



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TEMA:

**“Diseño de un sistema de riego automatizado mediante proteus, con tecnología arduino y variador de frecuencia aplicado a un motor asíncrono”**

AUTOR:

CHONG RENDÓN, ERIC DENZEL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
**INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICA CON MENCIÓN EN  
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

TUTOR:

ING. QUEZADA CALLE, EDGAR RAUL. M.Sc.

Guayaquil, Ecuador

17 de septiembre del 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA**

### **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **CHONG RENDÓN, ERIC DENZEL** como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero en Eléctrico Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial**.

**TUTOR**

\_\_\_\_\_  
M. Sc. Quezada Calle, Edgar Raúl

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

\_\_\_\_\_  
M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **CHONG RENDÓN, ERIC DENZEL**

### DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Diseño de un sistema de riego automatizado mediante proteus, con tecnología arduino y variador de frecuencia aplicado a un motor asíncrono**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Eléctrico Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2021

**EL AUTOR**

f. \_\_\_\_\_  
**CHONG RENDÓN, ERIC DENZEL**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA**

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, **CHONG RENDÓN, ERIC DENZEL**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Diseño de un sistema de riego automatizado mediante proteus, con tecnología arduino y variador de frecuencia aplicado a un motor asíncrono**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2021

**EL AUTOR:**

f. \_\_\_\_\_  
**CHONG RENDÓN, ERIC DENZEL**

# REPORTE URKUND

The screenshot shows the URKUND interface. On the left, document details are displayed: **Documento**: Trabajo de Titulación - Eric Chong - Semestre A 2021.docx (D114359807); **Presentado**: 2021-10-05 17:40 (-04:00); **Presentado por**: fernandopm23@hotmail.com; **Recibido**: edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com; **Mensaje**: Revisión TT Eric Chong. A yellow box indicates that 4% of the 39 pages consist of text from 4 sources. On the right, a 'Lista de fuentes' (List of sources) table is shown with columns for 'Categoría' and 'Enlace/nombre de archivo'. The sources listed include: 'ESPOCH-25T00161.pdf', 'http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/12956/1...', 'Tesis Xavier Pilaquinga2.docx', 'Trabajo Titulacion SR VALERIANO JULIO 2017.docx', 'TESIS cap completos final mas indice.docx', and 'https://1library.co/document/y4kdg60g-variador-de-frec...'. The bottom toolbar contains icons for navigation and actions like '1 Advertencias', 'Reiniciar', 'Exportar', and 'Compartir'.

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TEMA: "Diseño de un sistema de riego automatizado mediante proteus, con tecnología arduino y variador de frecuencia aplicado a un motor asincrónico"

AUTOR: CHONG RENDÓN, ERIC DENZEL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

TUTOR: ING. QUEZADA CALLE, EDGAR RAUL. M.Sc.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre

del 2021

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios:

Por siempre estar presente, cuidar de mi persona y de mi familia cada día, por brindarme salud, por guiar e iluminar mi camino para cumplir con mis propósitos, ser una mejor persona y nunca desistir.

A mis padres:

Por regalarme la vida, por brindarme la oportunidad de estudiar basándome en todo su esfuerzo, por sostenerme e incitarme a que siga siempre adelante y por ser un excelente ejemplo a seguir, ya que sin ellos esta meta sería imposible.

A mis hermanas:

Por brindarme ese apoyo en todo momento, dándome coraje y fuerza para seguir adelante e inspirarme a ser un ejemplo el cual ellas puedan admirar.

A mis amigos:

Por su más preciada amistad, que día a día me han demostrado, que clase tras clase me han brindado su apoyo, sus consejos.

A mis profesores:

Por compartir su felicidad, consejos, sabiduría y conocimientos conmigo, por hacer que cada clase sea diferente y toda una meta la cual alcanzar, por enseñarme que lo importante no es aprobar sino aprender.

## **DEDICATORIA**

A mi familia:

Este proyecto de titulación es la culminación de las etapas más importantes de mi vida y carrera, y va dirigido a ustedes. Fue un camino demasiado largo, pero no hay palabras o acciones adecuadas para agradecerles su amor, cariño, sacrificio y apoyo.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA CON  
MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

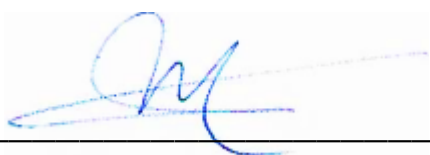
**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. 

**M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús**  
DECANO

f. 

**M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando**  
DIRETOR DE CARRERA

f. 

**M. Sc. Suárez Murillo, Efraín Oswaldo**  
OPONENTE



## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	VI
DEDICATORIA .....	VII
RESUMEN.....	XVII
ABSTRACT .....	XVIII
Capítulo 1 : GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	2
1.1 Introducción .....	2
1.2 Justificación.....	3
1.3 Antecedentes .....	4
1.4 Planteamiento del problema.....	5
1.5 Objetivos .....	6
1.5.1 Objetivo General .....	6
1.5.2 Objetivos Específicos.....	6
1.6 Hipótesis.....	6
Capítulo 2 : MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 El Motor Asíncrono.....	7
2.2 Partes principales de un motor asíncrono.....	7
2.2.1 Estator .....	8
2.2.2 Bobinado .....	8
2.2.3 Jaula de Ardilla .....	8
2.3 Principio de funcionamiento de los motores asíncronos.....	8
2.4 Características eléctricas principales de los motores asíncronos .....	9
2.5 Sistemas de arranque de los motores trifásicos asíncronos.....	9
2.6 Arranques del motor de inducción de rotor bobinado.....	10
2.6.1 Arranque intercalando resistencia en el devanado del rotor .....	10
2.7 Arranques del motor de inducción jaula de ardilla .....	11
2.7.1 Arranque Directo.....	11
2.7.2 Características .....	11
2.7.3 Arranque estrella-triángulo de motores trifásicos de jaula .....	12
2.7.4 Características .....	12
2.7.5 Arranque a tensión reducida por medio de resistencias estatóricas .....	13
2.7.6 Características .....	13
2.7.7 Arranque con Autotransformador .....	15

2.7.8 Características .....	15
2.7.9 Arranque con Variador de Frecuencia .....	16
2.7.10 Características .....	16
2.8 Variador de Frecuencia .....	17
2.9 Ventajas de la utilización del Variador de Frecuencia en el arranque de motores asíncronos.....	18
2.10 Inconvenientes de la utilización del Variador de Frecuencia en el arranque de motores asíncronos.....	19
2.11 Consecuencias de la variación de tensión o frecuencia sobre un motor asíncrono .....	19
2.11.1 Aumento o disminución de la tensión.....	19
2.11.1.1 Velocidad .....	19
2.11.1.2 Par .....	20
2.11.1.3 Intensidad de arranque .....	20
2.11.2 Aumento o disminución de frecuencia.....	20
2.11.2.1 Velocidad .....	21
2.11.2.2 Par .....	21
2.11.2.3 Intensidad de arranque .....	21
2.12 Funciones de los variadores de frecuencia.....	21
2.13 Tipos de variadores de frecuencia.....	22
2.13.1 Variadores eléctrico-electrónicos.....	22
2.13.2 Variadores para motores de Corriente Continua.....	23
2.13.3 Variadores de deslizamiento .....	24
2.13.4 Variador de frecuencia por medio de corrientes de Eddy.....	24
2.13.5 Variadores para motores de Corriente Alterna .....	25
2.14 Composición del Variador de Frecuencia .....	26
2.14.1 Módulo de Control .....	26
2.14.2 Módulo de Potencia .....	27
2.15 Componentes de potencia .....	28
2.15.1 El diodo .....	28
2.15.2 El transistor .....	29
2.15.3 El tiristor .....	29
2.15.4 El IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor).....	30
2.15.5 El GTO (Gate Turn off Thyristor) .....	30

2.15.6 El IPM (Intelligent Power Module) .....	31
2.16 Etapas de un Variador de Frecuencia .....	32
2.16.1 Etapa Rectificadora .....	32
2.16.2 Etapa intermedia .....	32
2.16.3 Inversor .....	32
2.16.4 Etapa de Control.....	32
2.17 Arduino .....	33
2.18 ¿Por qué Arduino?.....	34
2.19 Hardware .....	35
2.20 Placas E/S.....	35
2.20.1 Arduino UNO.....	36
2.20.2 Arduino Diecimila.....	37
2.20.3 Arduino Nano.....	39
2.20.4 Arduino Bluetooth.....	39
2.20.5 Arduino LilyPad.....	40
2.20.6 Arduino Mini.....	40
2.20.7 Arduino Serial .....	40
2.20.8 Arduino Serial Single Sided.....	41
2.21 Proteus.....	41
2.22 Sensores.....	42
2.23 Tipos de sensores .....	43
2.23.1 Sensores de luz visible .....	43
2.23.2 Sensores de luz infrarroja.....	43
2.23.3 Sensores de temperatura.....	44
2.23.4 Sensores de humedad .....	44
2.23.5 Sensores de distancia .....	45
2.23.6 Sensores de inclinación .....	45
2.23.7 Sensores de movimiento .....	46
2.23.8 Sensores de contacto .....	46
2.23.9 Sensores de sonido .....	47
Capítulo 3 : METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	48
3.1 Tipo de Investigación .....	48
3.1.1 Investigación Explicativa .....	48
3.1.2 Investigación Descriptiva.....	48

3.2 Métodos de Investigación .....	49
3.2.1 Método de observación .....	49
3.2.2 Método inductivo .....	49
3.2.3 Método analítico .....	50
3.3 Fuentes de Recopilación de Información .....	50
3.3.1 Secundarias .....	50
3.4 Diseño de Investigación .....	51
3.5 Introducción y descripción de los elementos y herramientas en la utilización del Proyecto.....	51
3.5.1 Selección del variador de frecuencia ABB, ACS150 .....	51
3.5.2 Selección del Sensor de Temperatura y Humedad Relativa DHT11 .....	52
3.5.3 Selección del Motor Trifásico .....	55
3.6 Diseño del sistema automatizado en Proteus .....	56
3.7 Conexión del Arduino con el Variador de Frecuencia.....	57
3.7.1 Modulación por ancho de pulso único .....	60
3.7.2 Modulación por ancho de pulso múltiple.....	61
3.7.3 Modulación por ancho de pulso sinusoidal.....	61
3.8 Diseño del Código Fuente Arduino.....	61
Capítulo 4 : ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	63
4.1 Análisis del funcionamiento del Variador de Frecuencia .....	63
4.2 Comparación del consumo energético de los diferentes tipos de arranques ....	63
4.3 Cálculo de las proporciones para el riego .....	66
Capítulo 5 : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
Conclusiones .....	72
Recomendaciones.....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	75
ANEXOS .....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Motor Asíncrono .....	7
Figura 2.2: Funcionamiento del Motor Asíncrono.....	9
Figura 2.3: Arranque mediante resistencias aplicadas al devanado del rotor .....	10
Figura 2.4: Mando y circuito de potencia del arranque directo .....	12
Figura 2.5: Mando y circuito de potencia para el arranque estrella-triángulo .....	13
Figura 2.6: Arranque mediante resistencias estatóricas .....	14
Figura 2.7: Arranque por autotransformador .....	16
Figura 2.8: Variador de Frecuencia.....	17
Figura 2.9: Diferentes Tipos de variadores de Frecuencia.....	22
Figura 2.10: Corriente de Eddy .....	25
Figura 2.11: Esquema común de un variador de frecuencia .....	26
Figura 2.12: Elementos de potencia .....	28
Figura 2.13: Diodo .....	29
Figura 2.14: Transistor .....	29
Figura 2.15: Tiristor .....	30
Figura 2.16: IGBT .....	30
Figura 2.17: GTO .....	31
Figura 2.18: IPM .....	31
Figura 2.19: Fases de un Variador de Frecuencia .....	33
Figura 2.20: Arduino UNO .....	36
Figura 2.21: Arduino Diecimila .....	38
Figura 2.22: Arduino Nano .....	39
Figura 2.23: Arduino Bluetooth .....	39
Figura 2.24: Arduino LilyPad .....	40
Figura 2.25: Arduino Mini .....	40
Figura 2.26: Arduino Serial .....	41
Figura 2.27: Arduino Serial Single Sided .....	41
Figura 2.28: Panel de Proteus.....	42
Figura 2.29: Sensor Ultrasónico.....	42
Figura 2.30: Sensores de luz visible.....	43
Figura 2.31: Sensor de luz infrarroja.....	44
Figura 2.32: Sensor de temperatura .....	44

Figura 2.33: Sensor de humedad .....	45
Figura 2.34: Sensor de distancia .....	45
Figura 2.35: Sensor de inclinación.....	46
Figura 2.36: Sensor de movimiento .....	46
Figura 2.37: Sensor de contacto .....	47
Figura 2.38: Sensor de sonido.....	47
Figura 3.1: Variador de Frecuencia ACS150, ABB.....	52
Figura 3.2: Sensor de Temperatura y Humedad Relativa DHT11 .....	53
Figura 3.3: Ejemplo de una placa de características de un motor de inducción trifásica .....	55
Figura 3.4: Diseño del circuito del sistema automatizado simulado en Proteus .....	57
Figura 3.5: Módulos del Inversor.....	58
Figura 3.6: Rectificador Trifásico .....	58
Figura 3.7: Conmutación IGBT .....	59
Figura 3.8: IGBT.....	60
Figura 3.9: Conexión del Arduino con el Variador de Frecuencia aplicado en un motor .....	61
Figura 3.10: Código Fuente Arduino .....	62
Figura 4.1: Proyección de consumo (KWH) con carga .....	65
Figura 4.2: Comparación de consumo energético KWH Tipos de Arranque .....	66
Figura 4.3: Ahorro de consumo valorado en costo monetario.....	66
Figura 4.4: Panel LCD con frecuencia 20 Hz .....	68
Figura 4.5: Señal a 20 Hz.....	69
Figura 4.6: Panel LCD con frecuencia 40 Hz .....	69
Figura 4.7: Señal a 40 Hz.....	70
Figura 4.8: Panel LCD con frecuencia 60 Hz .....	70
Figura 4.9: Señal a 60 Hz.....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Características Técnicas de Arduino UNO .....	37
Tabla 2.2: Características Técnicas de Arduino Diecimila.....	38
Tabla 3.1: Resumen del Sensor DHT11.....	54
Tabla 3.2: Especificaciones Detalladas del Sensor DHT11.....	54
Tabla 3.3: Datos nominales del motor .....	56
Tabla 4.1: Medición KWH en vacío .....	64
Tabla 4.2: Proyección de consumo (KWH) en vacío.....	64
Tabla 4.3: Medición (KWH) con carga.....	64
Tabla 4.4: Proyección de consumo (KWH) con carga.....	65
Tabla 4.5: Comparación de consumo energético y ahorro en valor monetario .....	65

## ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula 2.1: Intensidad de Arranque.....	20
Fórmula 2.2: Variadores para motores de corriente continua .....	23
Fórmula 2.3: Velocidad mecánica .....	24
Fórmula 2.4: Derivada del voltaje con respecto al tiempo.....	30
Fórmula 4.1: Caudal medio máximo diario .....	67
Fórmula 4.2: Caudal máximo diario .....	67
Fórmula 4.3: Caudal máximo horario .....	67
Fórmula 4.4: Caudal.....	68



## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo diseñar un sistema automatizado en un variador de frecuencia para un sistema de riego de arroz, cuya investigación se basa en la línea del desarrollo económico sustentable y sostenible. En la presente investigación se demuestra la verdadera importancia de un correcto uso y configuración del variador de frecuencia, con el cual se puede reducir el consumo energético del motor, se realiza una descripción del sistema automatizado, del programa Proteus, de la placa Arduino UNO, los sensores de temperatura y humedad, se describe cada componente esencial para el funcionamiento eficiente y ahorrativo del motor. Además, se anhela conocer cuál es el método de arranque con mayor eficiencia en el consumo de energía, para que dado el caso en seleccionar el variador de frecuencia se justifique si la inversión al realizar la compra y a futuras, la implementación del sistema automatizado en el sector agrícola sea una buena inversión.

