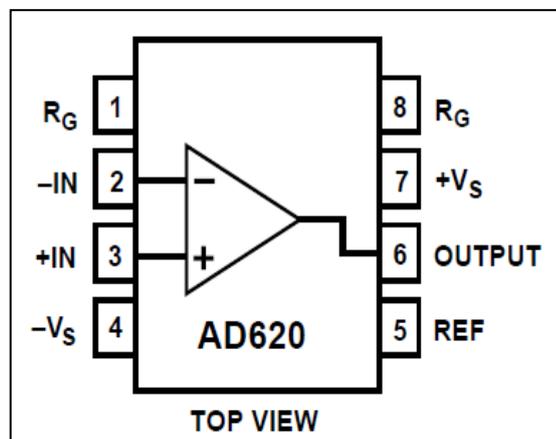


Figura N° 2. 12 Esquema de conexión del AD620

La ganancia para el circuito amplificador diferencial en base al amplificador de instrumentación AD620 está dada únicamente por la resistencia de ganancia R_G como se puede apreciar en la figura N° 2.13.

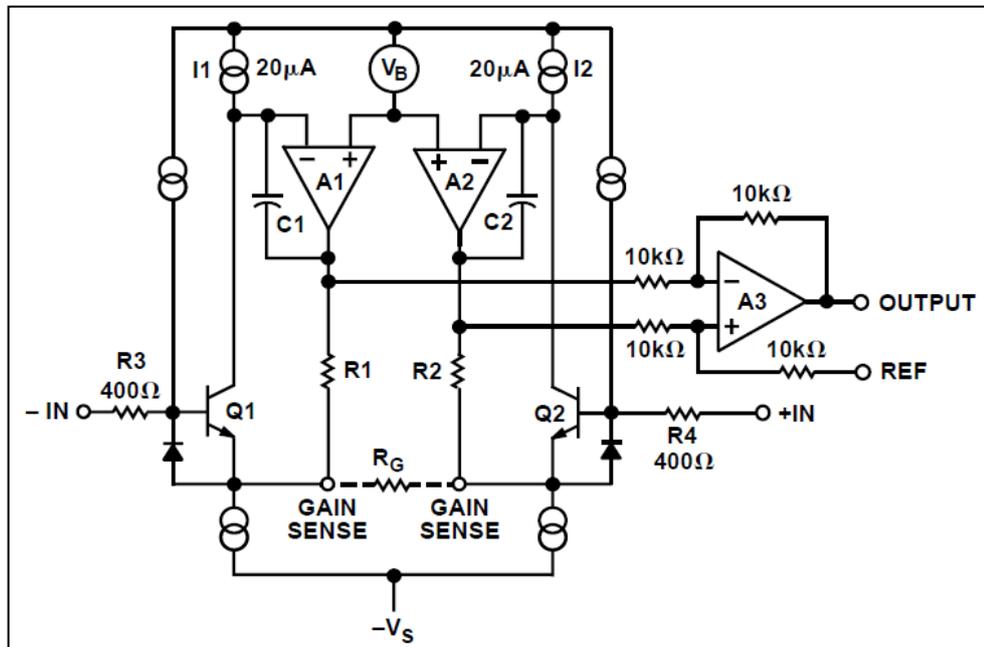


Figura N° 2. 13 Esquema simplificado del AD602

Debido a que la variación de voltaje en la salida del transformador de corriente no es uniforme es necesario, para su correcta interpretación, acoplarla de manera lineal con el sistema de control y filtrar el ruido que pudiera afectar su lectura. (AD620, Datasheet).

El acondicionamiento lineal convierte la variación de voltaje a una función lineal con rangos establecidos. Para la correcta comunicación con un microcontrolador en el sistema de control, es necesario que estos rangos se mantengan entre 0 y 5 V.

En la figura N° 2.14. Se puede apreciar la Función de acondicionamiento lineal de una señal de 64-110mV a 0-5V. En el recuadro la función de transferencia.

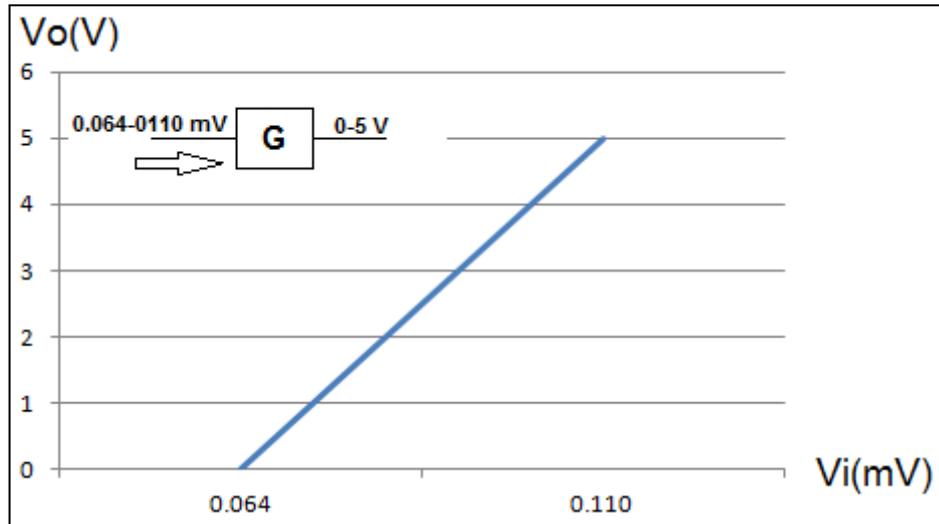


Figura N° 2. 14 Acondicionamiento lineal de la señal y en recuadro la función de transferencia.

Donde:

$$V_o = mV_i + b$$

$$0 = m (0.064)+b$$

$$5 = m (0,110)+b$$

Resolviendo sistema de ecuaciones

$$5 = m (0,046)$$

$$m = 108,695 = G = \frac{V_o}{V_i} \quad (2.6)$$

Donde:

V_o = Voltaje de salida.

V_i = Voltaje de entrada.

$G = m$ = Ganancia.

El amplificador de instrumentación, al tratarse de un amplificador diferencial, actúa por sí mismo como un circuito de acoplamiento, en el que hay que definir únicamente la resistencia de ganancia R_G . El valor de la R_G también determina la transconductancia de etapa de pre amplificación. Como R_G se

reduce para las grandes ganancias, la transconductancia aumenta asintóticamente a la de los transistores de entrada.

Esto tiene tres ventajas importantes:

(a) Ganancia en bucle abierto es impulsado por el aumento de la transconductancia, cada vez mayor programada, reduciendo así la ganancia de errores.

(b) El producto ganancia-ancho de banda (determinado por C1, C2 y la transconductancia preamplificador) aumenta con la ganancia programada, optimizando así la respuesta de frecuencia.

(c) El ruido de entrada de tensión se reduce a un valor de 9 nV / OHZ, determinado principalmente por la corriente de colector y base de la resistencia dispositivos de entrada.

Las resistencias de ganancia interna, R1 y R2, como se muestra en la figura N° 2.13 se recortan a un absoluto que es valor de 24,7 Kw, permitiendo que la ganancia a ser precisamente programada con una sola resistencia externa.

La ecuación de ganancia es entonces:

$$RG = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{G - 1} \quad (2.7)$$

Como ya se sabe, entre las características que determinan a una señal eléctrica se encuentra la frecuencia. En muchos casos, en la práctica, a través de un circuito, puede pasar más de una señal eléctrica, es decir, pueden pasar señales eléctricas con distinta frecuencia; sin embargo, se puede dar el caso de que en determinadas circunstancias solo interesa única y exclusivamente una de las señales que pueden circular por el circuito. Esta "selección" de una señal eléctrica según la frecuencia que tenga es lo que hacen los filtros como se muestra en la figura N° 2.15.

Al principio, los filtros estaban compuestos únicamente por elementos pasivos, es decir, resistencias, condensadores e inductancias. Sin embargo,

la aparición del amplificador operacional ha traído consigo una mejora notable en la fabricación de los filtros, ya que se ha podido prescindir de las inductancias. La mejora conseguida con el cambio de inductancias por amplificadores operacionales es apreciable en lo que se refiere a respuesta, aprovechamiento de la energía (menor disipación), tamaño y peso, ya que las inductancias no se pueden integrar en un circuito y, por tanto, son elementos discretos con un tamaño considerable.

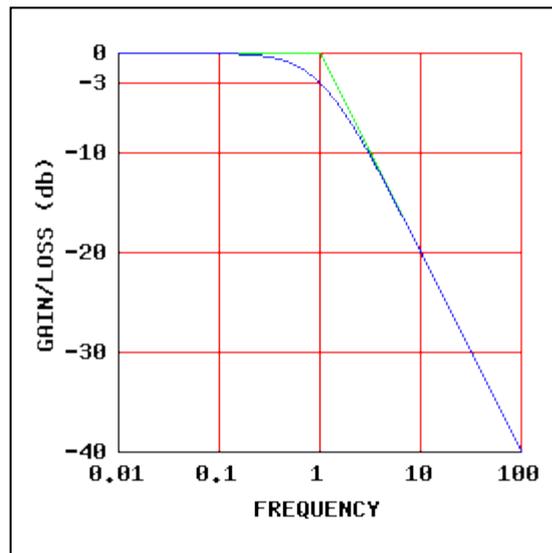


Figura Nº 2. 15 Un filtro pasa-bajas sólo permite el paso de señales con frecuencias menores a f_1

Dado que la señal amplificada es una señal analógica, para el procesamiento correcto de los datos adquiridos es necesario convertirla en una señal digital. Se utiliza la función de conversión analógica digital interna del microcontrolador, para realizar esa tarea. El conversor ADC (Analog-to-Digital Converter - Conversor Analógico Digital) tiene que efectuar los siguientes procesos:

- Muestreo de la señal analógica.
- Cuantización de la propia señal
- Codificación del resultado de la cuantización, en código binario.

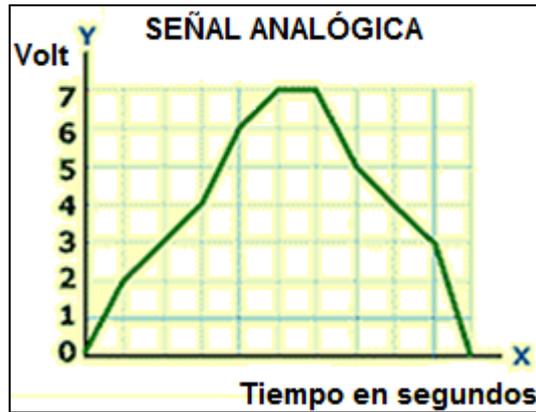


Figura Nº 2. 16 Muestreo de la señal analógica

Representación gráfica de medio ciclo positivo (+), correspondiente a una señal eléctrica analógica de sonido, con sus correspondientes armónicos. Como se podrá observar, los valores de variación de la tensión o voltaje en esta senoide pueden variar en una escala que va de “0” a “7” V como se muestra en la figura Nº2.16.

Para convertir una señal analógica en digital, el primer paso consiste en realizar un muestreo (sampling) de ésta, o lo que es igual, tomar diferentes muestras de tensiones o voltajes en diferentes puntos de la onda senoidal. La frecuencia a la que se realiza el muestreo se denomina razón, tasa o también frecuencia de muestreo y se mide en kilohertzio (kHz). En el caso de una grabación digital de audio, a mayor cantidad de muestras tomadas, mayor calidad y fidelidad tendrá la señal digital resultante como se muestra en la figura Nº1.17. (García, J, & Alvarez, A,)

Durante el proceso de muestreo se asignan valores numéricos equivalentes a la tensión o voltaje existente en diferentes puntos de la senoide, con la finalidad de realizar a continuación el proceso de cuantización.

Las tasas o frecuencias de muestreo más utilizadas para audio digital son las siguientes:

24 000 muestras por segundo (24 kHz)

30 000 muestras por segundo (30 kHz)

44 100 muestras por segundo (44,1 kHz) (Calidad de CD)

48 000 muestras por segundo (48 kHz)



Figura Nº 2. 17 Muestreo (Sampling)

Para realizar el muestreo (sampling) de una señal eléctrica analógica y convertirla después en digital, el primer paso consiste en tomar valores discretos de tensión o voltaje a intervalos regulares en diferentes puntos de la onda senoidal. (García, J, & Alvarez, A,)

Por tanto, una señal cuyo muestreo se realice a 24 kHz, tendrá menos calidad y fidelidad que otra realizada a 48 kHz. Sin embargo, mientras mayor sea el número de muestras tomadas, mayor será también el ancho de banda necesario para transmitir una señal digital, requiriendo también un espacio mucho mayor para almacenarla en un CD o un DVD.

CUANTIZACIÓN DE LA SEÑAL ANALÓGICA

Una vez realizado el muestreo, el siguiente paso es la cuantización (quantization) de la señal analógica. Para esta parte del proceso los valores continuos de la sinusoide se convierten en series de valores numéricos

decimales discretos correspondientes a los diferentes niveles o variaciones de voltajes que contiene la señal analógica original.

Por tanto, la cuantización representa el componente de muestreo de las variaciones de valores de tensiones o voltajes tomados en diferentes puntos de la onda sinusoidal, que permite medirlos y asignarles sus correspondientes valores en el sistema numérico decimal, antes de convertir esos valores en sistema numérico binario como se muestra en la figura N° 2.18.



Figura N° 2. 18 Cuantización de la señal analógica

Proceso de cuantización (quantization) de la señal eléctrica analógica para su conversión en señal digital. (García, J, & Alvarez, A,)

CODIFICACIÓN DE LA SEÑAL EN CÓDIGO BINARIO

Después de realizada la cuantización, los valores de las tomas de voltajes se representan numéricamente por medio de códigos y estándares previamente establecidos. Lo más común es codificar la señal digital en código numérico binario como se muestra en la figura N° 2.19.

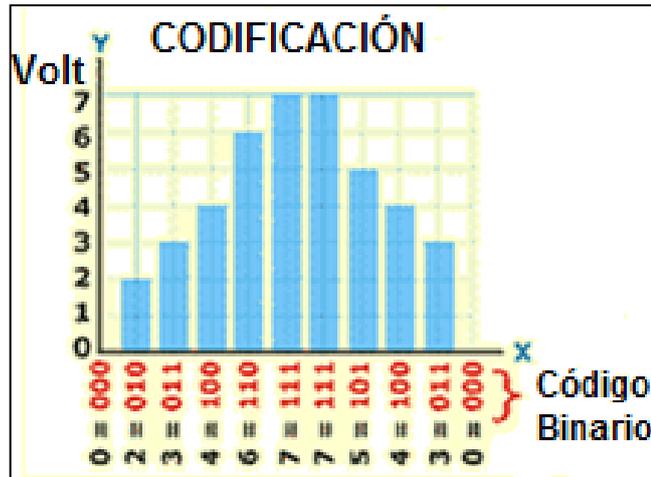


Figura Nº 2. 19 Codificación de la señal en código binario

La codificación permite asignarle valores numéricos binarios equivalentes a los valores de tensiones o voltajes que conforman la señal eléctrica analógica original.

En este ejemplo gráfico de codificación, es posible observar cómo se ha obtenido una señal digital y el código binario correspondiente a los niveles de voltaje que posee la señal analógica.

La siguiente tabla muestra los valores numéricos del 0 al 7, pertenecientes al sistema decimal y sus equivalentes en código numérico binario. En esta tabla se puede observar que utilizando sólo tres bits por cada número en código binario, se pueden representar ocho niveles o estados de cuantización. (García, J, & Alvarez, A,)

Tabla Nº 2. 2 Conversión a código binario.

Valores en Voltios en Sistema Decimal	Conversión a Código Binario
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111

Y en esta otra tabla se puede ver la sustitución que se ha hecho de los valores numéricos correspondientes a los voltajes de las muestras tomadas de la señal analógica utilizada como ejemplo y su correspondiente conversión a valores en código binario. (García, J, & Alvarez, A,)

Tabla Nº 2. 3 Conversión a código binario de la codificación

Valores de los Voltajes de la señal analógica del ejemplo. (V)	Conversión a Código Binario
0	000
2	010
3	011
4	100
6	110
7	111
7	111
5	101
4	100
3	011
0	000

VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA CONVERSIÓN ANALÓGICO DIGITAL

Ventajas:

- No introduce ruidos en la transmisión.
- Se guarda y procesa mucho más fácilmente que la analógica.
- Posibilita almacenar grandes cantidades de datos en diferentes soportes
- Permite detectar y corregir errores con más facilidad.
- Las grabaciones no se deterioran con el paso del tiempo como sucede con las cintas analógicas.
- Permite realizar regrabaciones sucesivas sin que se pierda ninguna generación y, por tanto, calidad.

- Permite la compresión para reducir la capacidad de almacenamiento.
- Facilita la edición visual de las imágenes y del sonido en un ordenador o computadora personal, utilizando programas apropiados.
- El rayo láser que graba y reproduce la información en CDs y DVDs nunca llega a tocar físicamente su superficie.
- No afecta las interferencias atmosféricas (estática) ni de otro tipo cuando se transmite por vía inalámbrica, como ocurre con las transmisiones analógicas.

Desventajas:

- Para su transmisión requiere un mayor ancho de banda en comparación con la analógica.
- La sincronización entre los relojes de un transmisor inalámbrico digital y el receptor requiere que sea precisa, como ocurre con el GPS (Global Positioning System - Sistema de Posicionamiento Global).
- Las transmisiones de las señales digitales son incompatibles con las instalaciones existentes para transmisiones analógicas. (García, J, & Alvarez, A,)

Todo este sistema de conversión se la hace internamente en el microcontrolador. El microcontrolador es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes de un computador. (Valencia, R, 2008).

Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que gobierna. Esta última característica es la que le confiere la denominación de «controlador incrustado» (embedded controller).

El microcontrolador es un computador dedicado. En su memoria sólo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada; sus líneas de entrada/salida soportan el conexionado de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar, y todos los recursos complementarios disponibles

tienen como única finalidad atender sus requerimientos. Una vez programado y configurado el microcontrolador solamente sirve para gobernar la tarea asignada. (Valencia, R, 2008)

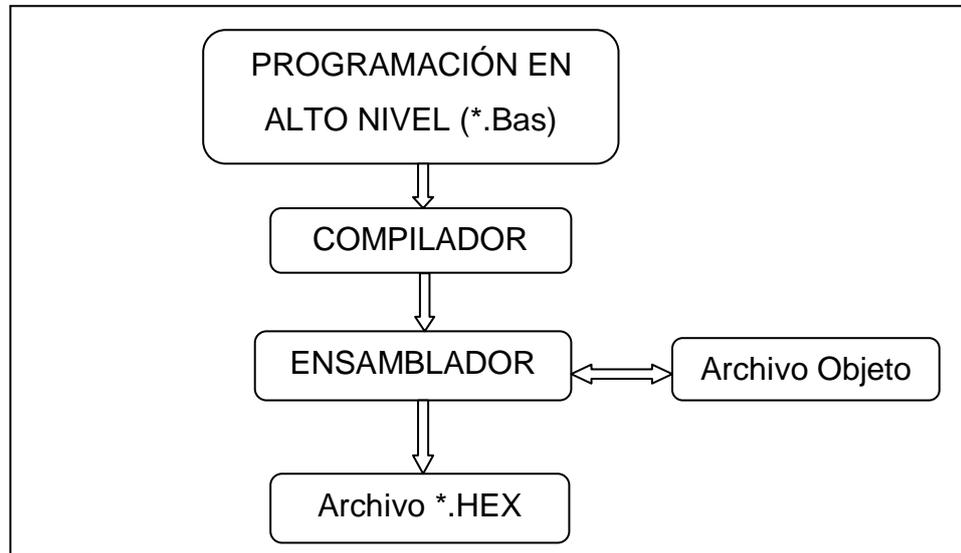


Figura Nº 2. 20 Diagrama de Bloques de Programación estructurada

Fuente: (Valencia, R, 2008)

3. METODOLOGÍA Y MATERIALES

“La mecatrónica está compuesta de “meca” de mecanismo y por “trónica” de electrónica” (Yasakawa, citado en Bishop 2008, p). La mecatrónica es la combinación sinérgica de la ingeniería electrónica, mecánica, y de sistemas informáticos, que involucran los sistemas de control para diseñar productos o procesos inteligentes. En la figura N° 3.1 se muestran los elementos principales de la Mecatrónica.

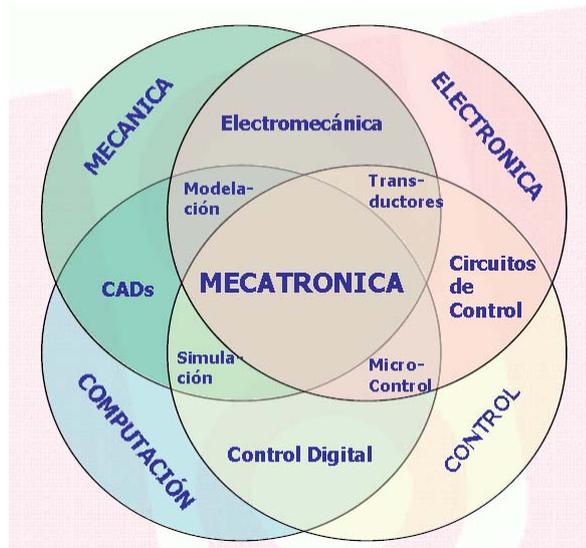


Figura N° 3. 1 Metodología Mecatrónica.

Fuente: (Méndez, A, 2006)

3.1 METODOLOGÍA MECATRÓNICA

La metodología Mecatrónica de diseño se basa en el desarrollo paralelo de los componentes de un sistema o proceso para que en conjunto de un producto automatizado que cumpla con tareas específicas.

En este proyecto, la metodología Mecatrónica permite, después de analizar los requerimientos físicos y de control del sistema, diseñar y desarrollar los componentes mecánico, de potencia, y electrónico de control. La parte mecánica comprende el modelo de la estructura de una banda transportadora. Integrado a la misma está el sistema eléctrico para control

de la velocidad. Finalmente, se incorpora un sistema de control de la intensidad de corriente en el motor del sistema para definir su variación en relación al peso o carga aplicada en el sistema motriz.

3.1.1 ANÁLISIS DEL REQUERIMIENTO DEL PRODUCTO

Para el diseño del producto mecatrónico, se debe analizar las características físicas y los requerimientos planteados para el diseño de una banda transportadora de cárnicos con un sistema de pesaje dinámico.

Entre las características principales se puede nombrar:

- El peso mínimo y el peso máximo a transportar.
- Las dimensiones necesarias para el transporte de productos.
- La velocidad requerida para el transporte.
- La fuerza necesaria en el sistema motriz.
- Las magnitudes a ser medidas mediante el sistema de pesaje dinámico.

3.1.2 DISEÑO MECÁNICO

Una vez definidas las especificaciones del sistema, es posible diseñar. Para el diseño mecánico lo primero que se debe hacer es dimensionar las medidas, para esto es necesario saber qué carga máxima vamos a tener en la banda para saber qué tipo de motor se necesita poner en el sistema motriz y para continuar con el dimensionamiento de las medidas se necesita saber qué tipo de carga vamos a poner sobre la banda, que tipo de recipiente se utilizará y a qué condiciones ambientales de trabajo se va a exponer la banda y si la banda será móvil o fija.

DISEÑO MECANICO DE LA BANDA TRANSPORTADORA

Una vez elegido el tipo de motor que se utilizará, dimensionamos la banda haciendo un diseño en el software SolidWorks, cabe recalcar que la longitud de la banda depende de la longitud que nosotros necesitemos transportar y el ancho depende del tipo de carga y recipiente que va a existir sobre la banda, una vez teniendo las medidas, el tipo de material a utilizar y con los planos necesarios se continuará con la construcción haciendo las piezas y dobleces para llevarlos a pintura. Luego de tener construida las piezas y materiales para la estructura mecánica comenzamos con el ensamblaje de la banda. Después de tener la estructura se toma las medidas que tenemos del centro del rodillo motriz al centro del rodillo tensor para con una formula sacar la longitud total de la banda que va ir en la banda transportadora una vez comprada la banda ensamblamos y grapamos la banda poniéndola a una tensión estable y calibrada para que no existan daños a futuro.

3.1.3 DISEÑO DEL CIRCUITO DE POTENCIA

Para el diseño de circuito de potencia lo primero que debemos tener en cuenta es que tipo de control se hará a la banda transportadora para así saber qué tipo de materiales vamos a utilizar. Para esto se hizo una simulación en CADE-simu una vez comprobado la simulación se continuó con la compra de materiales para su ensamblaje y posteriormente el cableado.

Luego de tener el ensamblaje y cableado en la caja de control de potencia se hacen pruebas antes de acoplarlo a la banda transportadora.

3.1.4 DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRONICO DE CONTROL

Una vez teniendo el sistema mecánico y eléctrico seguimos con el diseño electrónico de control en donde se estableció el objetivo del sistema de control ya que de esto depende el tipo de materiales a utilizar.

Sabiendo el tipo de sensado necesario se eligió el tipo de sensor que vamos se utilizará, en este caso un transformador de corriente, como el

sensor de corriente muestra un voltaje continuo muy pequeño debemos de buscar la manera de amplificarlo y acondicionarlo para su respectiva programación, en el ambiente existe ruido debido a la naturaleza de los materiales utilizados para lo cual tenemos que hacer un filtro y así poder filtrar la señal para que el microcontrolador pueda tener una mejor adquisición de datos y así poder programar de mejor manera una vez hecho el programa se continuó con las prueba y calibración del sistema de control electrónico.

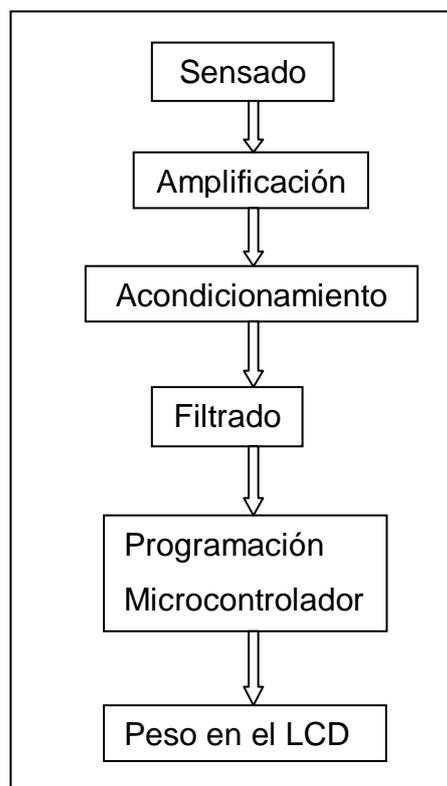


Figura Nº 3. 2 Diagrama del sistema de control electrónico

3.2 MATERIALES

MOTORREDUCTOR

Se eligió un motor reductor trifásico de $\frac{1}{4}$ HP como se muestra en la figura 3.2 y con sus respectivas características que son las necesarias para el tipo de banda transportadora que se construirá como se muestra en la tabla Nº 3.1 ya que este motor reductor tiene una relación de 60i por cada 60 vueltas que dé el motor se tiene una vuelta en la caja reductora, como el trabajo va

hacer constante se necesita un motor trifásico para su correcto desempeño y que no exista sobrecalentamiento ni perturbaciones en el momento de funcionamiento de la banda.