**Palabras claves:** Variador de Frecuencia, Sistema Automatizado, Placa Arduino UNO, Consumo Energético, Proteus

## **ABSTRACT**

The objective of this qualification work is to design an automated system in a frequency variator for a rice irrigation system, whose research is based on the line of sustainable and sustainable economic development. In the present investigation the true importance of a correct use and configuration of the frequency inverter is demonstrated, with which the energy consumption of the motor can be reduced, a description of the automated system, the Proteus program, of the Arduino UNO board is made, temperature and humidity sensors, each essential component for efficient and economical operation of the engine is described. In addition, it is desired to know which is the most efficient starting method in energy consumption, so that if necessary in selecting the frequency inverter it is justified if the investment when making the purchase and in the future, the implementation of the automated system in the agricultural sector is a good investment.

**Keywords:** Frequency Inverter, Automated System, Arduino UNO Board, Power Consumption, Proteus.

# **CAPÍTULO 1 : GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **1.1 Introducción**

El desarrollo en el uso de técnicas de automatización y nuevas tecnologías en la industria ha aumentado con el paso del tiempo, lo cual ha ocasionado resultados en la manufactura y en la cadena de producción, así como modificaciones en la red eléctrica, una de las mayores migraciones tecnológicas industriales de los últimos años se ha basado en el uso de variadores de frecuencia para el control de motores eléctricos, sus aplicaciones abarcan cintas transportadoras, ventiladores, bombas, actuadores, compresores entre otros (Jiménez Macías, 2004).

El control de procesos y el ahorro de energía son las dos razones fundamentales para usar motores eléctricos con sistemas de velocidad variable tanto en el área industrial como agrícola. Un funcionamiento más suave, control de aceleración, diferentes velocidades de operación para diferentes productos en un mismo proceso, posicionamiento preciso, control de torque, son entre otros, algunos beneficios de la operación a velocidades variables (Sevilleja Aceituno, 2011).

Otra ventaja del uso de variadores de frecuencia es el arranque suave de los motores, cuando el motor es accionado directamente a pleno voltaje, inicialmente alcanza por lo menos 300% de su corriente nominal. A medida que la carga aumenta, el torque disponible usualmente cae un poco y entonces alcanza su máximo, mientras que la corriente sigue muy alta hasta que la velocidad nominal es conseguida por el motor (Sandoval Rodríguez, 2010).

Por el contrario, cuando el motor arranca desde un variador de frecuencia, este inicialmente aplica una baja frecuencia de aproximadamente 2 Hz o menos, y un voltaje al motor, para que así se impida una corriente alta de arranque del motor. Luego

de arrancar el motor, la frecuencia y el voltaje se incrementan de manera controlada para acelerar la carga sin tener un aumento excesivo en la corriente (Barahona Suazo & Quevedo Pérez, 2016).

Este método de arranque permite que el motor desarrolle el 150% de su torque nominal, mientras que toma menos del 50% de su corriente nominal, por tal razón, al usar un variador de frecuencia, también se pueden obtener grandes ahorros de energía, como se mencionó anteriormente (Tardón Pantoja, 2019).

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo la aplicación de un sistema artificial en un variador de frecuencia en un sistema de riego, para mejorar la eficiencia, aumentar la producción agrícola y ahorrar energía (Vásconez Cuzco & Chamba Tenamazza, 2013).

## **1.2 Justificación**

El desarrollo de esta investigación es de fundamental importancia, ya que en el mercado interno del sector agrícola aún no se conoce el uso de inversores en bombas de agua para sistemas de riego. Este campo se está desarrollando rápidamente, existe la necesidad de innovar y actualizar los diversos equipos y materiales utilizados en este campo de la agricultura ya que el uso de un convertidor de frecuencia permite a los trabajadores del sistema de riego satisfacer las necesidades de nuestro creciente sector manufacturero. (Aldás Cortez, 2015).

El variador (inversor) ajusta la velocidad del motor eléctrico para que la corriente que llega al motor coincida con las necesidades reales de la aplicación, reduciendo el consumo de energía del motor entre un 20% y un 70%, lo que permite a los estudiantes lograr los mejores resultados. Resultados de la formación teórico-práctica con instrucción de laboratorio, como la que se utiliza para realizar diversas

pruebas y monitorear los parámetros operativos de este dispositivo, en el que los estudiantes de Ingeniería Eléctrica participan activamente en el proceso de formación y promocionar la investigación (Benavides-Córdoba et al., 2018).

### **1.3 Antecedentes**

Durante la búsqueda de información dentro del área de automatización se encontraron previos trabajos publicados en libros, artículos científicos, informes que utilizan variadores de frecuencia en el área agroindustrial. A continuación, se describe 2 publicaciones relacionadas a los sistemas de automatización y variadores de frecuencia.

- 1) Los autores Quintero & García, (1999) realizaron el montaje y puesta en marcha de dos tipos de variadores electrónicos de velocidad para motores de corriente directa y motores trifásicos de inducción. Utilizaron 2 equipos estudiados; Micromaster (SIEMENS) y Rectivar44 (TELEMECANIQUE) los cuales están constituidos por tarjetas de control, de potencia y elementos pasivos que conforman la estructura en la parte interna de los variadores de frecuencia los cuales contienen dos etapas: la etapa de regulación y control y la etapa de potencia.
- 2) Los autores Vargas Gaguancela & Layedra Sáez, (2011) usaron un equipo variador de frecuencia ATV312HO75M3 para controlar la rapidez (velocidad) de motores asíncronos en las instalaciones del laboratorio de Control Industrial. Este variador permite al motor controlar aceleración y desaceleración progresivamente además de adaptar su velocidad a las condiciones de explotación de manera muy exacta y simple.

## **1.4 Planteamiento del problema**

Actualmente en el sector agrícola, cuando es temporada de verano, el riego no es ideal, al haber exceso de agua, la planta le cae hongos, y al no tener suficiente agua, la producción se reduce (Bonilla Bolaños & Singaña Tapia, 2019).

Esto se debe a un principal problema, que es el riego mal manejado, que contribuye a la escasez de agua y a la contaminación, así como, a la degradación de las tierras y a la difusión de enfermedades, se estima que un 60 % del agua que se utiliza para riego no llega a los cultivos por pérdidas en filtraciones de los canales, escapes, escurrimientos y evaporación improductiva, por lo tanto, gran parte de estos recursos hídricos se desperdician (Zapatta & Gasselin, 2005).

Mediante el uso de un variador de frecuencia, se reduce la potencia de salida de una aplicación (en este caso es una bomba de agua) mediante el control de la velocidad del motor, garantizando que no funcione a una velocidad superior a la necesaria, permitiendo el riego ideal, ayudando al desarrollo preferencial de la producción (Rojas Troya, 2013).

El bajo nivel de tecnificación, conflicto que se evidencia en la baja eficiencia global en el uso del agua, empieza desde la construcción de los sistemas de riego, operación y mantenimiento; lo cual genera la aplicación del agua de manera inadecuada dentro de una parcela, sin beneficiarse de la real capacidad del agua y del suelo en pleno sistema de riego, para así no perjudicar a la producción agrícola (Labrador, 2008).

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Analizar la operatividad del sistema de riego, aplicando un sistema automatizado en un variador de frecuencia, con el fin de que se adapte a la demanda real del riego, en un sembrío de arroz, en época de verano.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar un sistema inteligente, para que el sistema de riego sea autónomo.
- Analizar los consumos de energía de los tipos de arranques con el variador de frecuencia, para el funcionamiento eficiente y ahorrativo del motor en el sistema de riego.
- Cuantificar las proporciones de riego, de acuerdo con las etapas del sembrío de arroz, en la época de verano.

## **1.6 Hipótesis**

El uso de un variador de frecuencia en una bomba de agua para un sistema de riego aumentará la producción agrícola en un 50%, evitará el manejo erróneo del riego, debido a que gracias al equipo se regule la velocidad del motor eléctrico para que la electricidad que llega al motor se ajuste a la demanda real de la aplicación, reduciendo el consumo energético del motor entre un 20% y un 70%. Este equipo garantizará muchas ventajas financieras, operativas y medioambientales ya que supone una mejora de la productividad, incrementa la eficiencia energética y a la vez alarga la vida útil de los equipos, previniendo el deterioro y evitando paradas inesperadas que provocan tiempos de improductividad.

## CAPÍTULO 2 : MARCO TEÓRICO

### 2.1 El Motor Asíncrono

Son aquellos que al estar alimentados en corriente alterna trifásica, mueven un gran porcentaje de las maquinarias existentes en la actualidad tales como: limadoras, fresadoras, tornos, etc.; en aparatos de traslado y elevación: montacargas, grúas, etc. así como en cualquier otra aplicación donde se necesite un motor ahorrativo, robusto, con una facilidad en lo que es la instalación y mantenimiento, pero sin regulación de velocidad. En la actualidad, la electrónica de control y de potencia han resuelto este obstáculo, haciendo el uso del motor más universal (Vargas Gaguancela & Layedra Sáez, 2011).

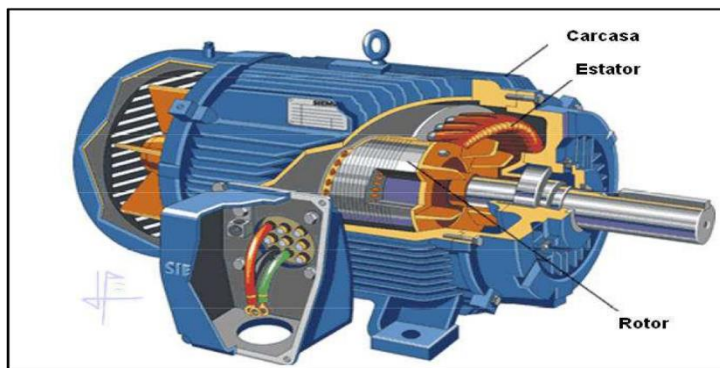


Figura 2.1: Motor Asíncrono  
Fuente: («Motor asíncrono», 2020)

En base al tipo de rotor o inducido abarcamos dos tipos de motores asincrónicos trifásicos:

- Motor asincrónico tipo jaula de ardilla
- Motor asincrónico de rotor bobinado

### 2.2 Partes principales de un motor asíncrono

Como todo motor eléctrico, los motores asíncronos se encuentran formados por partes esenciales y diferentes:



### **2.2.1 Estator**

Devanado trifásico distribuido en ranuras a  $120^\circ$ . Tienen tres devanados en el estator, los cuales se encuentran desfasados, siendo el número de pares de polos de la máquina (Garrigós, 2011).

### **2.2.2 Bobinado**

Rotor devanado: los devanados son parecidos a los del estator con el que está relacionado. El número de fases del rotor no debe ser igual al del estator, lo que si tiene que ser idéntico es el número de polos. Los anillos colectores montados encima del mismo eje se encuentran conectados a los devanados del rotor (López Arenales, 2002).

### **2.2.3 Jaula de Ardilla**

Los conductores del rotor están por igual distribuidos por la periferia del rotor. Aquellos extremos de estos conductores están cortocircuitados, por esta razón, no existe la probabilidad de conexión del devanado del rotor con el exterior. La ubicación inclinada de las ranuras refuerza las propiedades de arranque y reduce los ruidos (Pernía Castro, 2003).

## **2.3 Fundamentos de operación de motores asíncronos**

El funcionamiento de un motor se respalda en la producción de un campo magnético giratorio (Silvio Lobosco & Pereira Da Costa Días, 1989). Tengamos en cuenta un disco de cobre y un imán permanente NS que tiene la posibilidad de girar libremente alrededor de un mismo eje XY. El imán, al ser movido por un artificio cualquiera, empieza a girar, haciendo que el campo magnético producido gire igualmente y así, poder barrer el disco, el cual es conductor, pero no ferromagnético. Este disco es recorrido ahora por corrientes inducidas causadas por la variación de

campo a la que está expuesto. Se origina un campo inducido en vista de las corrientes inducidas en el disco. Este campo tiende a seguir al campo giratorio el que fue creado por el imán, cediendo un par motor suficiente para superar el par resistente de su mismo rozamiento y generar la rotación del disco. La dirección de rotación, indicado por la ley de Lenz, tiende a resistirse a la variación del campo magnético que ha sido la causa de las corrientes. El disco es trasladado en la dirección del campo giratorio a una rapidez levemente menor a la de este deslizamiento. Debido a que la velocidad del disco giratorio es menor a la del campo giratorio, este tipo de motor se llama «asíncrono» (Kazakov & Palilov, 2015).

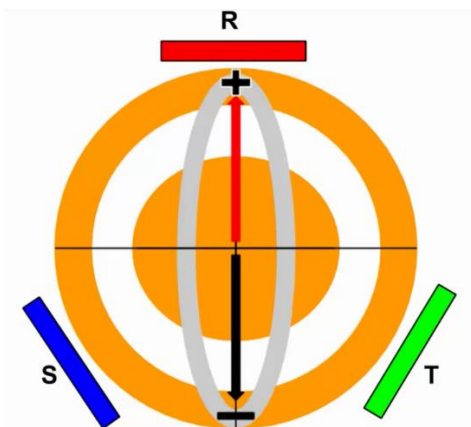


Figura 2.2: Funcionamiento del Motor Asíncrono  
Fuente: (Caro, 2017)

## 2.4 Características eléctricas principales de los motores asíncronos

- Velocidad de giro nominal,  $n$  (en r.p.m.),
- Potencia,  $P$  (en kW),
- Tensión nominal,  $U$  (en V),
- Intensidad de corriente,  $I$  (en A),
- Factor de potencia,  $\cos\phi$  (adimensional),
- Rendimiento,  $\eta$  (adimensional),
- Frecuencia,  $f$  (en Hz).

## 2.5 Sistemas de arranque de los motores trifásicos asíncronos

Existen diferentes tipos de arranques de un motor, conformado por los siguientes:

Motor con rotor jaula de ardilla:

- Arrancadores electrónicos.
- Arranque directo de motores de poca potencia
- Arranque intercalando resistencias o reactancias en el estator
- Arranque por autotransformador
- Arranque estrella - triángulo (también se conoce como estrella - delta)

Motor con rotor bobinado:

- Arrancadores electrónicos
- Arranque intercalando resistencia en el devanado del rotor

## 2.6 Arranques del motor de inducción de rotor bobinado

El motor de anillos no tiene posibilidad de arrancar en directo, sin incitar puntas de corriente inadmisibles. Se requiere introducir en el circuito rotórico, unas resistencias que puedan hacer cortocircuito de manera progresiva, al mismo tiempo de que se suministra el estator con toda la tensión de red (Cortéz, 2013).

### 2.6.1 Arranque intercalando resistencia en el devanado del rotor

Se lleva a cabo intercalando resistencias en el rotor por medio de los anillos rozantes (Perlaza, 2018). El aumento de resistencia del rotor posibilita la fijación de la corriente de arranque y amplía el par de arranque. En cuanto el motor gana velocidad se va disminuyendo el valor de las resistencias externas hasta que después quedan anuladas (Pozueta Rodríguez, 2017).

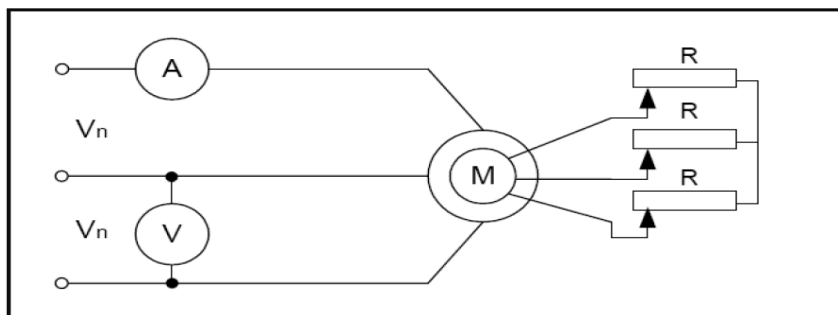


Figura 2.3: Arranque mediante resistencias aplicadas al devanado del rotor  
Fuente: (Vélez, 2017)

## **2.7 Arranques del motor de inducción jaula de ardilla**

Una vez conectado el motor trifásico de jaula, éste empieza a absorber una gran intensidad de la red lo que le permite, sobre todo si la sección de la línea de alimentación no es la suficiente, originar una caída de tensión sensible que perjudicará a otros receptores o a otros abonados de la misma instalación (Rosales Fernández, 2012).

Para poder limitar y evitar estos inconvenientes, la normativa exige usar sistemas de arranque con los que se restrinja la corriente de arranque protegiendo así la integridad de los receptores y el motor (Chame Martínez, 2015).

### **2.7.1 Arranque Directo**

Consiste en conectar el motor directamente a la red en un único tiempo. Una vez hecho esto, el motor empieza a arrancar con sus características naturales (Sánchez Pérez, 2011).

### **2.7.2 Características**

- Par inicial de arranque porcentual: 100%
- Par inicial de arranque: 0,6 a 1,5 C NOMINAL
- Corriente de arranque porcentual: 100%
- Corriente de arranque: 4 a 8 I NOMINAL
- Mando: Todo o nada
- Ventajas:
  - Económico
  - Par de arranque importante
  - Arrancador simple
- Inconvenientes:
  - Arranque brutal

- Punta de corriente muy importante
- Tiempos de arranque: 2 a 3 segundos
- Aplicaciones habituales: Pequeñas máquinas, aunque arranquen a plena carga.

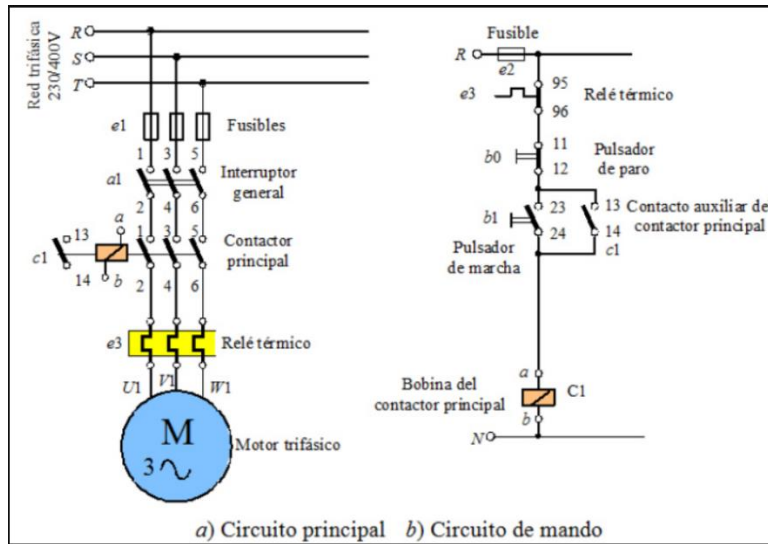


Figura 2.4: Mando y circuito de potencia del arranque directo  
Fuente: (Cevallos, 2003)

### 2.7.3 Arranque estrella-triángulo de motores trifásicos de jaula

Se basa en conectar las bobinas del motor, primero en estrella y después en triángulo (Pilaquina Cantuña, 2015).

### 2.7.4 Características

- Par inicial de arranque porcentual: 33% en relación con el arranque directo
- Par inicial de arranque: 0,2 a 0,5 C NOMINAL
- Corriente de arranque porcentual: 33% en relación con el arranque directo
- Corriente de arranque: 1,3 a 2,6 I NOMINAL
- Mando: Todo o nada
- Ventajas:
  - Buena relación par/corriente
  - Arrancador económico
- Inconvenientes:
  - Motor de 6 bornes
  - Par de arranque débil

- Corte de alimentación en el cambio de acoplamiento y fenómenos transitorios
- Sin posibilidad de ajuste
- Tiempos de arranque: 3 a 7 segundos
- Aplicaciones habituales: Máquinas de arranque en vacío, bombas centrífugas y ventiladores de menor potencia.

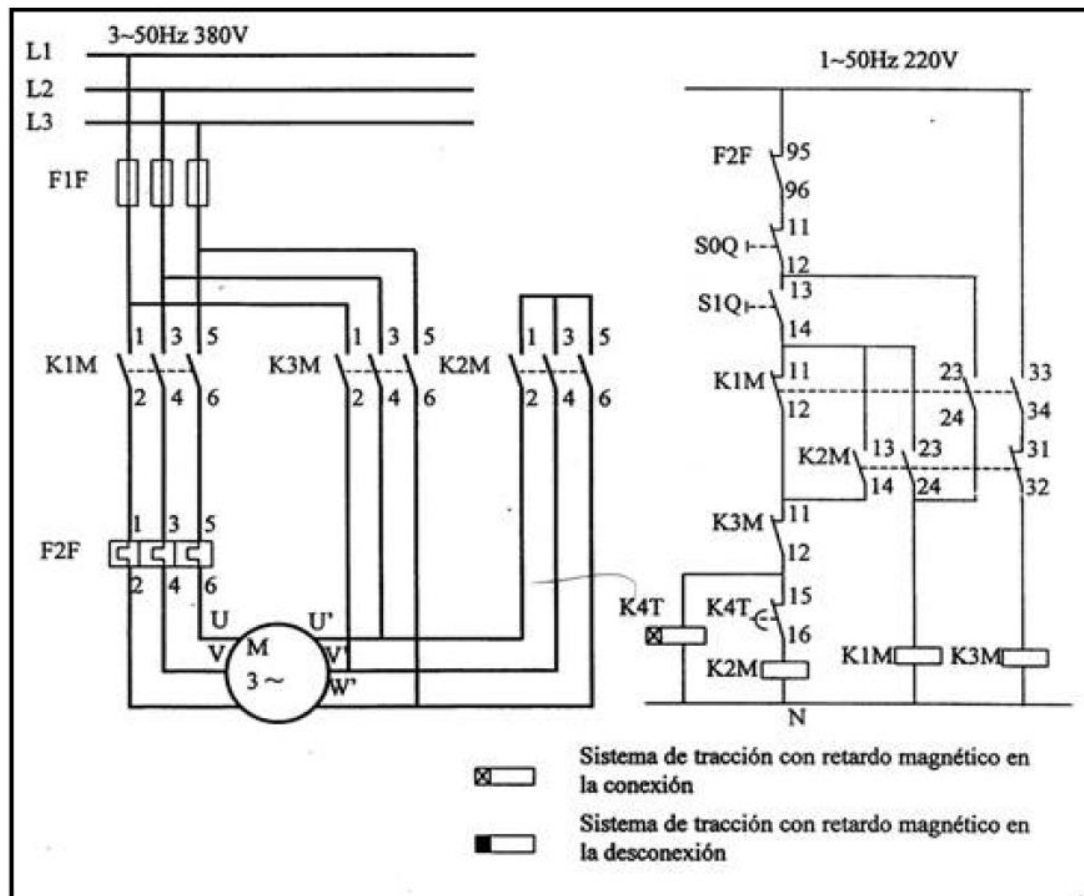


Figura 2.5: Mando y circuito de potencia para el arranque estrella-triángulo  
Fuente: (Hurtado, 2016)

### 2.7.5 Arranque a tensión reducida por medio de resistencias estáticas

Se disminuye la tensión aplicada en los terminales del estator mediante la inserción de resistencias en serie con el devanado del estator dentro de la fase de arranque. Al cabo de estabilizarse la velocidad, las resistencias se eliminan y el motor se acopla de forma directa a la red (Martínez & Pesquer, 2013).

### 2.7.6 Características

- Par inicial de arranque porcentual: 50% en relación con el arranque directo

- Par inicial de arranque: 0,6 a 0,85 C NOMINAL
- Corriente de arranque porcentual: 70% en relación con el arranque directo
- Corriente de arranque: 4,5 I NOMINAL
- Mando: 1 posición fija
- Ventajas:
  - Sin corte de alimentación durante el arranque
  - Posibilidad de ajuste de los valores en el arranque
  - Fuerte reducción de las puntas de corriente transitorias
- Inconvenientes:
  - Necesidad de resistencias voluminosas
  - Débil reducción de la punta de arranque
- Tiempos de arranque: 7 a 12 segundos
- Aplicaciones habituales: Máquinas de elevada inercia sin problemas especiales de corriente, ni de par en el arranque.

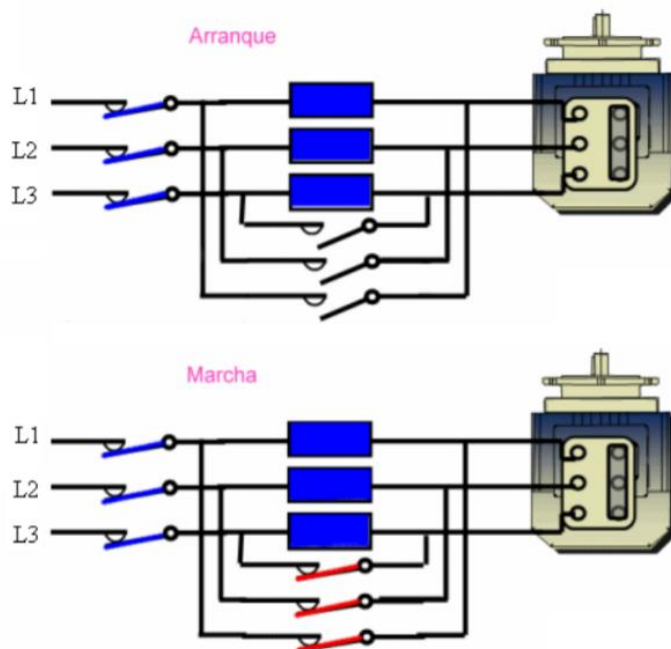


Figura 2.6: Arranque mediante resistencias estáticas  
Fuente: (León & Páez, 2009)

### **2.7.7 Arranque con Autotransformador**

Implica alimentar el motor a una tensión disminuida por medio de un autotransformador, que se pone fuera de servicio en el momento en que termina el arranque (Gómez Tapias et al., 2018).

### **2.7.8 Características**

- Par inicial de arranque porcentual: 40/65/80% en relación con el arranque directo
- Par inicial de arranque: 0,4 a 0,85 C NOMINAL
- Corriente de arranque porcentual: 40/65/80% en relación con el arranque directo
- Corriente de arranque: 1,7 a 4 I NOMINAL
- Mando: 3 posiciones fijas
- Ventajas:
  - Posibilidad de los ajustes de los valores en el arranque
  - Sin corte de alimentación en el arranque
  - Buena relación par/corriente
- Inconvenientes:
  - Abarca riesgos en redes con perturbaciones
  - Requerimiento de un autotransformador costoso
- Tiempos de arranque: 7 a 12 segundos
- Aplicaciones habituales: Máquinas de elevada potencia o inercia, en casos en los que la reducción de la corriente sea un criterio importante.



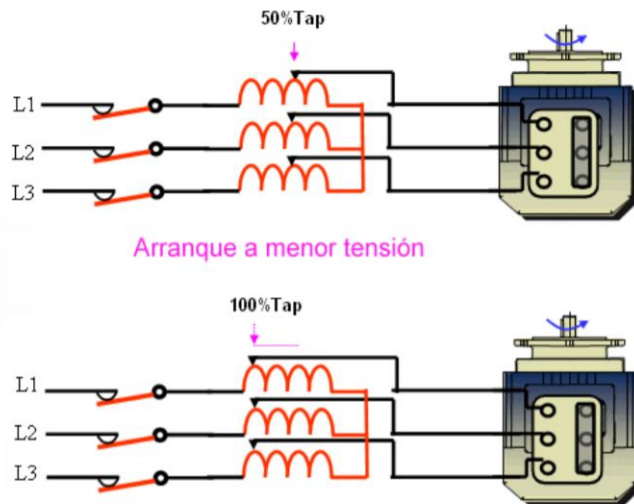


Figura 2.7: Arranque por autotransformador  
 Fuente: (Bolaños López & Portilla Estévez, 2002)

### 2.7.9 Arranque con Variador de Frecuencia

Se lleva a cabo basándose en tiristores que se convierten en contactores estáticos. Se configura con un convertidor alterna/continua de velocidad variable entre 0 Hz y la frecuencia de red. El variador de frecuencia posibilita la variación de velocidad total desde 0 rpm a la velocidad nominal del motor a par constante. Su productividad es elevada y proporciona un factor de potencia de un aproximado de 1. Posibilita la escasez de sobreintensidades por transitorios. Vuelve innecesarios algunos elementos de protección del motor. A velocidades bajas hay que tomar en consideración que la refrigeración del motor depende de la velocidad del fluido (Tedesco, 2010).