Tabla N° 3. 1 Características del Motor Trifásico

RPM	1620
Voltaje	330 V
Amperaje	0,7 A
Potencia	¼ HP
Frecuencia	0-60 Hz



Figura N° 3. 3 Motor Reductor

Fuente: www.transtecno.com

VARIADOR DE FRECUENCIA

Se eligió este variador como se muestra en la figura N° 3.3 ya que cumple con los requisitos como se muestra en la tabla N° 3.2 para controlar la velocidad de la banda, este variador tiene medidas de protección como contra cortocircuitos, fuga a tierra, sobretensión, parada del motor, sobrecarga del motor, dando seguridad al motor y a toda la banda

transportadora, se le puede conectar un potenciómetro en donde se controla la velocidad de la banda.

Tabla N° 3. 2 Características del variador de frecuencia.

Característica	INPUT 3/PE	OUTPUT 3/PE
Voltaje	230/240 V	0-230V
Corriente	7.9 A	7.0 A
Frecuencia	50-60 Hz	0-240 Hz
Potencia		1.5 Kw



Figura N° 3. 4 Variador de Frecuencia

BANDA

Se eligió este tipo de banda como se muestra en la figura N°.3.4, ya que el tipo de carga que se pondrá sobre la banda son recipientes llenos de carne en donde este tipo de bandas son para alimentos tales como: galletería, panadería, queso, chocolate, procesamiento de pescado, alimentos sin empaquetar, carnes, aves, verduras ya que su característica especial es su fácil limpieza ya que tiene una superficie lisa y sin poros y cumple las características necesarias como se muestra en la tabla N° 3.3 y la tabla N° 3.4.

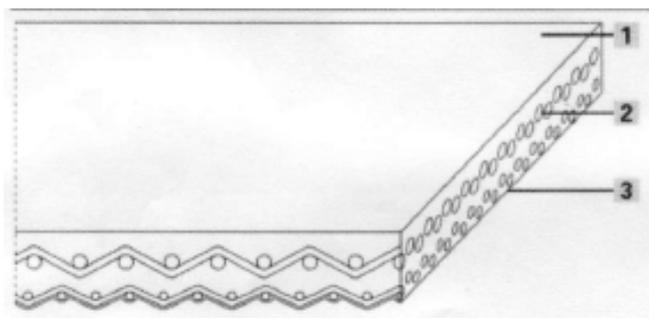


Figura Nº 3. 5 Banda

Tabla Nº 3. 3 Construcción de la banda.

Número de Capa	Característica	Material
1	Lado de Transporte (material, superficie, propiedad y color)	Poliuretano termoplástico (TPU), suave, medianamente adhesivo de color blanco.
2	Capa de Tracción (Material)	Tejido de Poliéster (PET), número de tejidos 2.
3	Cara de Marcha (Superficie, color)	Tejido de polester (PET), con la superficie tejido impregnado de color blanco.

Tabla Nº 3. 4 Datos técnicos de la banda

Característica	Medida SI	Medida SE
Grosor	1.2 mm.	0.05 en.
Masa de la correa	1.3 kg/m ²	0.27 lbs/sq.ft
Radio de la barra de frente (mínimo)	2 mm.	0.08 en.
Diámetro de polea (mínimo)	15 mm.	0.6 en.
Carga para el 1% de extención por unidad de ancho.	8 N/m	46 lbs/in
Fuerza para el 1% de alargamiento después de la relajación por unidad de ancho.	6 N/m	34 lbs/in
Fuerza de tracción admisible (continua)	13 N/mm	74 lbs/in
Temperatura de funcionamiento admisible (continua)	Min -30 °C Max 80 °C	Min -22 °F Max 176 °F
Coefficiente de fricción sobre la mesa de apoyo de acero.	0.20 [-]	0.2 []

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

Se eligió este tipo de transformador como se muestra en la figura N° 3.5, ya que debido a las pruebas hechas este transformador es el que más percibe la variación de corriente que existe en el motor y se puede tener un censado admisible para poder acondicionarlo para la respectiva programación separando el sistema de control de potencia con el sistema de sensado.

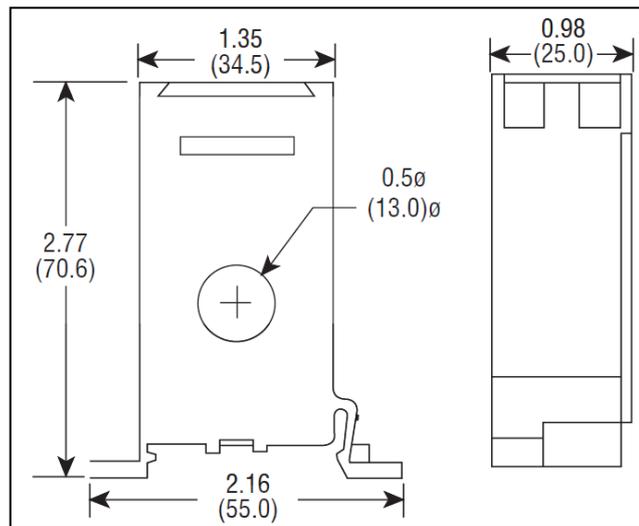


Figura N° 3. 6 Transformador de corriente

Figura N° 3. 7 Especificaciones del Transformador de Corriente

Corriente nominal	0 – 50 A
Impedancia de salida	2.7 K Ω
Rango de frecuencia	47 – 63 Hz
Temperatura Ambiente	0 – 60 °C
Exactitud	+/- 2% de lectura +/- 0.2 A
Corriente de medida AC	0 – 50 A
Corriente de salida DC	0 – 5 V

MICROCONTROLADOR

El microcontrolador que se eligió como se muestra en la figura N° 3.7, cumple con las funcionalidades necesarias para la elaboración de este proyecto como se muestra en la tabla N° 3.5.

Tabla N° 3. 5 Características PIC 16F877A

Características	Microchip (PIC 16F877A)
Memoria de programa tipo Flash (Kbyte)	8
EEPROM (bytes)	256
Memoria de datos RAM (bytes)	368
Frecuencia Máxima (MHz)	20
Voltaje de Operación Vcc (V)	2.0 – 5.5
Cristal Rango (MHz)	0 – 20
Periféricos	
Timer de 16 bits	1
Timer de 8 bits	2
Canales PWM	2
Serial USART	1
Serial SPI	Si
Analógicos 10 bit A/D canales	8

Fuente: PIC 16F877A Datasheet

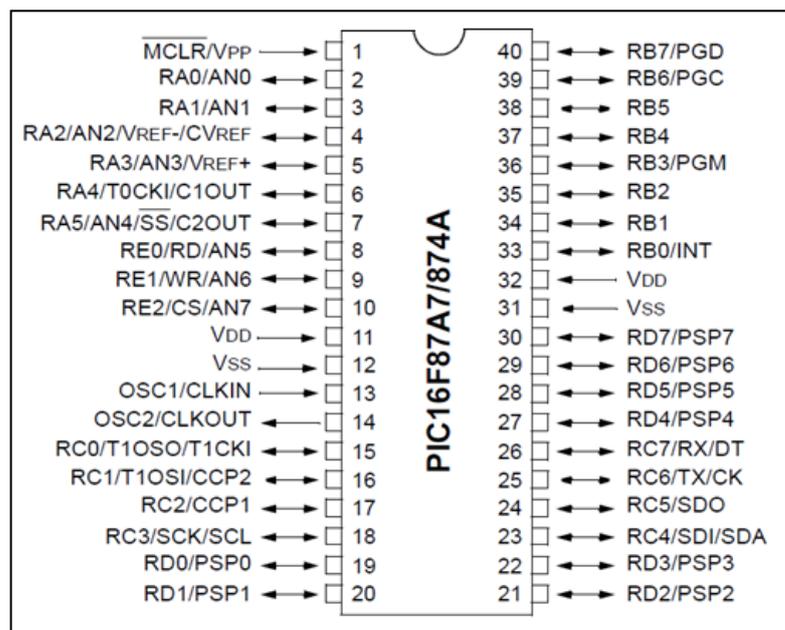


Figura N° 3. 8 PIC 16F877A

4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

4.1 DISEÑO DE LA BANDA TRANSPORTADORA

Previo a la construcción de la banda transportadora se hizo el análisis de requerimientos respectivos necesarios para el diseño de una banda transportadora. Luego de haber tenido las especificaciones necesarias tales como dimensiones de la banda, longitud de la banda de centro a centro de los rodillos, longitud total de la banda tomando en cuenta el diámetro de los rodillos, tipo de banda a utilizar, se hizo el modelamiento de la banda transportadora en solidworks. Cabe recalcar que el diseño se hace dependiendo de las especificaciones del cliente, para poner la longitud total de la banda se debe conocer la distancia que quiere transportar y para poner el ancho de la banda depende del tipo de recipiente o carga que va a poner sobre la banda transportadora.

Para la determinación de las medidas de una banda transportadora se tiene que analizar la figura N° 3.9, donde D_1 y D_2 son los diámetros de los rodillos y C es la distancia entre centros en donde se puede sacar la velocidad angular y con esto se puede calcular la velocidad de la banda. (Casillas, A), (Mott, R, 2006).

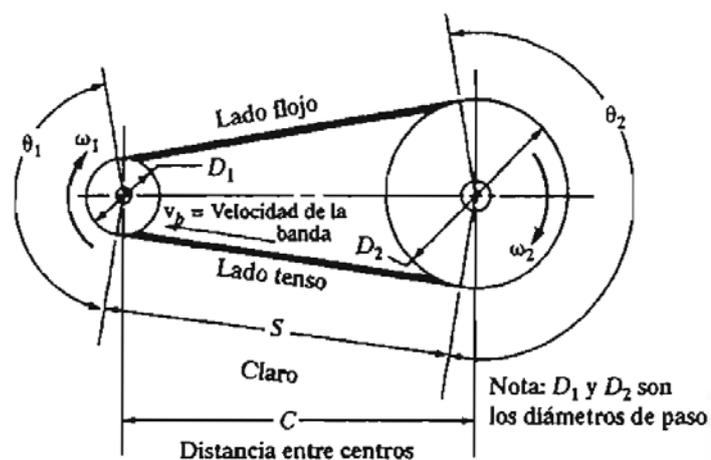


Figura N° 4. 1 Diseño de la Banda Transportadora

Para determinar los diámetros de los rodillos como se muestra en la figura N° 3.9, se tiene la siguiente relación.

$$R = \frac{D}{d} = \frac{n}{N} \quad (4.1)$$

Entonces, para determinar el número de RPM de la polea mayor se aplica la siguiente ecuación.

$$N = \frac{d \times n}{D} \quad (4.2)$$

Donde:

R.P.M. = Revoluciones por minuto

N = Numero de R.P.M. de la polea mayor

n = Número de R.P.M. de la polea menor

D = Diámetro de la polea mayor

d = Diámetro de la polea menor

R = Relación

En nuestra banda como los rodillos son de igual diámetro tendrán la misma relación, es decir las revoluciones que del tambor motriz serán iguales a las revoluciones de tambor tensor.

Por lo cual el diámetro de los tambores tanto para el tambor motriz como para el tambor tensor es igual.

$$L = \pi \times (R + r) + 2 \times c + \frac{(R - r)^2}{c} \quad (4.3)$$

Donde:

R= Radio de la polea mayor.

r = Radio de la polea menor

C = Distancia entre ejes

L = Longitud de la banda

Reemplazando los valores en milímetro y en valor de pi en la ecuación N° 4.3 obtenemos la siguiente expresión para así poder obtener el valor de la longitud total de la banda.

$$L = 3.1416 \times (57 + 57) + 2 \times 1208 + \frac{(57 - 57)^2}{1208}$$

$$L = 3.1416 \times (114) + 2416$$

$$L = 2774.142 \text{ mm.}$$

Para calcular las RPM de un motor se usa la siguiente formula.

$$N = \frac{120F}{P} \tag{4.4}$$

$$N = \frac{120(60)}{2} = 3600 \text{ R. P. M.}$$

Donde:

N= RPM.

F= Frecuencia.

P= Numero de polos.

$$P = \frac{120F}{N}$$

$$P = \frac{120(60)}{1620}$$

$$P = \frac{7200}{1620} = 4,4 = 4$$

Si 1HP = 746 watts

$\frac{1}{4}$ HP = 0,25 kw

Entonces para calcular la potencia de un motor se utiliza la siguiente fórmula.

$$P = VI \quad (4.5)$$

Donde:

P = Potencia

V = Voltaje

I = Intensidad

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{250 \text{ watts}}{330V} = 0,7 \text{ A}$$

Ya con los resultados de los cálculos obtenidos se hizo el diseño 3D de los componentes que iban a formar la banda transportadora, tratando de tener un modelo, estos componentes se los realizo en solidworks.