### 2.7.10 Características

- Par inicial de arranque proporcional: Ajustable de 10 a 70% en relación con el arranque directo
- Par inicial de arranque: Ajustable de 0,1 a 0,7 C NOMINAL
- Corriente de arranque porcentual: Regulable de 25 a 75% (potenciómetro) en relación con el arranque directo

- Corriente de arranque: Regulable
- Mando: Desarrollada
- Ventajas:
  - Adaptable a cualquier ciclo
  - Regulable durante la puesta en servicio
  - Dimensiones reducidas
- Inconvenientes:
  - Limitación en el par y la corriente de arranque.
- Tiempos de arranque: Regulable de 1 a 60 segundos
- Aplicaciones habituales: Ventiladores, bombas, envasadoras, compresores, grúas, transportadores, etc.

## 2.8 Variador de Frecuencia

Es un dispositivo diseñado para controlar la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) a través del control de la frecuencia de la energía proporcionada al motor, de ahí sus siglas (VFD), del inglés: Variable Frequency Drive o bien (AFD) Adjustable Frequency Drive (Mantilla Peñalba & Cardona Pardo, 2003).



Figura 2.8: Variador de Frecuencia  
Fuente: (Taoyuan, 2020)

Los variadores son convertidores de energía con la función de modular la energía que absorbe el motor. En otros términos, los variadores de frecuencia son equipos que tienen como propósito variar la velocidad y la acopla de los motores asíncronos trifásicos, transformando las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables (Piñero, 2015).

Estos equipos se utilizan cuando las necesidades de la aplicación sean:

- Movimientos complejos
- Mecánica delicada
- Dominio de par y la velocidad
- Regulación sin golpes mecánicos

## **2.9 Ventajas de la utilización del Variador de Frecuencia en el arranque de motores asíncronos**

- Permite arranques suaves, progresivos y sin saltos.
- No tiene contactos, ni elementos móviles.
- Se obtiene un mayor rendimiento del motor.
- La conexión del cableado es muy sencilla.
- Limita la corriente de arranque.
- Controla la aceleración y el frenado progresivo.
- Nos permite ver las variables (tensión, frecuencia, rpm, etc...).
- Ayuda a identificar y controlar la falta de fase a la entrada y salida de un motor. Brinda protección al equipo.
- Permite el control de rampas de aceleración y deceleración regulables en el tiempo.
- Puede controlarse directamente a través de un autómatas o microprocesador.

- Consigue un ahorro de energía cuando el motor funcione parcialmente cargado, con acción directa sobre el factor de potencia.

## **2.10 Inconvenientes de la utilización del Variador de Frecuencia en el arranque de motores asíncronos**

- Requiere un tiempo para realizar la programación.
- Es un equipo caro, pero a largo plazo se vuelve rentable.
- Se necesita de un estudio de las especificaciones técnicas del productor.

## **2.11 Consecuencias de la variación de tensión o frecuencia sobre un motor asíncrono**

### **2.11.1 Aumento o disminución de la tensión**

Existen diferentes consecuencias en el momento de trabajar con un variador de frecuencia, una de ellas es aumentar o disminuir la tensión para que así el variador de frecuencia tarde en acelerar o desacelerar desde la tensión mínima hasta la tensión máxima y viceversa (Salicru, 2008).

#### **2.11.1.1 Velocidad**

La variación de tensión no cambia la velocidad de rotación del campo giratorio inductor. No obstante, en un motor con carga, un incremento de la tensión implica una reducción del deslizamiento y como resultado de la velocidad del motor. Este suceso está limitado por la saturación de la máquina. En cambio, si la tensión de alimentación descende, el motor pierde velocidad (Manual S100, 2013).

### **2.11.1.2 Par**

El par motor es directamente equivalente al cuadro de la tensión. Por consiguiente, incrementa cuando la tensión es más alta e inversamente reduce considerablemente cuando baja la tensión. Si un motor se ha calculado demasiado justo, puede pararse o incluso no arrancar, con el peligro de autodestrucción, si la disminución de tensión se mantiene (HIMILCE, 2009).

### **2.11.1.3 Intensidad de arranque**

Cambia en proporción a la tensión de alimentación. Sí ésta se intensifica, la intensidad absorbida en el instante del arranque incrementa. No obstante, si la tensión disminuye, la intensidad de arranque tendrá que disminuir. La intensidad en régimen permanente cambia de forma análoga (Vélez Piza, 2016).

$$n = \frac{60(f)}{p}$$

Fórmula 2.1: Intensidad de Arranque  
Fuente: (Villamar, 2014)

Donde:

n=velocidad en rpm.

f=frecuencia 60 Hz

p= número de polos

### **2.11.2 Aumento o disminución de frecuencia**

Se modifica las revoluciones por minuto del motor eléctrico al aumentar o disminuir la frecuencia con base a la tensión que se tenga. (Montealegre Medina, 2008).

### **2.11.2.1 Velocidad**

En un motor asíncrono, como se ha visto en sucesos anteriores, la velocidad de sincronismo es conforme en función de la frecuencia. Este carácter se usa frecuentemente para hacer trabajar a grandes velocidades los motores que son especialmente diseñados para una alimentación de, por ejemplo, 400 Hz, (aparatos quirúrgicos o de laboratorio, etc.) (Montaño Montaño, 2018).

### **2.11.2.2 Par**

Cuando la tensión es constante, el par es inversamente equivalente al cuadrado de la frecuencia. Si ésta incrementa, el par desarrollado por el motor disminuye de una manera considerable. A la inversa, si la frecuencia disminuye, el par tiende a disminuir (Ag, 2013).

### **2.11.2.3 Intensidad de arranque**

Si la tensión es constante, la intensidad de arranque cambia en sentido inverso a la frecuencia. En régimen permanente la intensidad es igual. Son usualmente fastidiosas estas variaciones de corriente y de par. En la práctica, para evitarlas, se aconseja cambiar la tensión de alimentación acorde a la frecuencia (Sierra Calderón, 2009).

## **2.12 Funciones de los variadores de frecuencia**

Las principales funciones son:

- Ahorro de energía,
- Regulador PI (caudal, presión...),
- Velocidades preseleccionadas, marcha paso a paso (JOG), mando 2 hilos/3 hilos,

- Recuperación automática con selección de velocidad (recuperación al vuelo),
- Arranque y regulación de velocidad, frenado de desaceleración y frenado de parada,
- Limitación automática del tiempo de marcha a pequeña velocidad,
- Visualización de la velocidad en "unidades cliente",
- Protección del motor y del variador,
- Conmutación de rampas, conmutación de referencias, etc.

### 2.13 Tipos de variadores de frecuencia

Los más comunes, se podría decir que hay tres tipos básicos de variadores de frecuencia: eléctrico-electrónicos, hidráulicos, y mecánicos (Cañadas, 2002).



Figura 2.9: Diferentes Tipos de variadores de Frecuencia  
Fuente: (Vega, 2018)

#### 2.13.1 Variadores eléctrico-electrónicos

Estos variadores abarcan tanto el motor eléctrico como el controlador, no obstante, normal utilizar el término variador únicamente al controlador eléctrico. Los primeros variadores de este grupo utilizaron la tecnología de los tubos de vacío. Con el paso de los años se han ido introduciendo equipos de estado sólido, por lo cual se

ha reducido significativamente el costo y volumen, mejorando la confiabilidad y eficiencia de los dispositivos (Mansilla, 2011).

Existen cuatro tipos de variadores de frecuencia eléctrico-electrónicos:

- Variadores para motores de Corriente Alterna (también conocidos como variadores de frecuencia).
- Variadores para motores de Corriente Continua.
- Variadores de deslizamiento.
- Variadores de frecuencia por medio de corrientes de Eddy.

### **2.13.2 Variadores para motores de Corriente Continua**

Son dispositivos que permiten modificar la velocidad de un motor controlado eléctricamente. Estos variadores permiten variar la velocidad de motores de corriente directa serie, compuesto, derivación y de imanes permanentes (Mansilla, 2011).

La siguiente expresión es usada para cualquiera de las máquinas anteriores:

$$V_t = K \cdot FM \cdot Nm$$

Fórmula 2.2: Variadores para motores de corriente continua

Fuente: (Pabón-Fernández et al., 2016)

Donde:

$Nm$  Velocidad mecánica (rpm).

$V_t$  Voltaje terminal (V).

$FM$  Flujo magnético producido por el campo (Wb)

$K$  Constante de la máquina.

Mediante este modelo de variadores se puede manipular dicha velocidad de un motor de corriente continua: ajustando su voltaje terminal, o también puede ser, alterando aquel valor de la corriente de campo del motor (Wilson Vera & Guido Conza, 2012).



### 2.13.3 Variadores de deslizamiento

Se utiliza solamente para los motores de inducción de rotor devanado. La velocidad mecánica ( $Nm$ ) de cualquier motor de inducción puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$Nm = \frac{120 \cdot f(1 - s)}{P}$$

Fórmula 2.3: Velocidad mecánica

Fuente: (Quispe Choccelahua, 2012)

El término “ $s$ ” se refiere al deslizamiento del motor, cuyo valor varía entre 0 y

1. De esta manera, con un mayor deslizamiento, se obtiene una menor velocidad mecánica del motor. Este deslizamiento consigue agrandar al elevarse dicha resistencia del devanado del rotor, o puede ser también, al disminuir dicho voltaje en el devanado del rotor. De este modo se puede obtener el control de la velocidad en los motores de inducción de rotor devanado. Por lo tanto, este tipo de variadores es de muy baja eficiencia comparado con otros, motivo por el cual en la actualidad tiene muy poca aplicación (Rodríguez Pozueta, 2018).

### 2.13.4 Variador de frecuencia por medio de corrientes de Eddy

Este sistema se basa en dos objetos de gran importancia, los cuales son; un embrague de corriente de Eddy y también, un motor de velocidad fija. Aquel embrague consta de un rotor de velocidad variable y un rotor de velocidad fija (acoplado al motor), separados por un pequeño entrehierro. Se dispone, por otra parte, con una bobina de campo, cuya corriente puede ser regulada, la cual produce un campo magnético que definirá el par mecánico transmitido del rotor de entrada al rotor de salida. De esta manera, a mayor intensidad de campo magnético, mayor par y velocidad transmitidos, y a menor campo magnético menores serán el par y la velocidad en el rotor de salida. El control de la velocidad de salida de este tipo de variadores generalmente se lleva a

cabo por medio de lazo cerrado, usando como elemento de retroalimentación un tacómetro de corriente alterna (Mansilla, 2011).

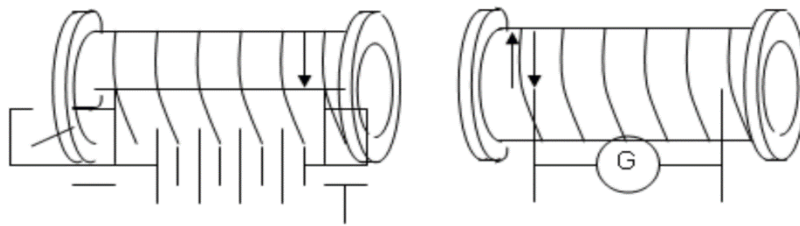


Figura 2.10: Corriente de Eddy  
Fuente: (Gaspar Sánchez, 1996)

### 2.13.5 Variadores para motores de Corriente Alterna

Son dispositivos con el fin de variar la velocidad electrónicamente por medio de una variable eléctrica nombrada como frecuencia esto es para el suceso de Drives para motores de corriente alterna, no obstante, los variadores de frecuencia para motores de CD modifican el valor del voltaje para cambiar dicha velocidad de los motores (Arroyo Córdoba, 2018).

Los variadores de frecuencia (siglas AFD, del inglés Adjustable Frequency Drive; o bien VFD Variable Frequency Drive) ofrecen controlar la velocidad tanto de motores de inducción (asíncronos de jaula de ardilla o de rotor devanado), como de los motores síncronos mediante el ajuste de la frecuencia de alimentación al motor (Mansilla, 2011).

$N_m$  = velocidad mecánica (rpm)

$f$  = frecuencia de alimentación (Hz)

$s$  = deslizamiento (adimensional)

$P$  = número de polos (adimensional)

Como se puede observar en las expresiones, la velocidad y la frecuencia son directamente proporcionales, de tal forma que, al incrementar la frecuencia de alimentación al motor, se aumentará la velocidad de la flecha, y al disminuir el valor

de la frecuencia se reducirá la velocidad del eje. Por lo tanto, es por lo que este tipo de variadores controla la frecuencia de alimentación al motor con la finalidad de conseguir el control de la velocidad de la máquina (Telemecanique, 2016).

Estos variadores conservan la razón Voltaje/ Frecuencia (V/Hz) constante entre los valores máximos y mínimo de la frecuencia de operación, con el fin de prevenir la saturación magnética del núcleo del motor y asimismo debido a que el hecho de operar el motor a un voltaje constante por encima de una frecuencia dada (reduciendo la relación V/Hz) disminuye el par del motor y el espacio de este para proporcionar potencia constante de salida en el motor referente (Sanabria Betancur & Sánchez Ramos, 2016).

## 2.14 Composición del Variador de Frecuencia

Los variadores de frecuencia están conformados por:

- Un módulo de potencia, que suministra energía eléctrica al motor,
- Un módulo de control, que gestiona el funcionamiento del aparato.

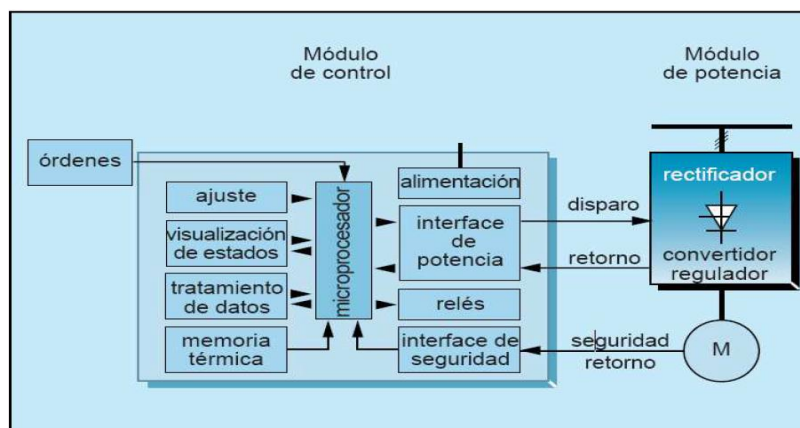


Figura 2.11: Esquema común de un variador de frecuencia  
Fuente: (Meza, 2012)

### 2.14.1 Módulo de Control

Todas las funciones de los variadores y arrancadores modernos son controladas mediante un microprocesador que usa los ajustes, los resultados de las medidas de

corriente, velocidad, y las órdenes transmitidas por una unidad de tratamiento o por un operador. Basándose en esta información, el microprocesador gestiona el funcionamiento de las rampas de aceleración y desaceleración, los componentes de potencia, la limitación de corriente, la protección, la seguridad y el seguimiento de la velocidad (Cárate Gutiérrez & Villacís Salazar, 2011).

Según el tipo de producto, los ajustes (limitación de corriente, consignas de velocidad, rampas, etc.) se llevan a cabo por medio de teclados, potenciómetros, o desde autómatas o PC mediante un enlace serie (Segovia Segovia & Chimbay Vallejo, 2011).