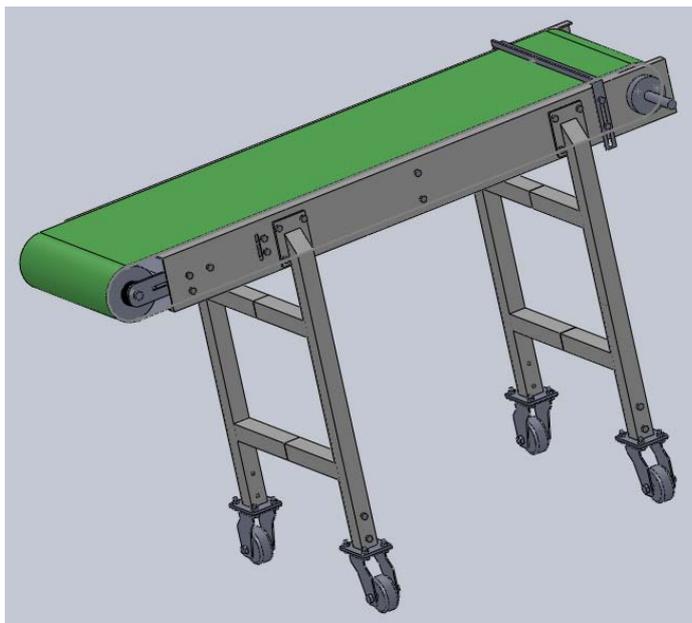


Figura Nº 4. 2 Diseño banda transportadora solidworks.

4.1.1 ESTUDIO DE ESFUERZOS EN LA BANDA TRANSPORTADORA

En el diseño se hizo el estudio de esfuerzos que es la resistencia que ofrece una unidad de área de un material contra una carga externa aplicada. Los esfuerzos normales (σ) son de tensión (positivos) o de compresión (negativos). (Mott, R, 2006)

$$\sigma = \frac{\text{fuerza}}{\text{área}} = \frac{F}{A} \quad (4.6)$$

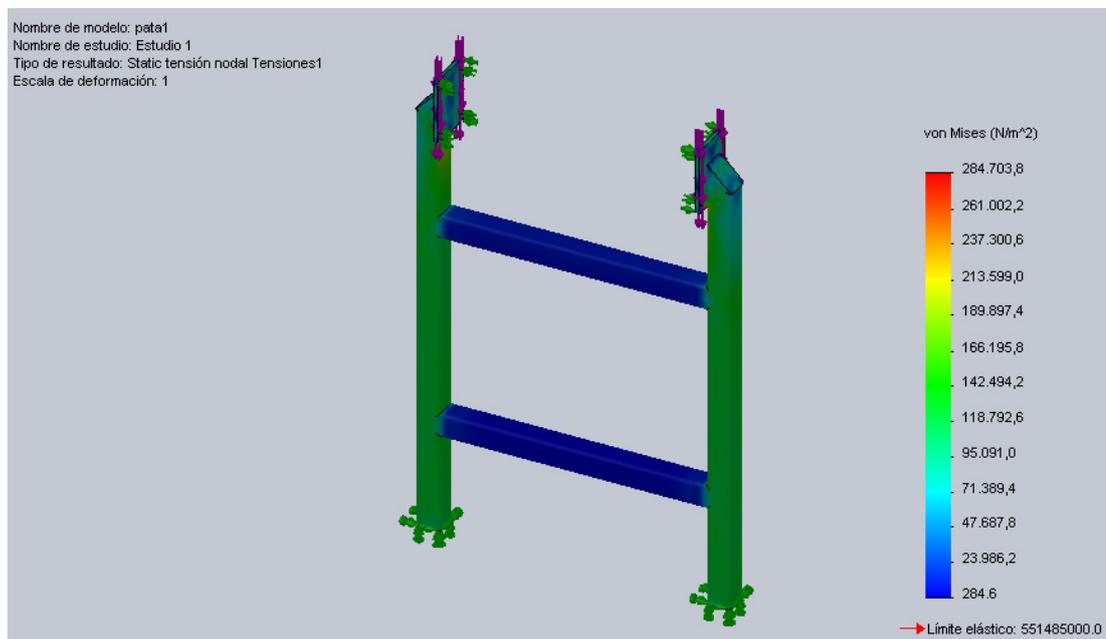


Figura N° 4. 3 Estudio de esfuerzos en solidworks con 100N de Fuerza

Este estudio se lo hizo en solidworks teniendo ahí las medidas del soporte de la banda transportadora, se obtuvo los resultados que se indican en la figura N° 4.3 aplicando una fuerza de 100N en donde se obtiene el punto más crítico del soporte.

En la figura N° 4.4 aplicamos una fuerza de 1000N en donde debido al resultado que se muestra en las imágenes concluimos que este sistema soporta una carga de 100N a 1000N sin problemas ya que el soporte se mantiene muy estable y no llega a un punto crítico en donde puede deformarse o cortarse el soporte de la banda transportadora.

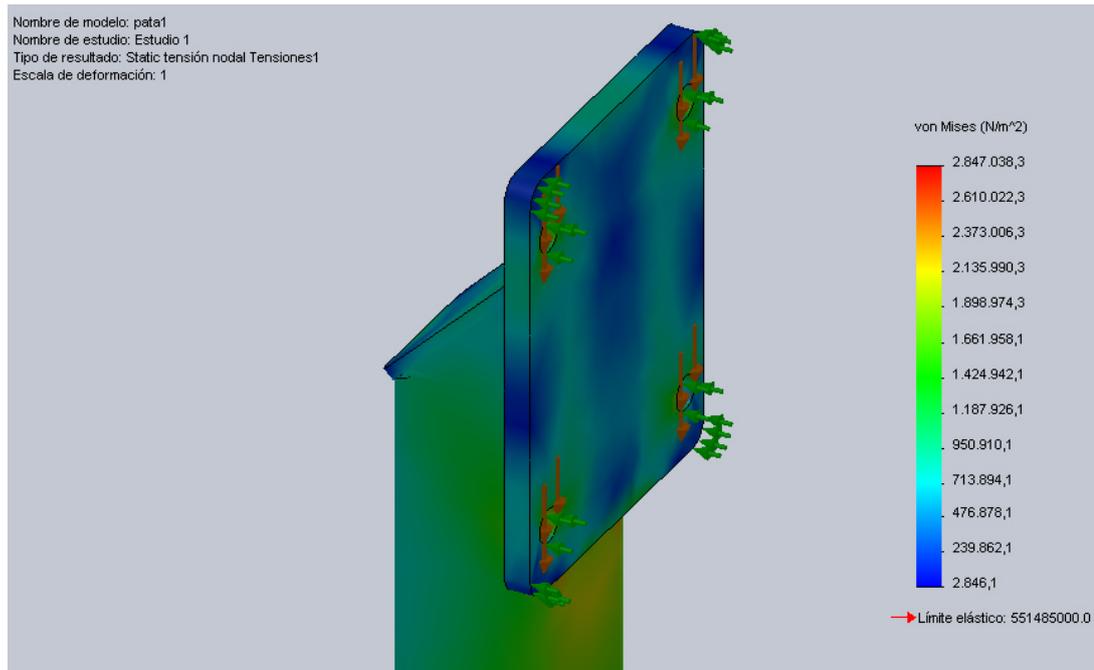


Figura Nº 4. 4 Estudio de esfuerzos en solidworks con 1000N de fuerza.

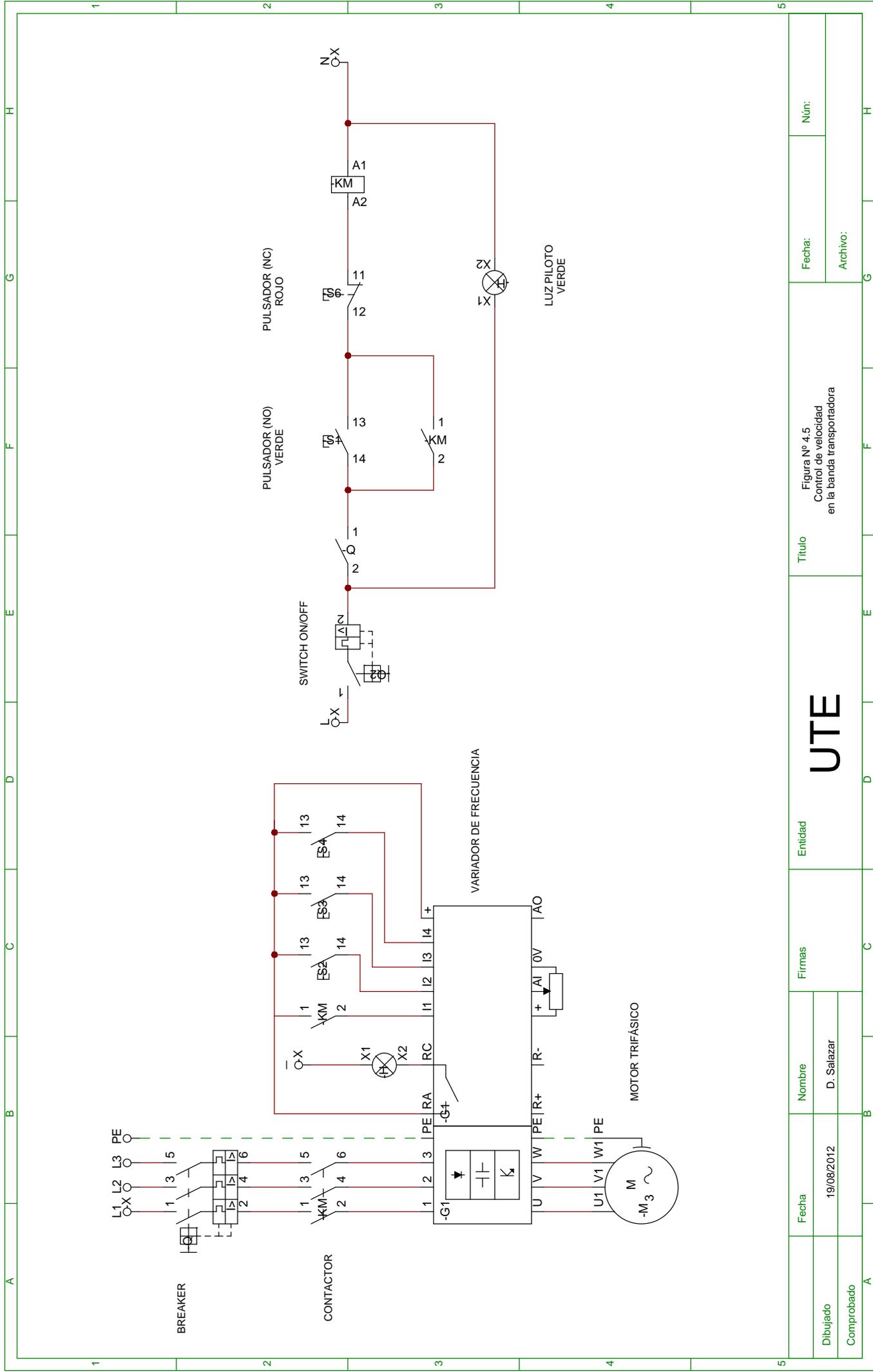
4.2 SISTEMA DE CONTROL.

El diseño y simulación de control de velocidad se lo realizo en CAdE-SIMU en donde se puede hacer sistemas de control de velocidad de motores tanto de corriente continua como de corriente alterna.

Para el sistema dinámico de pesado es preciso utilizar un motor de trifásico de inducción de $\frac{1}{4}$ de HP debido a que el trabajo es constante y no debe existir recalentamiento en el motor ya que existe una temperatura de trabajo máximo que es 50 °C, y se mide con el multímetro y el termómetro que viene con el multímetro en donde este termómetro hace contacto con la superficie del motor para medir su temperatura y así evitar interrupciones en la toma de datos al momento de sensar el consumo de corriente del motor ya que el sistema depende del motor.

El circuito de potencia para el control del motor está conformado por un breaker o difusor de 220 V AC en donde se conecta directamente las fases, un contactor de 220 V que tiene una bobina que se energiza al activar el pulsador verde NA y así activar los contactos que están conectados al variador de frecuencia, el variador de frecuencia y el motor trifásico en donde el variador de corriente se alimenta con 220V y este a su vez alimenta al motor con 330 V que está conectado a la salida del variador de frecuencia.

El circuito de control está conformado por un pulsador NA que energiza el contactor y dejando pasar la corriente al sistema, un switch ON/OFF que pone en marcha a la banda transportadora, un pulsador NC que es para detener a la banda y puede des energizar el sistema, una luz piloto que indica que el circuito de potencia esta energizado y puede prender la banda transportadora y por un potenciómetro que está conectado al variador y sirve para controlar la velocidad del motor de la banda transportadora, como se muestra en la figura N° 4.5.



Fecha		Nombre		Firmas		Entidad		Título		Fecha:		Núm:	
19/08/2012		D. Salazar		[Signature]		UTE		Figura Nº 4.5 Control de velocidad en la banda transportadora		[Date]		[Num]	
Comprobado										Archivo:			

El diseño de circuito de sensado está conformado por el transformador de corriente que va conectado a la salida de motor trifásico en donde va tomando la variación de corriente que existe en el motor con lo cual envía la señal al microcontrolador en donde se hace la relación según la intensidad que varía son los gramos que varía y así podemos visualizar el peso que mostraremos en un LCD para mostrar el peso que se encuentra transportándose en la banda transportadora.

Antes de enviar la señal al PIC se necesita amplificar ya que las variación de voltaje que envía el transformador de corriente es muy pequeña, para lo cual se utiliza un amplificador de instrumentación el AD620 pero como no se filtra la señal debido a la naturaleza de los elementos utilizados en el medio ambiente existe ruido para lo cual utilizamos un filtro activo con un amplificador operacional el LM358, una vez amplificado acondicionado y filtrado se envía la señal al pin del PIC16F877A como se muestra en la figura Nº 4.6, en donde por ese pin vamos hacer la conversión análogo digital para poder visualizar los datos, debido al acondicionamiento que hicimos en el programa solo por software por cada valor que tengamos en la entrada vamos a tener de 0 a 500 mV el valor del ADC dado que en el PIC se puede hacer la conversión de 0 a 1024 bits porque el PIC es de 10bits la conversión, pero con software hicimos que 0V sea a 0 bits y 500 mV sea a 1024 bits para hacer más sensible y así poder percibir de mejor manera los datos teniendo una relación si tenemos 1 voltio en la entrada del pin el valor del ADC va ser 100 que nos mostrara el LCD y llegando a 5 voltios que es el voltaje permitido por el PIC y teniendo un valor de 500 el máximo en el ADC, en donde con estos valores del conversor análogo digital que se fue tomando se hizo una tablas para poder obtener la ecuación que hace relación con la variación de corriente con la variación del valor del conversor dándonos así el peso que se encuentra sobre la banda transportadora debido a que cuando existe mayor carga sobre la banda, existe mayor consumo de corriente en el motor dándonos una variación de corriente y obteniendo la variación del valor del ADC y teniendo como resultado una ecuación que nos ayuda a sacar el peso.

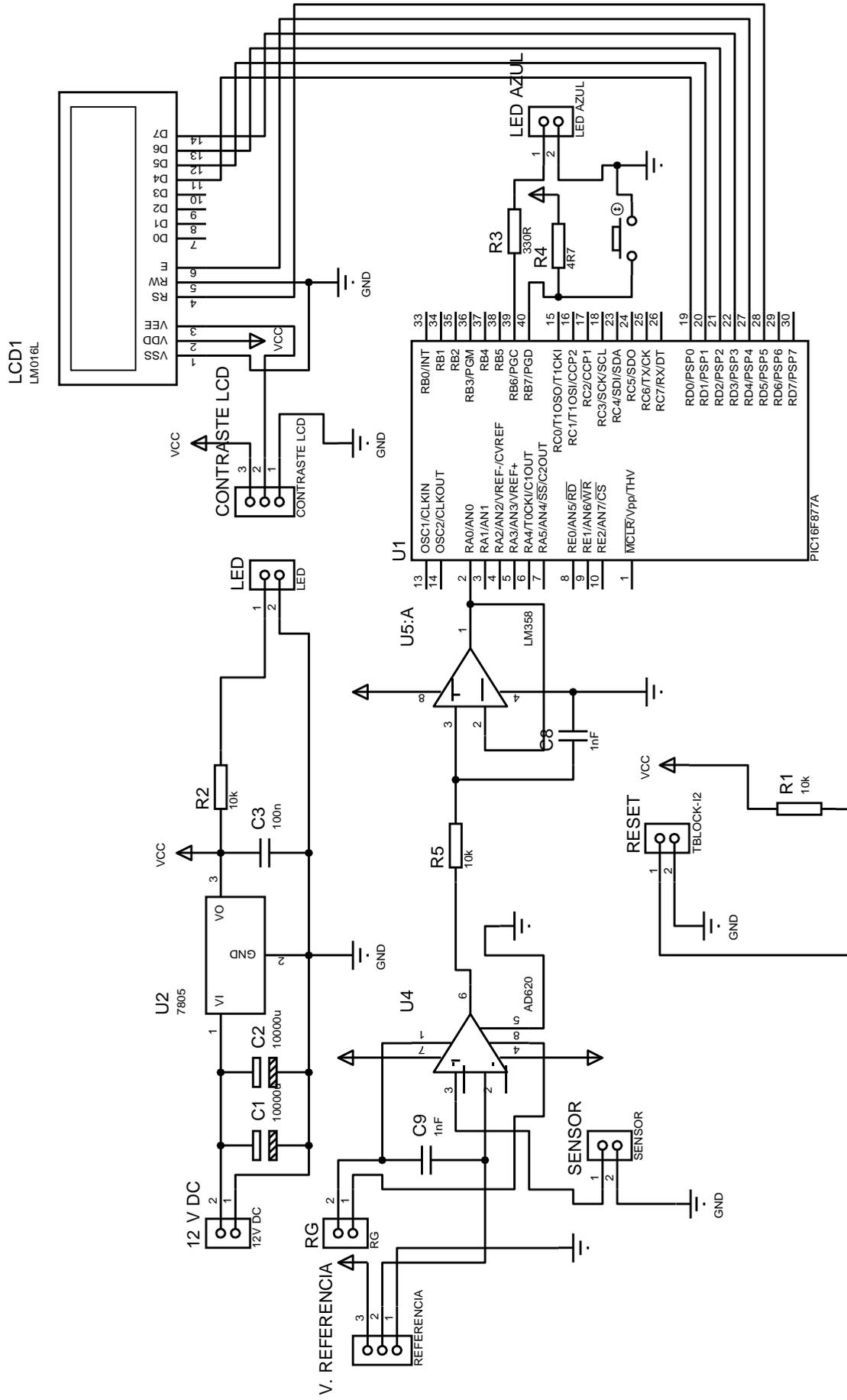


Figura N° 4.6 Esquema del circuito electrónico del sensado de señal de la variación de corriente del motor.

El microcontrolador tiene una opción de entradas ADC (convertor análogo digital) en donde la señal analógica que ingresa al PIC es convertida en señal digital y esta señal digital esta codificada en bits donde van de 0 a 1024 bits, con estos bits podemos ver la diferencia de bits que existe ya que cuando varía la corriente en el motor varía los bits.

Para el análisis en este caso se tomo muestras en dos tipos de compiladores tales como microcode y mikrobasic en donde en microcode se programó para ver el valor del convertor análogo digital haciéndole un acondicionamiento, el convertor es de 10 bits porque se utiliza el PIC 16F877A, es decir que los valores del convertor análogo digital va a ser de 0 a 1024 en donde por software acondicionamos de 0 a 500 mV es decir 0V es a 0 bit y 500 mV es a 1024 bits dando así una mejor sensibilidad a los valores del convertor pero en este software solo se puede trabajar con valores enteros. El mismo programa se hizo en mikrobasic y el mismo acondicionamiento de bits a diferencia que en mikrobasic se puede trabajar con variables float, es decir decimales.

En el acondicionamiento que vamos a tener vamos a tener por ejemplo un valor de 100 mV que en el valor del convertor va a ser el valor del ADC igual a 100 entonces, en el pin del PIC vamos a tener valores de 0 a 5 V es decir el valor del ADC va ir de 0 a 500mV.

4.3 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

4.3.1 SISTEMA MECÁNICO

Una vez realizado el diseño en solidworks y teniendo los planos necesario de la estructura mecánica de la banda transportadora como se muestra en el anexo N° 1.10, comenzamos con la construcción donde de acuerdo al diseño se construyó los rodillos en el torno con las medidas especificadas en el plano para lo cual utilizamos tubo de 4 pulgadas de diámetro con 5 mm de espesor en donde se coloco tapas con extensiones de ejes en el tambor motriz en donde en un lado irá el rodamiento necesario y en la parte más grande del eje ira el moto reductor respectivamente y en el tambor tensor, en

las tapas irán los rodamientos en donde el mecanismo tensor sostendrá al eje, como se muestra en la figura N° 4.7.



Figura N° 4. 7 Rodillos de la banda transportadora

Para la mesa de la banda transportadora una vez establecidas las medidas se dobló la lamina de hierro de 3mm y se perforó los hoyos en donde se van a poner las piezas y los pernos para el ensamblaje, como se muestra en la figura N°4.8.



Figura N° 4. 8 Mesa de la banda transportadora

Ya teniendo todas las piezas necesarias se envió a pintura toda la estructura de la mesa en donde se utilizó pintura electrostática lisa blanca y los rodillos de los mando a galvanizar como se muestra en la figura N°4.9. Se hizo este tipo de acabado dado que esta máquina es para cárnicos, se trata de evitar con este proceso oxidación de la máquina.



Figura N° 4. 9 Ensamble de los tambores y mecanismo tensor

Ya teniendo todas las piezas pintadas y galvanizadas proseguimos con el ensamble de la banda transportadora pieza por pieza, se fue ensamblando con pernos M8 o de 8mm de diámetro ya que los huecos estuvieron hecho para las medidas de ese perno, como se muestra en la figura N° 4.10.



Figura N° 4. 10 Mecanismo tensor

Se ensambló con mucho cuidado el mecanismo de tensión de la banda como se muestra en la figura N°4.11, ya que son los elementos principales en la alineación de la banda y su tensión en donde el mecanismo debe coincidir con las medidas diseñadas para no tener ningún inconveniente a futuro.

Colocamos los separadores de la banda para que la banda se mantenga firme, tuvimos que ajustar muy bien para que no exista problemas que se aflojen los pernos por las vibraciones de la banda, como se muestra en la figura N° 4.11.



Figura N° 4. 11 Ensamble de la patas de la banda transportadora

Ya ensamblada la mesa de la banda transportadora proseguimos a montar el motor en el mecanismo en donde según las medidas especificadas se lo coloca con una chaveta para que no que pueda girar el rodillo. También se fija el motor a la mesa para que no exista sobrecarga sobre el eje del tambor motriz y para que se mantenga alineado el eje con el motor como se muestra en la figura N° 4.12.



Figura N° 4. 12 Ensamble del motor en la banda transportadora

4.3.2 SISTEMA ELÉCTRICO

Una vez instalado el motor y ya hecho el diseño eléctrico del control de velocidad de la banda transportadora reconocimos los dispositivos de control que vamos a implementar en la caja de control de velocidad, como se muestra en la figura N° 4.13.



Figura N° 4. 13 Dispositivos de control de velocidad de la banda transportadora

Luego de que ya tenemos el modelo, ubicamos organizadamente los dispositivos en la caja haciendo los agujeros en donde van a ir el tablero de

control tales como pulsadores, potenciómetro, switch ON/OFF y luz piloto, como se muestra en la figura N° 4.14.



Figura N° 4. 14 Caja control de velocidad de la banda transportadora

Una vez hecho los hoyos en la caja y teniendo la ubicación de los dispositivos se continuo con el cableado del sistema como se muestra en la figura N° 4.15 conectador el sistema de control con el sistema de potencia en donde el sistema de potencia está conformado por un breaker o difusor, un contactor y el variador de frecuencia y la parte de control está conformado por 2 pulsadores uno de marcha y uno de paro, un switch on/off y un potenciómetro para calibrar la frecuencia del potenciómetro, esto se armo según el diseño hecho en CADe_SIMU.



Figura N° 4. 15 Cableado de control de velocidad de la banda transportadora

Ya armada la caja se montó en la banda transportadora poniéndola en un lugar accesible y cómodo para el usuario, después de tener ya todo ensamblado tomamos las medidas de centro a centro de los rodillos tanto el tensor como el motriz y tomando en cuenta el diámetro de los rodillos sacamos la relación para poder comprar la banda que ira con un cierre de acuerdo a las medidas especificadas, también colocamos un pare para que existe fricción entre la banda y la caja que se encuentra con la carne, en donde esto provoca el esfuerzo del motor y así la variación de corriente para poder tomar la medida, una vez tomada la variación este tope se podría abrir y continuar con el proceso en la banda transportadora como se muestra en la figura N° 4.16.



Figura N° 4. 16 Ensamble del control de velocidad en la banda transportadora

4.3.3 SISTEMA ELECTRÓNICO

Luego que se tiene construido la parte mecánica y sistema de control de velocidad se prosiguió a armar el circuito en un protoboard en donde se prosigue a tomar las pruebas necesarias para la parte de sensado de corriente, se utiliza un transformador de corriente, que es tipo bobina se lo coloca en una línea de alimentación del motor, dado que el motor es trifásico

tiene tres líneas pero basta con conectar a una línea para medir la corriente que consume el motor.

El transformador de corriente mide la corriente y se obtuvo como resultado un voltaje continuo pero este es muy pequeño por lo cual se tiene que amplificar. Se armó el circuito de amplificación y acondicionamiento, para lo cual debido a la naturaleza de los elementos y al medio ambiente en que se encuentra la máquina se tuvo que hacer un circuito para filtrar la señal, una vez amplificado, acondicionado y filtrada la señal se envía al PIC en donde se armó el circuito para que se muestre la información en un LCD, como se muestra en la figura N°4.17.