Las órdenes (marcha, frenado, parado, etc.) se pueden dar por medio de autómatas programables, interfaces de diálogo hombre/máquina, PC, etc. Los parámetros de funcionamiento, los datos de alarmas y de fallos pueden visualizarse por medio de pantallas de vídeo, visualizadores de 7 segmentos o de cristal líquido, diodos luminosos, pilotos, etc.(Vargas Gaguancela & Layedra Sáez, 2011).

En muchos casos, existe la posibilidad de configurar los relés para obtener información de:

- Control (final de arranque, pre-alarma o umbral de velocidad).
- Fallos (de la red, térmicos, del producto, de secuencia, sobrecarga, etc.),

Una alimentación independiente provee las tensiones requeridas para el conjunto de los circuitos de control y de medida.

#### **2.14.2 Módulo de Potencia**

Los elementos principales son:

- En aparatos de gran calibre, un conjunto de ventilación,

- Los componentes de potencia,
- Los interfaces de tensión y/o de corriente.

Los componentes de potencia son semiconductores que funcionan de forma “Todo o Nada” y, por ello, son parecidos a los interruptores estáticos de dos estados: bloqueado y pasante (WEG, 2011a).

Estos componentes, incluidos en un módulo de potencia, crean un convertidor que suministra un motor eléctrico con tensión y/o frecuencias variables en base a la red de tensión y frecuencia fijas (Siemens México, 2012).

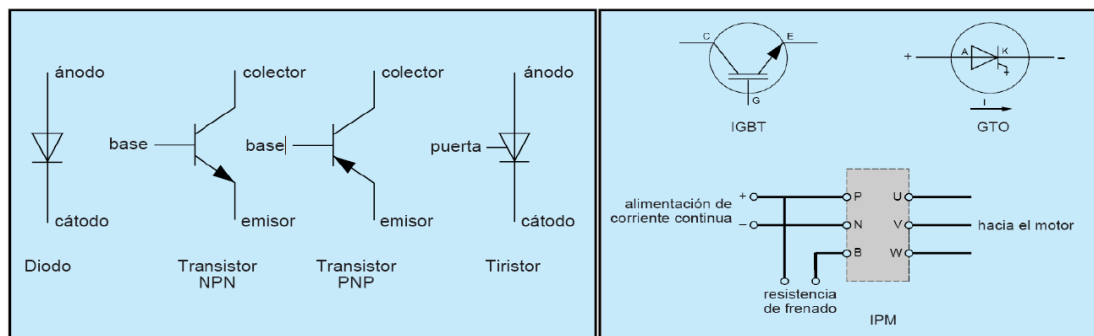


Figura 2.12: Elementos de potencia  
Fuente: (Meza, 2012)

## 2.15 Componentes de potencia

La energía eléctrica mediante convertidores estáticos se lleva a cabo mediante elementos electrónicos que se pueden clasificar de diferente manera (Medina Guzmán, 2016).

### 2.15.1 El diodo

Es un semiconductor no controlado que consiste en dos zonas, P (ánodo) y N (cátodo), las cuales sólo permiten que la corriente fluya en una dirección, del ánodo al cátodo. El diodo es conductor en el momento en que la tensión del ánodo es más positiva que la del cátodo, actuando como un interruptor cerrado. En la ocasión en que

la tensión del ánodo es menos positiva que la del cátodo, el diodo bloquea la corriente y funciona como un interruptor abierto (Pérez Chávez, 2018).



Figura 2.13: Diodo  
Fuente: (García, 2014)

### 2.15.2 El transistor

Generalmente, se desempeña como un amplificador. En tal caso, el valor de la corriente controlada dependerá de la corriente de control que circula en la base. No obstante, también puede funcionar en modo “Todo o Nada”, como interruptor estático: abierto en ausencia de corriente de base y cerrado en caso de saturación. Sin embargo, se emplea la segunda forma de funcionamiento en los circuitos de potencia de los variadores (Grupo Sanvalero, 2007).

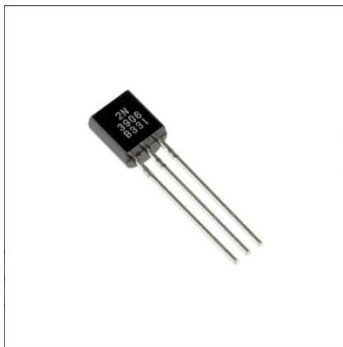


Figura 2.14: Transistor  
Fuente: (Quiroz, 2012)

### 2.15.3 El tiristor

Es aquel semiconductor controlado que se basa en cuatro capas alternas PNPN. Funciona como un interruptor estático cuyo cierre se controla mediante el envío de un impulso eléctrico a un electrodo de control denominado puerta. El cierre (o disparo) sólo es posible si la tensión del ánodo es más positiva que la del cátodo (Rogers, 2013).



Figura 2.15: Tiristor  
Fuente: (Tinoco, 2001)

#### 2.15.4 El IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

Es un tipo de transistor particular que se controla bajo tensión con muy poca energía, lo que explica la ausencia de relación entre la energía necesaria para el control y la corriente conmutada. Dada el alta de conmutación, el semiconductor debe soportar las presiones propias de la siguiente fórmula considerable:

$$\frac{dV}{dt}$$

Fórmula 2.4: Derivada del voltaje con respecto al tiempo  
Fuente: (Khanna, 2004)

Para minimizar dichas presiones, se utilizan inductancias y circuitos de ayuda a la conmutación compuestos por resistencias, condensadores y diodos (Alcívar, 2000).



Figura 2.16: IGBT  
Fuente: (Guerrero Angulo, 2016)

#### 2.15.5 El GTO (Gate Turn off Thyristor)

Es un tipo de tiristor particular cuya extinción se controla por medio de un impulso negativo. La energía necesaria para ello depende de la corriente conmutada (Mitsubishi High Power Semiconductors, 1998).



Figura 2.17: GTO  
Fuente: (Quijije, 2003)

### 2.15.6 El IPM (Intelligent Power Module)

Es un puente ondulator con transistores de potencia IGBT que integra su propio control de vías (Infineon, 2019). El IPM reúne en la misma caja:

- 7 componentes IGBT, 6 de ellos para el puente ondulator y 1 para el frenado,
- 7 diodos de potencia de rueda libre,
- los circuitos de control de los IGBT,
- seguridad contra avería en el circuito, altas temperaturas y sobretensión.

El variador modifica la frecuencia del voltaje administrado al motor, llegando a cambiar su velocidad. Sin embargo, simultáneamente con el cambio de frecuencia, debe variarse el voltaje aplicado al motor para evitar la saturación del flujo magnético con una elevación de la corriente que dañaría el motor (Piñero, 2015).

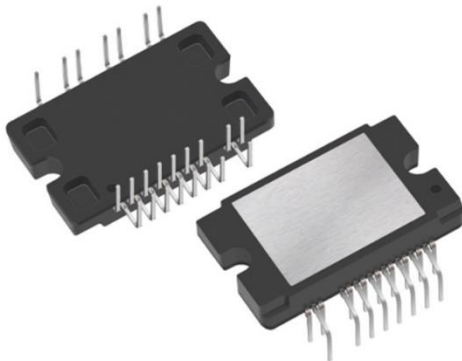


Figura 2.18: IPM  
Fuente: (Rosero, 2010)



## **2.16 Etapas de un Variador de Frecuencia**

En si en el variador se presentan las siguientes etapas:

### **2.16.1 Etapa Rectificadora**

Convierte la tensión alterna en continua mediante rectificadores de diodos, tiristores, etc (Burgos, 2008).

### **2.16.2 Etapa intermedia**

Existe un filtro para suavizar la tensión rectificada y reducir la emisión de armónicos (Benalcázar, 2011).

### **2.16.3 Inversor**

Convierte la tensión continua en otra de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Actualmente se emplean IGBT's (Isolated Gate Bipolar Transistors) para generar los pulsos controlados de tensión. Los equipos más modernos utilizan IGBT's inteligentes que incorporan un microprocesador con todas las protecciones por bajo voltaje, exceso de temperaturas, subida de voltaje, puesta a masa del motor, sobre corriente, falla en el circuito, etc (Lagos Núñez, 2009).

### **2.16.4 Etapa de Control**

Esta etapa controla los IGBT's para generar los pulsos variables de tensión y frecuencia. Y además controla los parámetros externos en general, etc. Los variadores utilizan modulación PWM (Modulación de Ancho de Pulsos) y usan en la etapa rectificadora puente de diodos rectificadores. En la etapa intermedia se usan condensadores y bobinas para disminuir las armónicas y mejorar el factor de potencia a través de cálculos matemáticos (Suarez Arana, 2017).

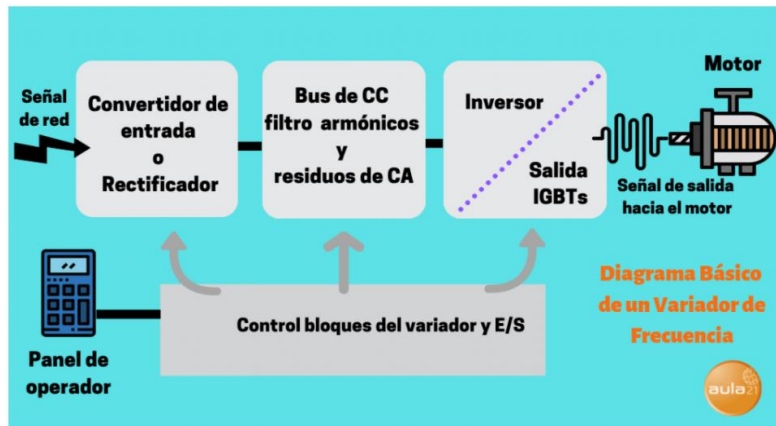


Figura 2.19: Fases de un Variador de Frecuencia  
Fuente: (Flórez Jara, 2020)

## 2.17 Arduino

Es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. Está pensado para artistas, diseñadores, como hobby y para cualquiera interesado en crear objetos o entornos interactivos. Arduino puede “sentir” el entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores y puede afectar a su alrededor mediante el control de motores, luces y en una diversidad de equipos. Aquel microcontrolador de la placa se puede programar utilizando el “Arduino Development Environment (IDE)” que consiste en un lenguaje de programación de hardware muy sencillo llamado Processing, y el “Arduino Programming Language”, el cual se basa en Wiring, que es un lenguaje de programación inspirado en el Processing. Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o se pueden comunicar con software en ejecución en un ordenador (por ejemplo, con Flash, Processing, MaxMSP, etc.). Aquellas placas, mediante asesoría se pueden encargar preensambladas o ensamblarlas a mano; sin embargo, se puede descargar gratuitamente el software. Los diseños de referencia del hardware (archivos CAD) están disponibles bajo licencia open-source, por lo que eres libre de adaptarlas a tus necesidades. Arduino recibió una mención honorífica en la

sección Digital Communities del Ars Electrónica Prix en 2006 (Enríquez Herrador, 2009).

## **2.18 ¿Por qué Arduino?**

Existen diferentes plataformas microcontroladoras aptas para la programación física. MIT's Handyboard, Parallax Basic Stamp, Phidgets, Netmedia's BX-24, y varias ofertas de funcionalidad parecida. Todas estas herramientas toman los desordenados detalles de la programación de microcontrolador y la encierran en un paquete fácil de usar (Electrónica Embajadores, 2016). Arduino también simplifica el proceso de trabajo con microcontroladores, pero ofrece algunas ventajas para profesores, estudiantes y aficionados interesados sobre otros sistemas similares:

- Barato: Estas placas Arduino son baratas en comparación con otras plataformas microcontroladoras. La versión menos cara del módulo Arduino puede ser ensamblada a mano, e incluso los módulos de Arduino preensamblados cuestan menos de 50\$.
- Multiplataforma: Este software de Arduino permite ejecutarse en diferentes sistemas operativos tales como: GNU/Linux, Macintosh OSX y Windows. La mayoría de los sistemas microcontroladores están limitados a Windows.
- Entorno de programación simple y claro: El entorno de programación de Arduino es fácil de usar para principiantes, pero suficientemente flexible para que usuarios avanzados puedan aprovecharlo también. Para profesores, está convenientemente basado en el entorno de programación Processing, facilitando así a los estudiantes de tal manera que puedan seguir aprendiendo a programar en ese entorno donde estarán relacionados con la imagen, la estructura y la apariencia de Arduino.

- **Código abierto y software extensible:** El software Arduino está publicado como herramientas de código abierto, disponible para extensión por programadores experimentados. El lenguaje puede ser expandido mediante librerías C++, y la gente que quiera entender los detalles técnicos pueden hacer el salto desde Arduino a la programación en lenguaje AVR C en el cual está basado. De forma similar, puedes añadir código AVR-C directamente en tus programas Arduino si quieres.
- **Código abierto y hardware extensible:** El Arduino está basado en microcontroladores ATMEGA8 y ATMEGA168 de Atmel. Los planos para los módulos están publicados bajo licencia Creative Commons, por lo que diseñadores experimentados de circuitos pueden hacer su propia versión del módulo, extendiéndolo y mejorándolo. Incluso usuarios relativamente inexpertos pueden construir la versión de la placa del módulo para entender cómo funciona y ahorrar dinero (Ruiz Corres, 2016).

## **2.19 Hardware**

Hay múltiples versiones de la placa Arduino. La mayoría usan el ATmega168 de Atmel, mientras que las placas más antiguas usan el ATmega8 (Plataforma Hardware, 2004).

## **2.20 Placas E/S**

Se dispone de una gran variedad de placas para usar, que dependerán de las necesidades del programador. Cada placa cuenta con sus respectivas características y diferencias entre otra (Mera, 2010).

### 2.20.1 Arduino UNO

Es una placa de microcontrolador conectada a tierra en el ATmega328 (hoja de datos). Se compone de 14 pines de entrada / salida digital (de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz, una facilitación para la conectividad USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio. Sus diseños se componen de asistencias que soportan el microcontrolador de todas las formas posibles. Para empezar a trabajar con él, simplemente tiene que conectarlo a una computadora con un cable USB o alimentarlo con un adaptador de CA a CC o una batería. Es accesible en dos versiones diferentes, a saber, Arduino Uno y Genuino Uno, que se pueden visualizar en la Figura 2.20. Las variaciones se observan con referencia a la región. El Uno es único de todas sus placas anteriores en la forma en que no hace uso del chip controlador FTDI USB a serie (Kumar et al., 2016).



Figura 2.20: Arduino UNO  
Fuente: (Kumar et al., 2016)

La palabra "Uno" se refiere a uno en italiano y se llama así para marcar el próximo lanzamiento de Arduino 1.0. El Uno y la versión 1.0 son las versiones de referencia de Arduino en el viaje hacia adelante. El Uno es el último de una serie de placas USB Arduino y el modelo de referencia para la plataforma Arduino. Es la manera perfecta para entrar al mundo de la programación, cuenta con sistemas visuales, tal es el ejemplo de Scratch. Brinda una facilidad que te permite aprender lo que es programar desde cero (Tapia Ayala & Manzano Yupa, 2013).