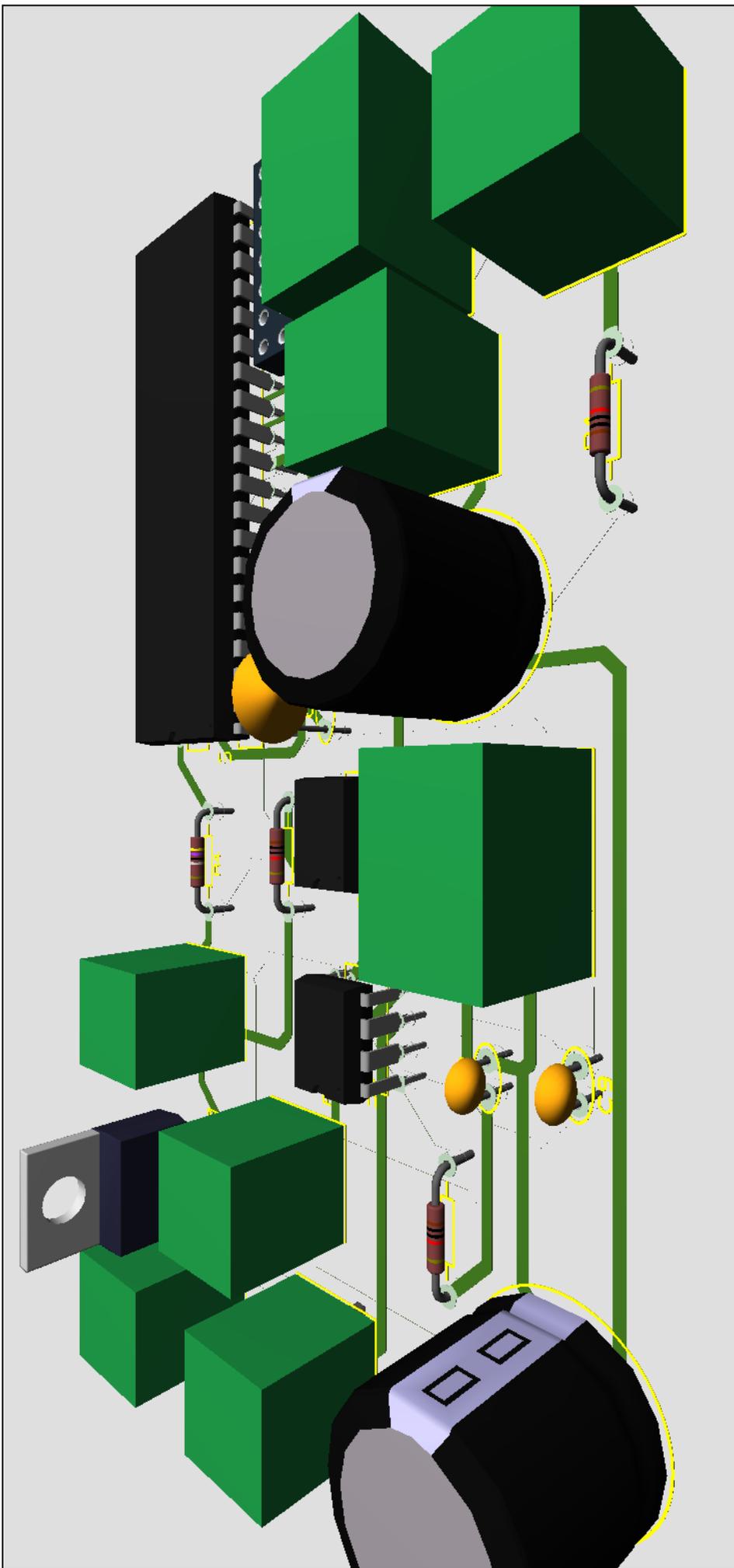


Figura N° 4.17 Esquema 3D de la placa del circuito de control del sensado de señal de la variación de corriente del motor.

Luego de tener la parte mecánica de la banda transportadora conjuntamente con la parte eléctrica que controla la velocidad de la banda y la parte electrónica de control de sensado de la variación de corriente se prosigue con las pruebas y calibración de la máquina como se muestra en la figura N° 4.18.



Figura N° 4. 18 Pruebas y calibración en la banda

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis del funcionamiento del sistema dinámico de pesado se realizaron pruebas de la relación existente entre la variación de corriente y la carga aplicada a la banda transportadora. El valor de la corriente en el motor se midió mediante el transformador de corriente CT-94-1, el que transforma la intensidad de corriente alterna utilizada en un valor de voltaje continuo mediante la aplicación del efecto Hall. Este valor después de pasar por la etapa de amplificación, acondicionamiento y filtrado se transforma a un valor digital para ser analizado en un microcontrolador en donde en las pruebas realizadas se muestra el valor digital (numero de bits) de la intensidad de corriente en relación al peso aplicado en la banda transportadora.

Se tomó medidas de la intensidad de corriente en relación al peso.

Se realizó 5 muestras con cada peso, siendo 21 los pesos utilizados en las pruebas.

En las 4 primeras pruebas el programa de análisis de la variación de corriente se realizó en el compilador microcode, sin embargo, debido a que 4 pruebas realizadas en microcode tenía valores solo enteros las demás pruebas se realizaron utilizando el compilador mikrobasic.

Esto permitió obtener la función característica de la variación de corriente que como se observa en la figura N° 5.1 y figura N° 5.2 es lineal con un coeficiente de determinación entre 0,89 y 0,99, lo que demuestra que la aplicación de este efecto es apta para su utilización como un método de pesado en sistemas dinámicos.

Tabla Nº 5. 1 Ejemplo tabla microcode para la prueba 2 características del sistema

PESO (g)	#A/D1	#A/D2	#A/D3	#A/D4	#A/D5	PRUEBA 2
10000	85	82	80	86	86	83,8
10582	83	89	86	82	81	84,2
10607	84	82	84	87	86	84,6
10734	93	93	94	97	85	92,4
10875	88	97	98	95	90	93,6
10966	117	115	104	114	106	111,2
11780	112	130	122	130	126	124
11988	130	122	120	129	126	125,4
12346	126	123	129	126	125	125,8
12928	128	120	129	124	128	125,8
12953	128	123	125	129	125	126
13080	121	130	123	128	127	125,8
13221	136	132	129	135	122	130,8
13312	128	140	139	131	139	135,4
14126	135	144	131	148	146	140,8
14334	150	152	153	156	154	153
14916	164	165	169	157	166	164,2
14941	165	168	161	168	162	164,8
16175	166	170	168	171	165	168
17955	167	168	175	166	168	168,8
19878	265	279	284	286	272	277,2

Tabla Nº 5. 2 Ejemplo tabla mikrobasic para la prueba 4 características del sistema

PESO (g)	#A/D1	#A/D2	#A/D3	#A/D4	#A/D5	PRUEBA 4
10000	92,674	89,916	88,808	96,467	97,797	93,132
10582	90,768	92,751	99,763	95,947	100,864	96,019
10607	102,860	104,145	98,847	102,864	99,843	101,712
10734	97,578	109,675	115,745	110,743	98,765	106,501
10875	110,743	103,001	103,756	111,754	108,765	107,604
10966	117,674	109,754	109,765	111,874	108,873	111,588
11780	122,736	125,753	113,864	121,240	119,784	120,675
11988	115,746	126,733	120,871	121,864	119,761	120,995
12346	118,987	125,765	123,784	121,784	134,764	125,017
12928	125,765	127,765	128,765	124,657	125,765	126,543
12953	126,751	122,111	127,765	128,765	127,654	126,609
13080	132,876	139,876	136,876	139,876	138,870	137,675
13221	138,765	141,765	133,765	142,765	135,876	138,587
13312	143,654	138,765	145,983	140,876	136,876	141,231
14126	163,763	177,653	146,269	169,741	174,663	166,418
14334	188,765	185,872	177,765	178,870	172,871	180,829
14916	188,876	190,754	189,653	179,862	186,765	187,182
14941	184,863	190,860	200,765	198,973	196,863	194,465
16175	213,674	210,743	211,187	200,346	208,643	208,919
17955	224,418	217,988	219,057	220,859	224,447	221,354
19878	235,639	226,142	230,097	236,386	240,170	233,687

El resultado de de las pruebas realizadas se muestra en las siguientes figuras para las pruebas, realizadas en microcode y mikrobasic. Como se ve en la figura Nº 5.1 y figura Nº 5.2, son lineales y se puede concluir esto debido a su coeficiente de determinación R^2

En el gráfico de la figura Nº 5.1, indica los puntos de dispersión de los promedios en las tablas elaboradas con el programa desarrollado en microcode en donde claramente vemos la tendencia de las ecuaciones y el

R^2 es el coeficiente de determinación mientras más cercado a uno quiere decir que es lineal.

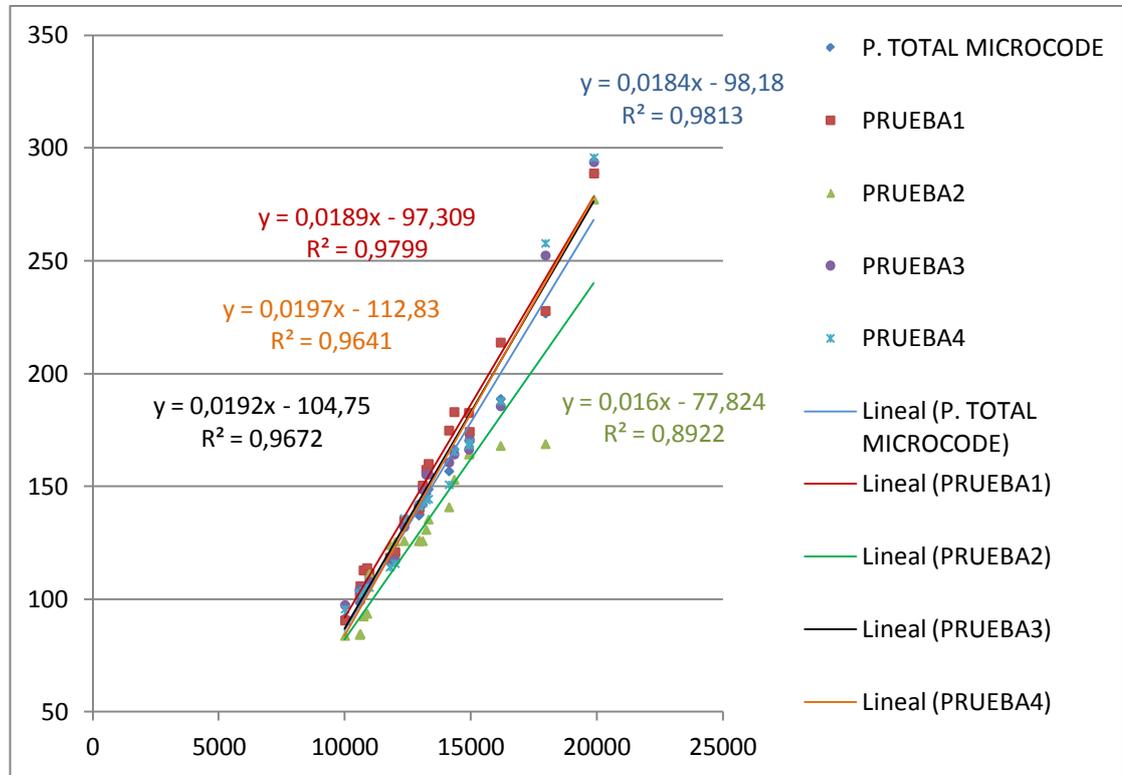


Figura Nº 5. 1 Pruebas en el programa hecho en microcode con las siguientes características; Voltaje de entrada 12V, Voltaje de referencia 62mV, frecuencia del variador 40 Hz.

En la figura Nº 5.2, se tiene los puntos de dispersión del programa hecho en microbasic donde los valores se encuentran con decimales de la misma manera se tienen las ecuaciones de los promedios de las cuatro tablas que se tomarón para poder sacar la ecuación de tendencia que va a servir para poder sacar el peso que se encuentra sobre la banda transportadora.

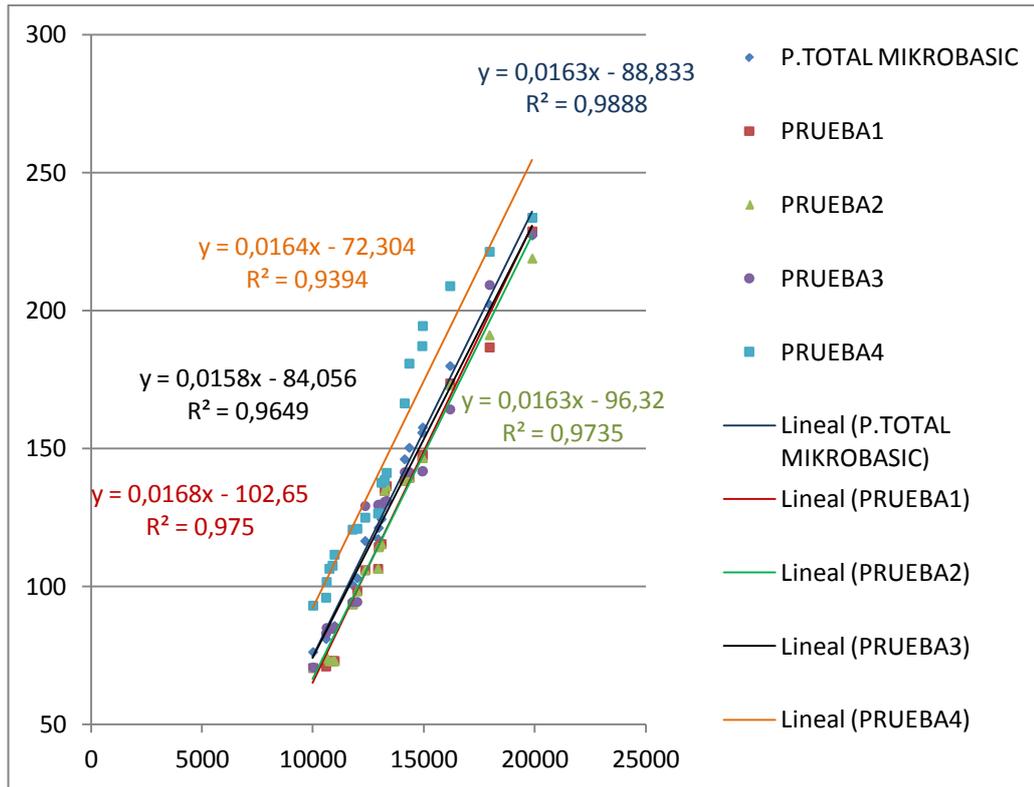


Figura N° 5. 2 Pruebas en el programa hecho en mikrobasic con las siguientes características; Voltaje de entrada 12V, Voltaje de referencia 62mV, frecuencia del variador 40 Hz.

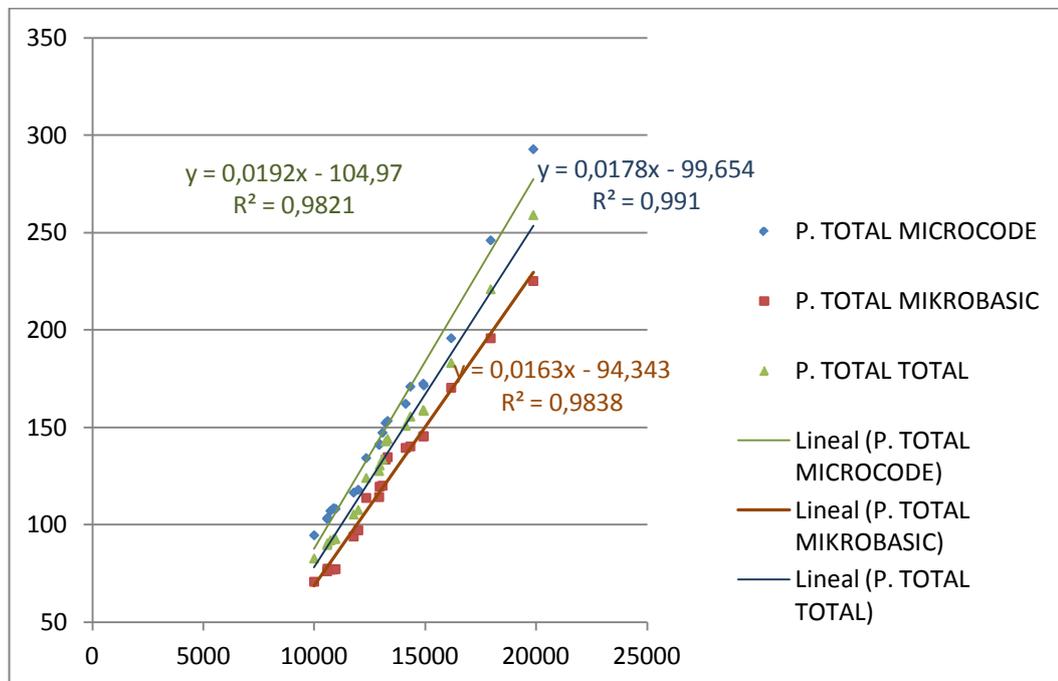


Figura N° 5. 3 Promedios de los Pruebas de los programa hechos en microcode y mikrobasic respectivamente con las siguientes características; Voltaje de entrada 12V, Voltaje de referencia 62mV, frecuencia del variador 40 Hz.

En la figura N° 5.3, se tienen las ecuaciones de los promedios de las pruebas tanto para microcode como para mikrobasic en donde para poder sacar esta tabla se eliminó las ecuaciones que estaban más alejadas, en la figura N° 5.1 se eliminó la ecuación de color verde $y = 0,016x - 77,824$; es decir el promedio de la tabla 2, para poder sacar el promedio solo de las pruebas de la tabla 1,3 y 4. Se hizo esto para tratar de mejorar el error y así tener valores más cercanos al valor real de la carga sobre la banda. De igual manera en la figura 5.2 se eliminó la ecuación de color naranja $y = 0,0164x - 72,304$; es decir el promedio de la tabla 4 para sacar el promedio de los promedios de la tabla 1,2 y 3. Por último y una vez eliminadas respectivamente las ecuaciones que tienen valores de factor de determinante lejanos de uno, se sacó el promedio del promedio de las tablas restantes de microcode con el promedio de las tablas de mikrobasic Dando como resultado la ecuación de color azul $y = 0,0178x - 99,654$ con un factor de determinación igual a 0,991.

Una vez sacada las ecuaciones se realizó las pruebas de los pesos para poder sacar el margen de error que existe en el sistema de pesado teniendo como resultado el 5% de error.

Tabla Nº 5. 3 Pesos estimados, prueba final.

PESO (g)	EC. MIKROBASIC (Bits)	Delta (Bits)	EC. TOTALDELTOTAL (Bits)	Delta (Bits)
10000	10241	241	9497	503
10582	10894	312	10131	451
10607	11024	417	10330	277
10734	11023	289	9614	1120
10875	11412	537	11113	238
10966	12193	1227	11015	49
11780	12111	331	11215	565
11988	11800	188	12190	202
12346	12667	321	13039	693
12928	12671	257	13109	181
12953	13001	48	13103	150
13080	13295	215	13138	58
13221	13416	195	13573	352
13312	13300	12	13447	135
14126	14943	817	14104	22
14334	14619	285	14401	67
14916	15552	636	15439	523
14941	15727	786	15370	429
16175	16999	824	15902	273
17955	18075	120	18018	63
19878	20367	489	19221	657

De esta tabla se estable que los pesos obtenidos mediante el sistema dinámico de pesado no son precisos teniendo un 5% de error, por este motivo demuestra que este sistema funciona correctamente y que sus resultados son buenos y se puede continuar con la investigación.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un sistema dinámico de pesado para cárnico en el que mediante la variación de corriente se determina el peso aplicado.
- Se diseñó un sistema de sensado de corriente y procesamiento de señal donde se evidenció que la dependencia de la intensidad de corriente real al peso es directamente proporcional y lineal. Se obtuvieron datos con los que se demuestra que el coeficiente de determinación, R^2 es aproximadamente 0,999.
- Se determinó que pese al 5% de error obtenido, la función obtenida nos permite suponer que desarrollar sistemas de estas características es factible, sin embargo, la precisión tanto de los equipos mecánicos como electrónicos es de suma importancia. El componente mecánico no tenga pequeñas vibraciones o este desalineado ya que afecta de manera notable el funcionamiento, consecuentemente la variación de corriente no sería estable. Por su parte el componente electrónico se realizó con elementos discretos lo que requiere de conductores que por su longitud podría verse afectada por campos electromagnéticos lo que provoca ruido en la señal, para solucionar estos problemas sería necesario miniaturización del sistema de control.

6.2 RECOMENDACIONES

- Se debería encontrar un sensor que sea más sensible o tecnología avanzada para poder medir la variación de corriente y así poder procesar los datos de una mejor manera.
- Se debería estabilizar el sistema ya que los ejes deben estar bien alineados con el motor para que no exista una diferencia en la toma de medidas en el momento de hacer las pruebas y así tener mejores resultados.
- Se debería estudiar más detalladamente los problemas del sistema para obtener futuras soluciones que mejoren el sistema.

BIBLIOGRAFÍA

Alcober, X, Ingeniería química, Pesaje de cargas en movimiento, ISSN 0210-2064, Nº 410, 101-110.

Hernández, M, (2011), ELECTRÓNICA DE POTENCIA, Salamanca Gto.

Pasquel, C, CONTROL DE VELOCIDAD Y TORQUE DEL SISTEMA MOTRIZ DE UNA BANDA TRANSPORTADORA, 2010.

Gómez, J, Olmos, J, *Cuestiones y problemas de electromagnetismo y semiconductores*. I.S.B.N.: 84-7721-827-7. Servicio de Publicaciones SPUPV-99.4157, Universidad Politécnica de Valencia.

Angulo, J, & Angulo I, (2003), MICROCONTROLADORES «PIC» Diseño práctico de aplicaciones, (3ª Ed.), McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA. S.A.

Valencia, R, (2008), APLICACIONES ELECTRÓNICAS CON MICROCONTROLADORES AVR LENGUAJE BASIC (Bascom AVR), IMPRENTA GRAFICOLOR (IBARRA).

Boylestad, R, (2004), ELECTRÓNICA TEORÍA DE CIRCUITOS, (10ª Ed.), Pearson Education, México, S.A.

Méndez, A, (2006), METODOLOGÍA MECATRÓNICA, Universidad Autónoma de Occidente. Cali.

Casillas, A, MAQUINAS CALCULOS DE TALLER, España.

Mott, R, (2006), DISEÑO DE ELEMNETOS DE MÁQUINAS, México, Pearson Education, Inc.

Lombard, M, (2011). SolidWorks 2011 Assemblies Bible, Estados Unidos, Wiley Publishing Inc.

Cuesta, L, & Gil Padilla, A, & Remiro, F, (1991), ELECTRONICA ANALÓGICA, McGRAW-HILL, Interamericana de España, S.A.

Moreno, A, MOTORES ELECTRICOS, Recuperado el 03 del 03 de 2012, <http://www.mailxmail.com/cursomantenimientoindustrial33/motoreselectricos>.

Videla, A, MANUAL DE MOTORES ELECTRICOS, <http://es.scribd.com/doc/2448049/Manualdemotoreselectricos>, Recuperado el 30 del 07 del 2011.

El Directorio Industrial, Recuperado 29 de 05 de 2012, <http://www.logismarket.cl/pesamatic/chequeadordepesoconvelocidadvariable/1560091257-1460814258p.html?source=IMG#images>.

Ramos, F, CIRCUITOS DE CONTROL Y MOTORES ELÉCTRICOS PARTE 1, <http://es.scribd.com/Fernando%20Ramos%20Albarr%C3%A1n/d/2404221CircuitosdecontrolymotoreselectricosParte1>.

Ramos, F, CIRCUITOS DE CONTROL Y MOTORES ELÉCTRICOS PARTE 2, <http://es.scribd.com/Fernando%20Ramos%20Albarr%C3%A1n/d/2404238CircuitosdecontrolymotoreselectricosParte2>.

FORMULAS DE MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA, Recuperado 9 de 04 de 2012, <http://www.nichese.com>

García, J, & Alvarez, A, ASÍ FUNCIONA LA CONVERSIÓN ANALÓGICO DIGITAL, <http://www.asifunciona.com/electronica/afconvad/convad5.htm>.

Villanueva, J, (2001), SIMULACIÓN ELECTRÓNICA, CADe SIMU,
<http://personales.ya.com/canalPLC>.

ANEXOS

Anexo Nº 1. 1 Ficha de datos de la Banda

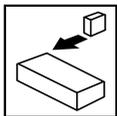
Grupo del producto	Bandas transportadoras y de procesamiento de TPU.
Subgrupo del producto	Bandas transportadoras food.
Segmento industrial	Panadería (galletas); Panadería (pan); Queso; Chocolate/pastelería; Procesamiento de pescado; Alimento sin empaquetar/abierto; Carnes; Aves; Verduras.
Aplicaciones de la correa	Banda de sección de enfriamiento; Banda de descarga; Banda de transporte general; Banda introductora; Banda de inspección/control; Banda calibradora; Banda empaquetadora; Banda de proceso; Banda de transferencia; Banda para pesadora/báscula.
Características especiales	Fácil limpieza; Superficie de la banda lisa y sin poros; Sabor neutro.
Modo de utilización/transporta	Horizontal Inclinado

Anexo Nº 1. 2 Datos Técnicos de la banda

Característica	Medida SI	Medida SE
Grosor	1.2 mm.	0.05 en.
Masa de la correa	1.3 kg/m ²	0.27 lbs/sq.ft
Radio de la barra de frente (mínimo)	2 mm.	0.08 en.
Diámetro de polea (mínimo)	15 mm.	0.6 en.
Carga para el 1% de extensión por unidad de ancho.	8 N/m	46 lbs/in
Fuerza para el 1% de alargamiento después de la relajación por unidad de ancho.	6 N/m	34 lbs/in
Fuerza de tracción admisible (continua)	13 N/mm	74 lbs/in
Temperatura de funcionamiento admisible (continua)	Min -30 °C Max 80 °C	Min -22 °F Max 176 °F
Coeficiente de fricción sobre la mesa de apoyo acero.	0.20 [-]	0.2 []

Anexo Nº 1. 3 Datos Técnicos del Variador de Frecuencia

Conformidad	CE Directiva de bajo voltaje (2006/95/EC) y EMC (2004/106/EC).	
Longitud máx. permitida del cable del motor.	Blindado: 50m (baja capacitancia) Sin blindar: 100m	
Desequilibrio de fase de tensión de entrada.	≤ 2%	
Humedad.	≤ 90% sin condensación	
Frecuencia de salida.	0...500 Hz.	
Condiciones medioambientales	Clase 3K3 según EN 50178	
Intervalo de temperatura.	Transporte.	-25...+70 °C
	Almacenamiento.	-20...+70 °C
	Funcionamiento.	0...+55 °C
Altura de la instalación.	0...4000 sobre el nivel del mar	
Resistencia a la vibración.	Aceleración resistente hasta 0,7g 10...150Hz.	
Corriente de fuga a tierra.	>3,5 mA hasta PE	
Cubierta (EN 60529)	IP 20	
Medidas de protección contra.	Cortocircuito, fuga a tierra, sobretensión, parada del motor, sobrecarga del motor.	
Funcionamiento en redes de suministros públicos (limitación de corriente armónica conforme a EN 61000-3-2)	Potencia total conectada a la red de suministro.	Cumplimiento de los requisitos.
	< 0,5 kW	Con reductor de red de suministro.
	0,5...1 kW	Con filtro activo.
	>1kW	Sin medidas adicionales.