Tabla 2.1: Características Técnicas de Arduino UNO

Característica	Descripción
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje de operación	5V
Tensión de entrada (recomendada)	7 - 12V
Tensión de entrada (límite)	6 - 20V
Pines digitales de E/S	14 (de los cuales 6 son salida PWM)
Pines de entrada analógicos	6
Corriente DC por cada pin E/S	40 mA
Corriente DC con respecto al pin 3.3 V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (ATmega328) de los cuales 0.5 KB son utilizados para el arranque
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Frecuencia de reloj	16 MHz

Fuente: (Bawa & Patil, 2013)

### 2.20.2 Arduino Diecimila

De todas las placas, es una de las más populares dentro del conjunto con USB, se basa en el microcontrolador ATmega168. Tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6 pueden ser usados como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un oscilador de cuarzo a 16MHz, una conexión USB, un conector para alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reset. Contiene todo lo necesario para soportar el

microcontrolador; simplemente conéctalo a un ordenador con un cable USB o enchúfalo con un adaptador AC/DC o batería para comenzar (Mikheev et al., 2011).

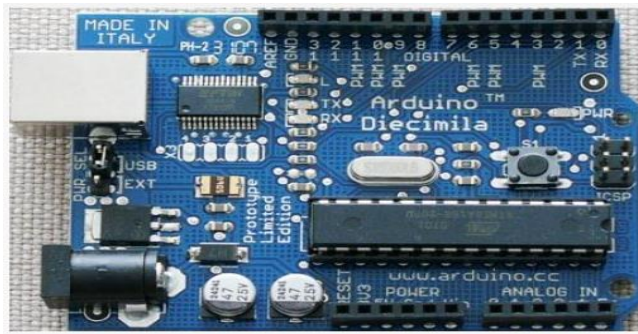


Figura 2.21: Arduino Diecimila  
Fuente: (Aprilianto et al., 2017)

“Diecimila” quiere decir 10000 en italiano y fue llamado así para resaltar el hecho de que más de 10000 placas Arduino han sido fabricadas. El Diecimila es el último en la serie de placas USB Arduino (Hernández et al., 2010).

Tabla 2.2: Características Técnicas de Arduino Diecimila

Característica	Descripción
Microcontrolador	ATmega168
Voltaje de operación	5V
Tensión de entrada (recomendada)	7 - 12V
Tensión de entrada (límite)	6 - 20V
Pines digitales de E/S	14 (de los cuales 6 son salida PWM)
Pines de entrada analógicos	6
Corriente DC por cada pin E/S	40 mA
Corriente DC con respecto al pin 3.3 V	50 mA
Memoria Flash	16 KB (de los cuales 2 KB son utilizados para bootloader)

Fuente: (Sanna, 2007)

---

SRAM	1 KB
EEPROM	512 bytes
Frecuencia de reloj	16 MHz

---

### 2.20.3 Arduino Nano

Una placa compacta diseñada para uso como tabla de pruebas, el Nano se conecta al ordenador usando un cable USB Mini-B (Arsyad et al., 2020).

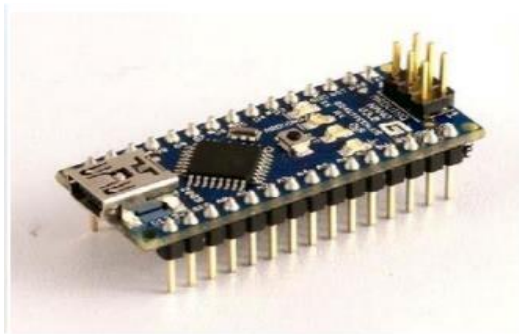


Figura 2.22: Arduino Nano  
Fuente: (Iturralde, 2018)

### 2.20.4 Arduino Bluetooth

Contiene un módulo bluetooth que permite comunicación y programación sin cables. Es compatible con los dispositivos Arduino (Yoo & Shaik, 2016).

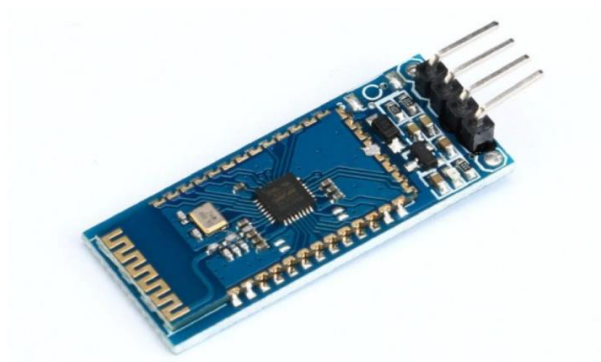


Figura 2.23: Arduino Bluetooth  
Fuente: (Lodhi et al., 2016)



### 2.20.5 Arduino LilyPad

Diseñada para “aplicaciones listas para llevar”, esta placa puede ser conectada en fábrica, y un estilo sublime (Buechley & Hill, 2010).

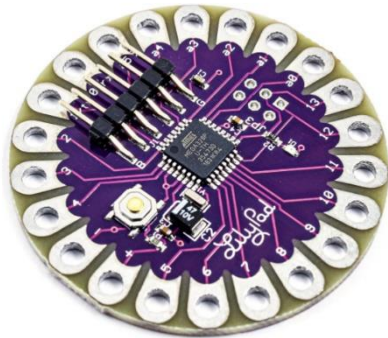


Figura 2.24: Arduino LilyPad  
Fuente: (Louis, 2016)

### 2.20.6 Arduino Mini

Esta es la placa más pequeña de Arduino. Se especializa en funcionar bien en referente a aplicaciones en las que prima el espacio o en tabla de pruebas. Se conecta al ordenador utilizando el cable Mini USB (Martín-Ramos et al., 2016).

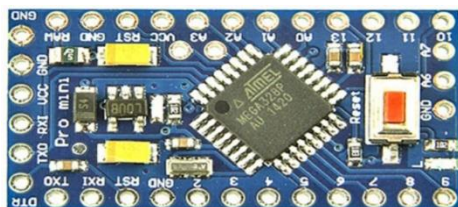


Figura 2.25: Arduino Mini  
Fuente: (Kurnia Utama, 2016)

### 2.20.7 Arduino Serial

Es una placa básica que usa RS232 como un interfaz con el ordenador para programación y comunicación. Esta placa es fácil de ensamblar incluso como ejercicio de aprendizaje (Antal, 2018).



Figura 2.26: Arduino Serial  
Fuente: (Djuandi, 2011)

### 2.20.8 Arduino Serial Single Sided

Esta placa está diseñada para ser grabada y ensamblada a mano. Es ligeramente más grande que la Diecimila, pero aun compatible con los dispositivos (Parrott et al., 2014).

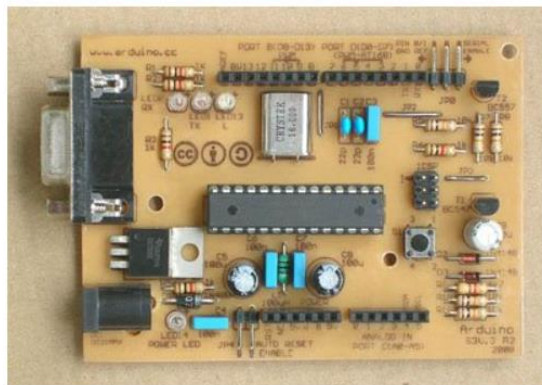


Figura 2.27: Arduino Serial Single Sided  
Fuente: (Ruokamo, 2012)

### 2.21 Proteus

Es una herramienta diseñada para la ejecución completa de trabajos para la elaboración de equipos electrónicos en todas sus fases. Proteus (VSM), del inglés: Virtual System Modelling o en español: Sistema Virtual de Modelado; este sistema es capaz de combinar diferentes caracteres, entre ellos, componentes animados, simulación de circuito de SPICE, y ejemplos completos de diseños que se encuentran basados en microprocesador para posibilitar la co-simulación del microcontrolador. Esta herramienta se encuentra formada a partir de los módulos conocidos por: Simulador (ProSpice/VSM), , Layout de ARES PCB y Captura de esquemáticos ISIS.

Debido a esto, es viable llevar a cabo y probar diseños previamente a construir un prototipo físico (Su & Wang, 2010).

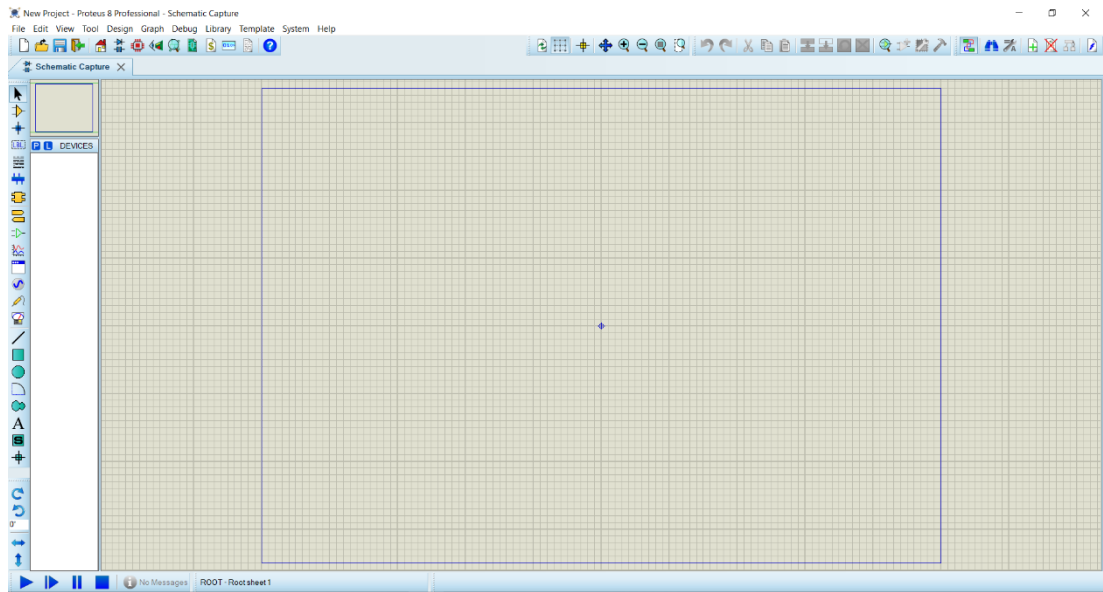


Figura 2.28: Panel de Proteus  
Fuente: El autor

## 2.22 Sensores

Se determina como un dispositivo de entrada que ofrece una salida controlable de la variable física medida, es apto de cambiar una propiedad respecto a magnitudes químicas o físicas, las cuales se llaman variables de instrumentación, y convertirlas en variables eléctricas mediante un transductor (Corona Ramírez et al., 2014).

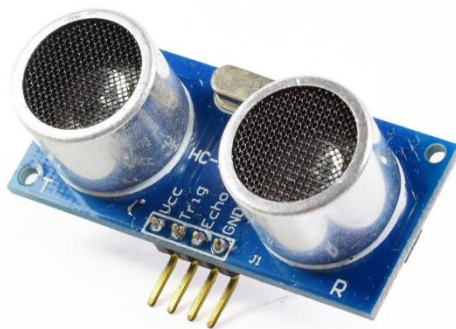


Figura 2.29: Sensor Ultrasónico  
Fuente: (Ferdegini et al., 1998)

## 2.23 Tipos de sensores

Se pueden clasificar en muchas formas diferentes, pero las más comunes son las siguientes:

### 2.23.1 Sensores de luz visible

Como indica su nombre, detectan la luz en el entorno. Algunas veces son llamadas celdas CdS, fotorresistores y LDRs, debido a que están formadas por una resistencia que varía su valor, la cual depende de la cantidad de luz que esté afectando una superficie. Básicamente, disminuye su resistencia cuando reciben más intensidad luminosa (Muñoz et al., 2013).

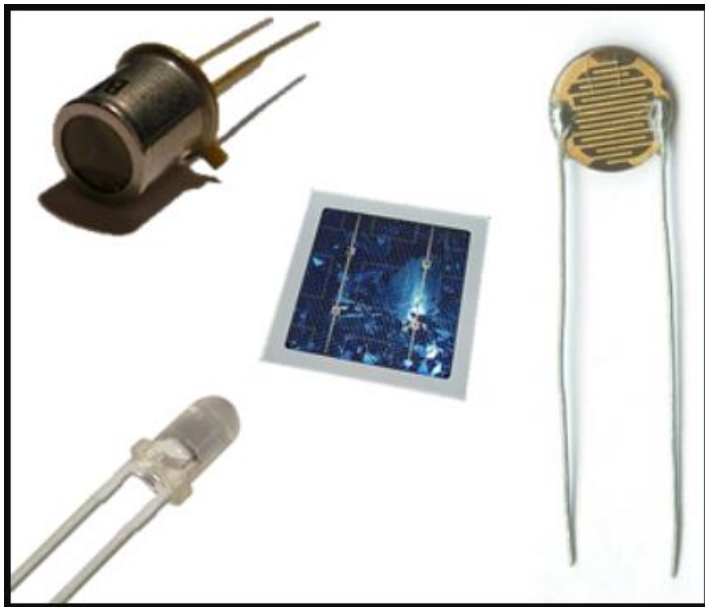


Figura 2.30: Sensores de luz visible  
Fuente: (Rengifo Morocho & Vargas Hernández, 2012)

### 2.23.2 Sensores de luz infrarroja

Es un dispositivo, que, al ser excitado por medio de la luz, genera una circulación de corriente proporcional en el circuito. Por lo tanto, funcionan también como sensores de luz, pese a que, es verdad que hay fotodiodos particularmente sensibles a la luz visible, pero en una gran mayoría, son sensibles a la luz infrarroja (Salvatore et al., 2014).



Figura 2.31: Sensor de luz infrarroja  
Fuente:(Páramo et al., 2014)

### 2.23.3 Sensores de temperatura

Un termistor es aquel resistor que varía su resistencia de acuerdo con la temperatura. En pocas palabras, todo resistor es un termistor, debido a que su resistencia cambia levemente con la temperatura, no obstante, esta modificación es comúnmente muy diminuto y difícil de medir. Están fabricados de una forma que su resistencia pueda cambiar de manera drástica, para que así pueda variar 100 ohmios por grado centígrado (Bausà Aragonés et al., 2003).



Figura 2.32: Sensor de temperatura  
Fuente: (del Valle Hernández, 2019)

### 2.23.4 Sensores de humedad

Basándose en el modelo DHT22, es un sensor común y lento, pero de un precio bajo y muy manejable al momento de obtener información básica en proyectos. Sus principales características son que se puede alimentar con una tensión de entre 3V y 5V, con 2,5 mA como máximo, con la posibilidad de oscilar entre temperaturas de -40 y 125°C, con la precisión fija de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  y con el rango de humedad de entre 0 y 100%, con la precisión fija del 2-5% (Kouro Renaer, 2001).

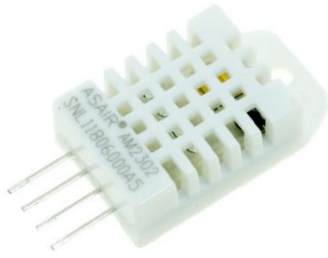


Figura 2.33: Sensor de humedad  
Fuente: (Fliger & Padovani, 2004)

### 2.23.5 Sensores de distancia

Tiene la posibilidad de medir distancia entre 2 objetos, lo consigue al enviar un ultrasonido a través de un transductor, el cual espera a que el ultrasonido rebote en un objeto y regrese, retorno al que es denominado por el otro transductor. Entonces, el sensor regresa el tiempo que transcurrió entre el envío y recepción posterior del ultrasonido (González Ospina et al., 2011).



Figura 2.34: Sensor de distancia  
Fuente: (Hurovich et al., 2015)

### 2.23.6 Sensores de inclinación

Están conformados de una cavidad y una masa conductiva libre los cuales se encuentran en su interior; de uno de los extremos de la cavidad hay dos polos conductivos de forma que en el momento que el sensor se posiciona con este lado hacia abajo, aquella masa rueda en dirección a los polos y los cierra. Por consiguiente, estos

sensores funcionan como interruptores, con la posibilidad de que pase o no la corriente de acuerdo con la inclinación del circuito (González González, 2008).

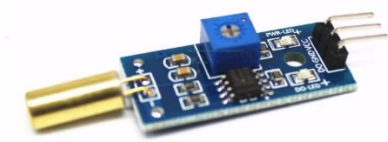


Figura 2.35: Sensor de inclinación  
Fuente: (Lara Gordillo et al., 2019)

### 2.23.7 Sensores de movimiento

De acuerdo con la piroelectricidad, que es la capacidad la cual poseen varios elementos para producir un cierto voltaje en el momento de sufrir un cambio en la temperatura. No obstante, si la temperatura se mantiene constante, el voltaje ira poco a poco desapareciendo. Detecta la radiación infrarroja producida por los diferentes sensores, permitiendo que pueda detectar su ubicación dentro del rango del sensor (Mandujano et al., 1996).



Figura 2.36: Sensor de movimiento  
Fuente: (Pérez Castro et al., 2010)

### 2.23.8 Sensores de contacto

Tiene la capacidad de detectar fuerza, son técnicamente un resistor que varía su resistencia de acuerdo con la fuerza a la cual está sometida. Son fáciles de utilizar pero no muy precisos, la misma medida puede oscilar desde un sensor hasta otro de 10% (F. Torres & Fernández, 2011).



Figura 2.37: Sensor de contacto  
Fuente: (Paggi et al., 2011)

### 2.23.9 Sensores de sonido

Está conformado de un sensor de presión el cual transforma las ondas de presión de aire en señales eléctricas con la tipología analógica; en pocas palabras, un micrófono. Hay una variedad de micrófonos en base a los mecanismos físicos que usan para ejecutar esa conversión, de los cuales habrán muchos que tengan mejor respuesta al rango predeterminado de frecuencias de sonido, mayor sensibilidad, distorsión a menos volúmenes, mayor resistencia y duraderos que otros (Mejía Saca, 2018).

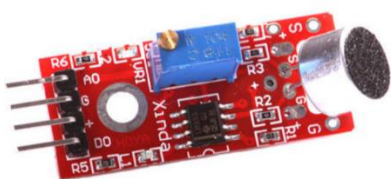


Figura 2.38: Sensor de sonido  
Fuente: (Luna Consuegra & Zambrano Rosero, 2009)



## **CAPÍTULO 3 : METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1 Tipo de Investigación**

Los diferentes procesos existentes en la industria dieron lugar a una pregunta básica. ¿Por qué se utiliza con frecuencia los variadores de velocidad para el arranque de motores y cuáles son los beneficios y consecuencias en la industria? La investigación consiste en evaluar la eficiencia de este tipo de arranque con otros diferentes.

#### **3.1.1 Investigación Explicativa**

Se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas, como de los efectos, mediante la prueba de hipótesis . Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos (Marroquín Peña, 2012).

#### **3.1.2 Investigación Descriptiva**

Exhibe el conocimiento de la realidad tal como se presenta en una situación de espacio y de tiempo dado. Aquí se observa y se registra, o se pregunta y se registra. Describe el fenómeno sin introducir modificaciones: tal cual. Las preguntas de rigor son: ¿Qué es?, ¿Cómo es?, ¿Dónde está?, ¿Cuándo ocurre?, ¿Cuántos individuos o casos se observan?, ¿Cuáles se observan? (Rojas Cairampoma, 2015).

Las técnicas utilizadas para la recolección de información fueron la revisión documental y la observación principalmente, que ayudarán a recoger la información y como bien lo dicen los autores Taylor & Bogdan, (1987) “es aquella que produce datos descriptivos: las propias palabras de las personas, habladas o escritas, y la conducta

observable”. De esta forma, con el estudio descriptivo buscamos analizar la importancia de aplicar o ejecutar en un sistema de riego, una correcta aplicación u configuración del variador de frecuencia. Es decir, solamente pretende identificar conceptos teóricos, determinar la importancia, hacer recomendaciones de uso recolectando información de forma independiente o conjunta de acuerdo con los conceptos y variables a las que hace referencia.

### **3.2 Métodos de Investigación**

Los métodos de investigación utilizados en el actual proyecto están dados por:

#### **3.2.1 Método de observación**

La observación consiste en saber seleccionar aquello que queremos analizar. Como lo plantea el autor Whitehead, (1967) “Saber observar es saber seleccionar”. Para la observación lo primero es plantear previamente que es lo que interesa observar. En definitiva, haber seleccionado un objetivo claro de observación.

En el caso del proyecto de investigación conocer los motivos de uso frecuente de variadores de velocidad sus beneficios y consecuencias en la utilización de estos dispositivos.

#### **3.2.2 Método inductivo**

Es aquel método científico que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares. Se distingue cuatro pasos esenciales: la observación de los hechos para su registro; la clasificación y el estudio de estos hechos; la derivación inductiva que parte de los hechos y permite llegar a una generalización; y la contrastación (Rodríguez Jiménez & Pérez Jacinto, 2017).

Se comienza la investigación por observar procesos industriales deficientes en control de velocidad y altos consumos de energía, el campo de observación se enfoca en implementar un módulo para realizar pruebas entre varios tipos de arranques, con el análisis de los resultados determinar cuál método es el más eficiente.

### **3.2.3 Método analítico**

Es aquel método de investigación que consiste en la desmembración de un todo, descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, la naturaleza y los efectos (Hernández Coca, 2017).

Como parte de la investigación se tiene la comparación entre los arranques:

- ✓ Directo – estrella/triángulo
- ✓ Directo – variador de frecuencia
- ✓ Estrella/triángulo – variador de frecuencia

En cada estudio de comparación se puede observar el consumo de cada uno de ellos, donde mediante el análisis de resultados se demuestra que se consume menos energía debido al uso del variador de frecuencia.

## **3.3 Fuentes de Recopilación de Información**

Se obtiene la información solamente de fuentes secundarias:

### **3.3.1 Secundarias**

Proporcionadas por los catálogos de fabricantes de EATON y ABB, también del internet en vista de que es la más grande herramienta dentro de la investigación virtual.

### **3.4 Diseño de Investigación**

Como pieza importante de la investigación es fundamental diseñar un sistema automatizado que pueda ser simulado en Proteus, las etapas del diseño se presentan a continuación:

1. Definir las especificaciones para el funcionamiento del sistema automatizado en Proteus.
2. Diseño del circuito simulado en Proteus y el código Arduino ver en los ANEXO 2 y ANEXO 3.
3. Una vez realizada la simulación para el funcionamiento de los equipos se empieza a investigar acerca del consumo energético en los diferentes tipos de arranques.
4. Obtenidos los resultados y la información se tabulan como certificado en un cuadro para proceder con su respectivo análisis.

### **3.5 Introducción y descripción de los elementos y herramientas en la utilización del Proyecto**

#### **3.5.1 Selección del variador de frecuencia ABB, ACS150**

Incluso los motores más pequeños pueden disfrutar diariamente de la fiabilidad y el rendimiento de nuestra tecnología de variadores tanto de frecuencia, como de velocidad. Aquellos micro convertidores de ABB pueden ajustarse convenientemente a las necesidades de su negocio con un control preciso y una integración simple. Añada eficiencia compacta, servicio global y experiencia y tendrá todo lo que necesita para aportar grandes beneficios a sus motores más pequeños (Henaó Martínez, 2015).



Figura 3.1: Variador de Frecuencia ACS150, ABB  
Fuente: (ABB Micro Drives, 2020)

Debido al ACS150 se puede mejorar la productividad a un nivel superior con la funcionalidad y el amplio rango de potencia. Disponible en suministros simples y trifásicos. Los convertidores son fáciles de seleccionar y ofrecen una variedad de funciones incorporadas de serie, incluido el control PID, el chopper de frenado, el teclado fijo y el control del potenciómetro de velocidad. Una herramienta de configuración del variador FlashDrop como opcional hace que la configuración de convertidores sin alimentación sea rápida y fácil. Aquellos micro convertidores de ABB cumplen con las condiciones de fabricantes de cuadristas y maquinaria. Estos convertidores están disponibles a través de la red de distribución de ABB (ABB Micro Drives, 2018).

### **3.5.2 Selección del Sensor de Temperatura y Humedad Relativa DHT11**

El sensor de temperatura y humedad DHT11 cuenta con un complejo de sensores de temperatura y humedad con una salida de señal digital calibrada. Al utilizar la técnica exclusiva de adquisición de señales digitales y la tecnología de detección de

temperatura y humedad, garantiza una extraordinaria seguridad y una alta confiabilidad con el tiempo. Este sensor incluye un componente de medición de humedad de tipo resistivo y un componente de medición de temperatura NTC, y se conecta a un microcontrolador de 8 bits de alto rendimiento, ofreciendo excelente calidad, respuesta rápida, capacidad anti-interferencias y rentabilidad (Saptadi, 2014).

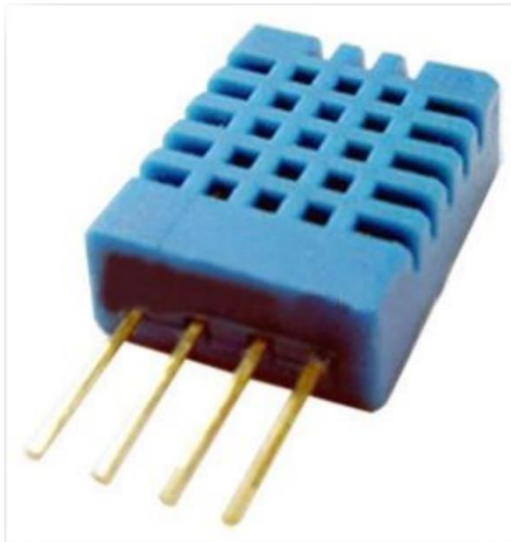


Figura 3.2: Sensor de Temperatura y Humedad Relativa DHT11  
Fuente: (Bolaños, 2011)

Cada elemento DHT11 está estrictamente calibrado en el laboratorio que es extremadamente preciso en la calibración de la humedad. Los coeficientes de calibración se almacenan como programas en la memoria OTP, que son utilizados por el proceso de detección de señales internas del sensor. La interfaz en serie de un solo cable hace que la integración del sistema sea rápida y sencilla. Su pequeño tamaño, bajo consumo de energía y transmisión de señal de hasta 20 metros lo convierten en la mejor opción para diversas aplicaciones, incluidas las más estrictas. El elemento está formado por un conjunto de 4 pines ubicados en una sola fila. Es conveniente conectarse y se pueden proporcionar paquetes especiales de acuerdo con la solicitud de los usuarios (Wayne, 2015).

Tabla 3.1: Resumen del Sensor DHT11

Artículo	Rango de medición	de	Exactitud de la humedad	Exactitud de la temperatura	de	Resolución	Paquete
DHT11	20-90% humedad relativa 0-50 °C	de	± 5 % de humedad relativa	± 2 °C	de	1	4 pines de una sola fila

Fuente: (Liu, 2017)

Tabla 3.2: Especificaciones Detalladas del Sensor DHT11

Parámetros	Condiciones	Mínimo	Típico	Máximo
<b>Humedad</b>				
<b>Resolución</b>		1% de humedad relativa	1% de humedad relativa 8 bits	1% de humedad relativa
<b>Repetibilidad</b>			± 1% de humedad relativa	
	25 °C		± 4% de humedad relativa	
<b>Exactitud</b>				± 5% de humedad relativa
	0-50 °C			
<b>Intercambiabilidad</b>	Totalmente intercambiable			
	0 °C	30% de humedad relativa		90% de humedad relativa
<b>Rango de medición</b>	25 °C	20% de humedad relativa		90% de humedad relativa
	50 °C	20% de humedad relativa		80% de humedad relativa
<b>Tiempo de respuesta (segundos)</b>	1 / e (63%) 25 °C, 1 m / s Aire	6 S	10 S	5 S
<b>Histéresis</b>			± 1% de humedad relativa	





En la figura 3.3 se observa el ejemplo de placa de un motor con sus respectivas características, las cuales son detalladas en el “Catálogo técnico de motores W22” (WEG, 2011b), y también en el artículo científico “Motores Eléctricos” (PEMEX, 2004).