Instalación

3.2 Instalación eléctrica

3.2.1 Instalación según los requisitos EMC

<p>EMC Cumplimiento de la norma EN 61800-3/A11</p>	
<p>Emisión de ruidos Cumplimiento del valor límite de clase A conforme a la norma EN 55011 si se instala en un armario de control con el filtro adecuado y la longitud del cable no supera los 10 m.</p>	
<p>[A] Abrazaderas de blindaje [B] Cable de control [C] Cable del motor de baja capacitancia (núcleo/núcleo ≤ 75 pF/m, núcleo/blindaje ≤ 150 pF/m) [D] Placa de montaje conductora [E] Filtro</p>	

Tmd005

3.2.2 Secciones de fusibles/cables

Tipo	Recomendaciones ⁽¹⁾					E.I.c.b. ⁽²⁾	
	Fusible	Disyuntor en miniatura ⁽⁵⁾	Fusible ⁽³⁾ o Disyuntor ⁽⁶⁾ (N. America)	Cableado de potencia de entrada (L1, L2/N, L3, PE)			
	[A]	[A]	[A]	[mm ²]	[AWG]		
1/N/PE	ESMD371C2YXA	10	C10	10	1,5	14	≥ 30 mA
	ESMD751C2YXA	16	C16	15	2,5	14	
	ESMD112C2YXA	20	C20	20	2,5	12	
	ESMD152C2YXA	25	C25	25	2,5	12	
	ESMD222C2YXA	30	C30	30	4	10	
3/PE	ESMD371C2YXA ... ESMD751C2YXA ESMD371C4TXA ... ESMD222C4TXA	10	C10	10	1,5	14	
	ESMD112C2YXA, ESMD152C2YXA ESMD302C4TXA	12	C12	12	1,5	14	
	ESMD222C2YXA	16	C16	15	2,5	12	
	ESMD402C4TXA	16	C16	15	2,5	14	
	ESMD302C2TXA ESMD552C4TXA	20	C20	20	2,5	12	
	ESMD402C2TXA ESMD752C4TXA	25	C25	25	4	10	
	ESMD552C2TXA, ESMD113C4TXA	35	C35	35	6	8	
	ESMD752C2TXA, ESMD153C4TXA	45	C45	45	10	8	
	ESMD183C4TXA	60	C60	60	16	6	
	ESMD113C2TXA, ESMD223C4TXA	70	C70	70	16	6	
ESMD153C2TXA	90	C90	90	16	4		

(1) Debe cumplir con las normas locales aplicables.

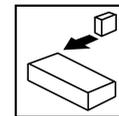
(2) Cortacircuito sensible a la pérdida de corriente a tierra de corriente por pulsos o corriente universal.

(3) Fusibles de tipo de limitación de corriente de respuesta rápida UL Clase CC o T, 200,000 AIC, necesarios. Bussman KTK-R, JJJ, JJS, o equivalente.

(4) Conexión sin casquillos o con conectores de clavijas (pin).

(5) Las instalaciones con corriente que falla a menudo debido a una vasta red de suministro pueden precisar un disyuntor de tipo D.

(6) Se prefieren disyuntores de tipo termomagnético.

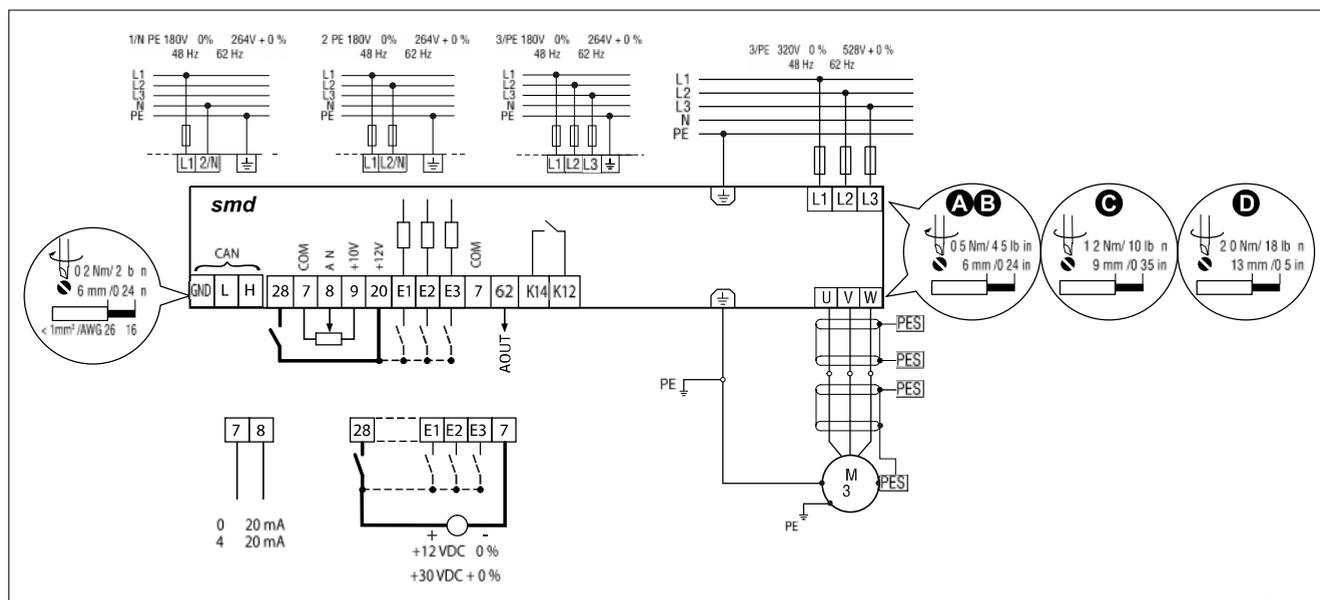


Instalación

Tenga en cuenta lo siguiente cuando utilice el disyuntor de pérdida a tierra (E.I.c.b):

- Instalación del disyuntor de fuga a tierra únicamente entre la red de suministro y el controlador.
- El disyuntor de fuga a tierra se puede activar mediante:
 - corrientes de fuga capacitiva entre los blindajes de cable durante el funcionamiento (especialmente con largos cables de motor blindados)
 - la conexión de varios controladores a la red de suministro al mismo tiempo
 - filtros RFI

3.2.3 Diagrama de conexión



C0002



¡PELIGRO!

- Peligro de descarga eléctrica. El potencial eléctrico del circuito puede alcanzar los 240 VAC sobre la conexión a tierra. Los condensadores conservan la carga después de desconectar el suministro de corriente. Desconecte el suministro de corriente y espere hasta que la tensión entre B+ y B- sea 0 VDC antes de revisar el convertidor.
- No conecte los terminales de salida (U,V,W) a la red de suministro. El equipo puede resultar gravemente dañada.
- No conecte y desconecte la corriente de la red de suministro más de una vez cada tres minutos. Dañará el equipo.

Anexo N° 1. 6 Características del transformador de corriente CT-94-1

Visit our website for more information on Controls Transformers

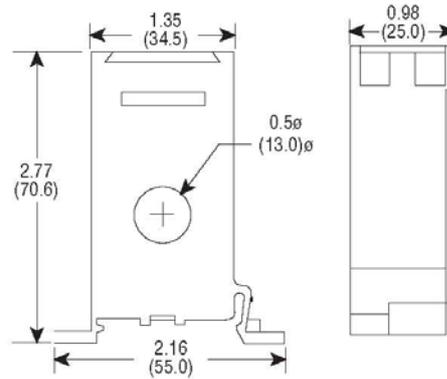
Controls

<http://www.chromalox.com>

CT-94-1 Current Transformer

- For Current Monitoring or Heater Break Detection with ETR Series Controls
- High Accuracy: $\pm 2\%$ of Reading $\pm 0.2A$
- Wide Measuring Range: 0- 50A ac
- DC Voltage Output to Controller
- Flexible Installation: DIN Rail Mount or Wall (Screw) Mount

Dimension Specifications in Inches (mm)



Description

The CT-94-1 is a current transformer with a wide measuring range of 0 - 50Amp AC. The CT-94-1 can be used for current monitoring or broken heater detection with control models ETR-3400, ETR-4300, ETR-8300 and ETR-9300.

Typical Characteristics

AC Current Under Measurement	DC Output Voltage
0.0 Aac	0.000 Vdc
0.2 Aac	0.0082 Vdc
1.0 Aac	0.0817 Vdc
10 Aac	0.945 Vdc
50 Aac	5.000 Vdc

Specifications

Accuracy:	$\pm 2\%$ of reading $\pm 0.2A$
Nominal Current:	0 - 50 A
Peak Current:	70A ac 1 minute
Output Impedance:	2.7 Kohms
Frequency Range:	47 - 63 Hz, sinewave
Breakdown Voltage:	2500 Vac, 1 minute
Isolation Resistance:	>500 Mohm vs. 500 Vdc
Ambient Temperature:	0 to 60°C
Storage Temperature:	-20 to 80°C
Mounting Method:	DIN rail mount or Wall mount
Cable Size:	12.5mm diameter max.
Dimensions:	55mm(L) x 25.0mm(W) x 70.6mm(H)
Weight	105 grams



PIC16F87XA

28/40-Pin Enhanced FLASH Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A • PIC16F876A
- PIC16F874A • PIC16F877A

High Performance RISC CPU:

- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM),
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin
PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during SLEEP via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™
(Master mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with
external \overline{RD} , \overline{WR} and \overline{CS} controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

Analog Features:

- 10-bit, up to 8 channel Analog-to-Digital
Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference
(V_{REF}) module
 - Programmable input multiplexing from device
inputs and internal voltage reference
 - Comparator outputs are externally accessible

Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced FLASH
program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM
memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Single supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

CMOS Technology:

- Low power, high speed FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low power consumption

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I ² C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2

Anexo Nº 1. 8 Características del amplificador de instrumentación AD620



Low Cost, Low Power Instrumentation Amplifier

AD620

FEATURES

EASY TO USE

Gain Set with One External Resistor
(Gain Range 1 to 1000)

Wide Power Supply Range (± 2.3 V to ± 18 V)
Higher Performance than Three Op Amp IA Designs
Available in 8-Lead DIP and SOIC Packaging
Low Power, 1.3 mA max Supply Current

EXCELLENT DC PERFORMANCE ("B GRADE")

50 μ V max, Input Offset Voltage
0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, Input Offset Drift
1.0 nA max, Input Bias Current
100 dB min Common-Mode Rejection Ratio (G = 10)

LOW NOISE

9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @ 1 kHz, Input Voltage Noise
0.28 μ V p-p Noise (0.1 Hz to 10 Hz)

EXCELLENT AC SPECIFICATIONS

120 kHz Bandwidth (G = 100)
15 μ s Settling Time to 0.01%

APPLICATIONS

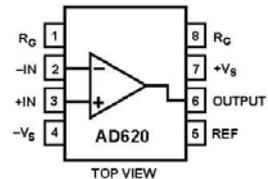
Weigh Scales
ECG and Medical Instrumentation
Transducer Interface
Data Acquisition Systems
Industrial Process Controls
Battery Powered and Portable Equipment

PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier that requires only one external resistor to set gains of 1 to

CONNECTION DIAGRAM

8-Lead Plastic Mini-DIP (N), Cerdip (Q)
and SOIC (R) Packages



1000. Furthermore, the AD620 features 8-lead SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs, and offers lower power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50 μ V max and offset drift of 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces. Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max is made possible with the use of SuperBeta processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 kHz, 0.28 μ V p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, 0.1 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15 μ s to 0.01% and its cost is low enough to enable designs with one in-amp per channel.

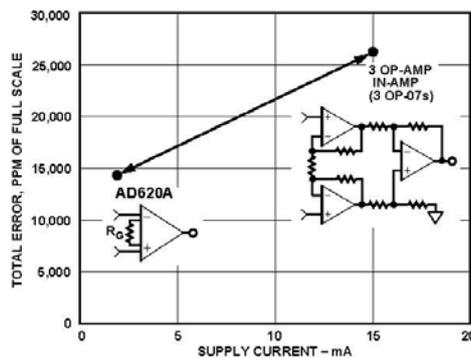


Figure 1. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

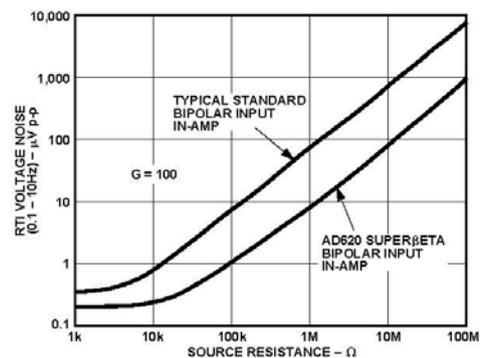


Figure 2. Total Voltage Noise vs. Source Resistance

REV. E

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>
Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1999



LM2904, LM358/LM358A, LM258/ LM258A

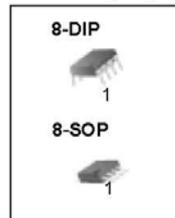
Dual Operational Amplifier

Features

- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
- Large DC Voltage Gain: 100dB
- Wide Power Supply Range:
LM258/LM258A, LM358/LM358A: 3V~32V (or $\pm 1.5V \sim 16V$)
LM2904 : 3V~26V (or $\pm 1.5V \sim 13V$)
- Input Common Mode Voltage Range Includes Ground
- Large Output Voltage Swing: 0V DC to $V_{CC} - 1.5V$ DC
- Power Drain Suitable for Battery Operation.

Description

The LM2904, LM358/LM358A, LM258/LM258A consist of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltage. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. Application areas include transducer amplifier, DC gain blocks and all the conventional OP-AMP circuits which now can be easily implemented in single power supply systems.



Internal Block Diagram