La información de la placa de característica del motor, se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Datos nominales del motor

<b>Magnitud</b>	<b>Motor</b>
Potencia HP	0.5
Voltaje 1 ~	115v/230v
Corriente	6.4A/3.2A
Frecuencia Hz	60
SF	1.2
P.F.	0.98
INS. CL.	B
Velocidad Rpm	3450

Fuente: El autor

### 3.6 Diseño del sistema automatizado en Proteus

Se diseña el circuito del sistema automatizado, para la ejecución se utilizará diferentes elementos que son:

- 1N4003 Diodo
- 2N7000 Transistor
- 1K Potenciómetro
- LM016L Display 16X2
- Sensor temperatura / humedad DHT11
- Arduino UNO
- 10k Resistor

En el ANEXO 2 se dan los detalles específicos del diseño

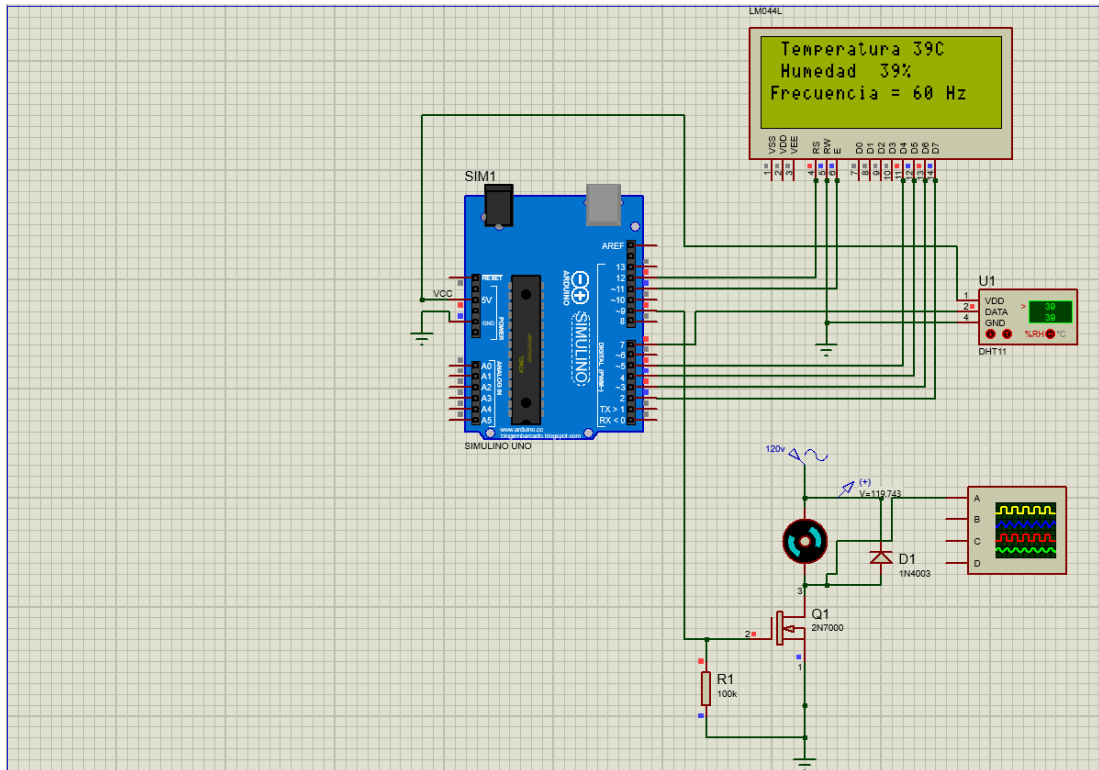


Figura 3.4: Diseño del circuito del sistema automatizado simulado en Proteus  
Fuente: El autor

### 3.7 Conexión del Arduino con el Variador de Frecuencia

Para la configuración del variador de frecuencia, es requisito cumplir con diferentes módulos que intervienen las ondas de entrada de suministración del motor. Lo que ocurre primero que la señal de entrada se toma de un suministro de energía continua (CC). Luego, esta señal es procesada en una etapa de conmutación donde cambiamos la frecuencia de la señal de acuerdo con el control implementado, con la finalidad de arrancar el motor de inducción a diferentes velocidades (Chávez Ibarra & Jiménez Herrera, 2008).

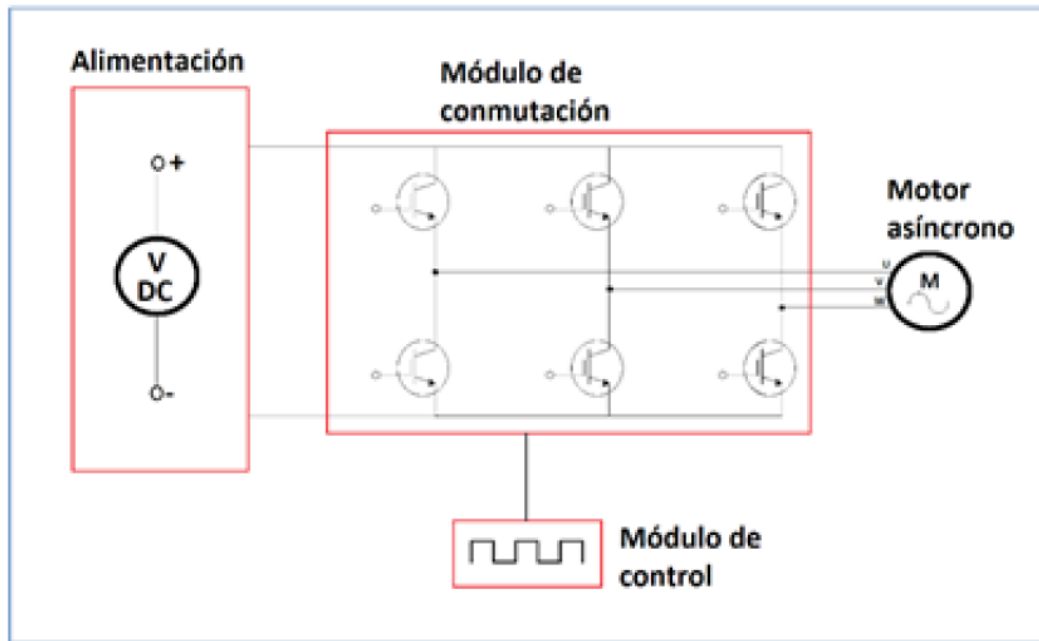


Figura 3.5: Módulos del Inversor  
Fuente: (Johnson, 2007)

En función de las características de corrientes y tensión necesarias para hacer funcionar el motor de inducción, se abastece con una tensión CC, que puede originarse de una simple fuente CC fija o variable. Tal el caso de no poseer una fuente CC, pero si de una red trifásica, esta deber ser rectificada y filtrada para disponer de una corriente constante. Lo primero que hay que hacer para lograr una tensión CC mediante una fuente trifásica, es necesario la implementación de un rectificador trifásico, que controle una tensión de 220v y pueda soportar una corriente mayor a la nominal a plena carga del motor (Rodríguez, 2007).

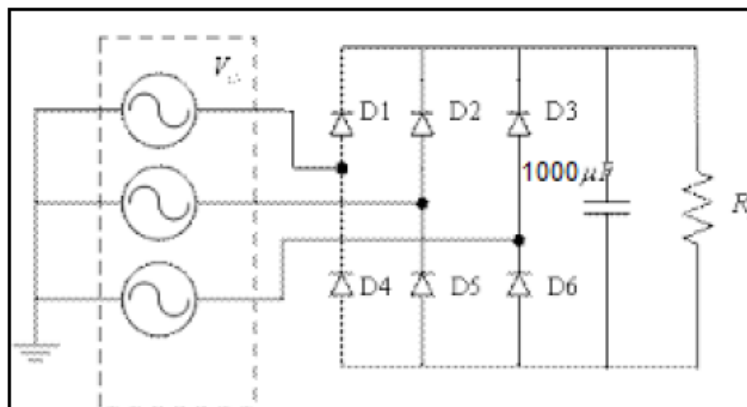


Figura 3.6: Rectificador Trifásico  
Fuente: (Bonilla & Amado, 2015)

La fase de conmutación de una señal CC se realiza debido a unos transistores llamados IGBT, los cuales son semiconductores y forman parte esencial del inversor cuando son accionados por el sistema de control (Ledesma De La Cruz, 2019).

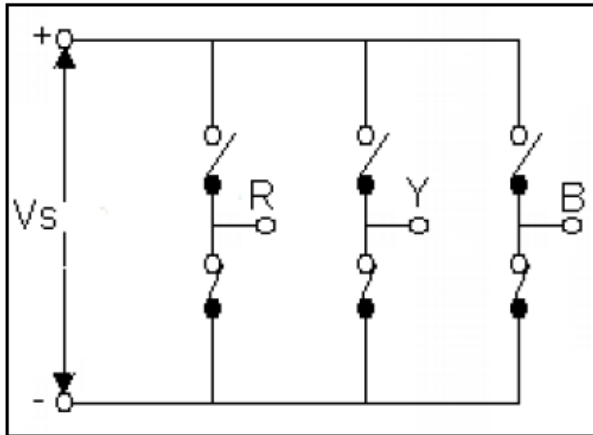


Figura 3.7: Conmutación IGBT  
Fuente: (Chamorro Aldas & Gallegos Rueda, 2005)

Los IGBT siguen una secuencia de conmutación que viene definido por un proceso anterior de modulación , el que determinará las características de la señal de salida, de las cuales la forma, amplitud, frecuencia. El transistor IXY P15N 65C3 es un transistor IGBT capaz de resistir una tensión de 600v y 15A de corriente funcionando a una velocidad de 20 – 60 kHz (C. A. Torres et al., 2008).

Datos técnicos de los IGBT'S:

- Puente inversor de las tres fases de los IGBT'S
- Menor perdidas de eficiencia en los IGBT's para motores
- El cambio de estado de los IGBT's es debido a las necesidades del sistema de control.

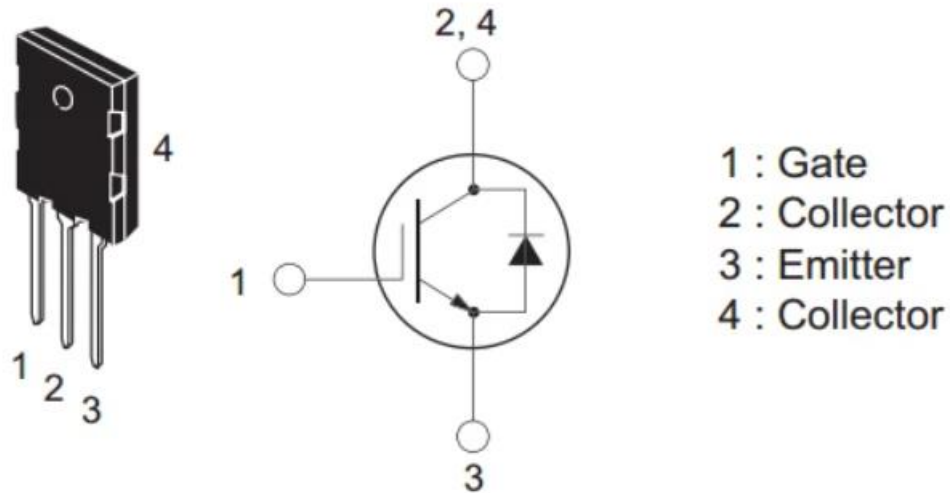


Figura 3.8: IGBT  
Fuente: (Correa, 2002)

Se uso un circuito integrado IR2110 que es un driver, lo cual tiene como función de originar 12v independientemente para cada IGBT, debido a que estos al cambiar de estado, producen tierras flotantes en la fuente de disparo (McClane, 2011).

En estos momentos que se tiene una señal CC a la entrada de los IGBT, se tiene que programar la base de los transistores que forman dicho elemento, para lo cual es requisito controlarlo mediante un dispositivo apropiado para dicha función, tal pueden ser el Arduino UNO o MEGA 2560. Al conocer la frecuencia máxima de conmutación que viene dada por los datos del IGBT IXY P15N65C3 de 60kHz, lo único que hay que hacer es definir la estrategia de control ideal para controlar el encendido y apagado de estos dispositivos, la manera de control más adecuada en los inversores es el PWM o la modulación por ancho de pulso (Hefner, 1994). Existen diferentes tipos de modulación de ancho de pulso, los cuales son:

### 3.7.1 Modulación por ancho de pulso único

Necesita dos conmutaciones por ciclo solo, normalmente es utilizada para la suministración de motores inducción de baja potencia (Ohnishi, 1991).

### 3.7.2 Modulación por ancho de pulso múltiple

En esta técnica se considera una disminución en el contenido de armónicos, pero la frecuencia en el inversor se vuelve muy elevada (Tolbert & Habetler, 1999).

### 3.7.3 Modulación por ancho de pulso sinusoidal

Su función principal se basa en que el ancho de estos pulsos se establece según una onda sinusoidal. En base a los diversos módulos, se reúne todo en un diagrama eléctrico que interpreta al variador de velocidad controlado mediante un Arduino y los IR2110 en la sección de control para ser ejecutada en la fase de potencia por los IGBT's YXY P1565C (Rojas Vargas, 2006).

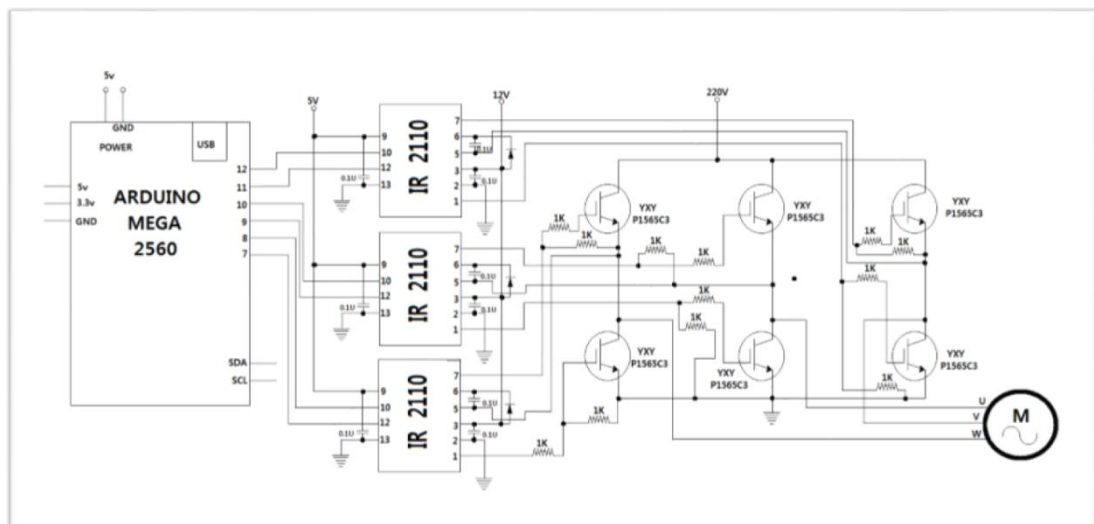


Figura 3.9: Conexión del Arduino con el Variador de Frecuencia aplicado en un motor  
Fuente: (Duque Lozano et al., 2011)

### 3.8 Diseño del Código Fuente Arduino

Es un lenguaje de programación y entorno de desarrollo integrado de código abierto basado en Java, de utilización fácil, y que se desempeña como recurso para la producción y enseñanza de proyectos interactivos y multimedia de diseño digital (Pomares Baeza, 2009).

En el ANEXO 2 se puede visualizar detalladamente el Código Fuente Arduino.

```
arduino_lcd
//Incluir Librería
#include <LiquidCrystal.h>
#include <DHT.h>

//Declaración ed variables
int motor = 9;
int val = 0;
int sensor = 7;
int temp;
int humedad;
int port1 = A0;
DHT dht (sensor, DHT11);

//Inicializar los pines conectados
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

void setup() {
  //Setear el número de filas y de columnas del LCD
  dht.begin();
  lcd.begin(20, 4);
  pinMode(motor, OUTPUT);
  pinMode(port1, INPUT);
}

void loop() {

  humedad = dht.readHumidity();
  temp = dht.readTemperature();

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" Temperatura ");
  lcd.print(temp);
}
```

Figura 3.10: Código Fuente Arduino  
Fuente: El Autor

## **CAPÍTULO 4 : ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

### **4.1 Análisis del funcionamiento del Variador de Frecuencia**

Es esencial saber el manejo del variador de frecuencia para asegurar el adecuado uso de este debido a que el mismo cumple un papel fundamental integrando los distintos sensores cuya finalidad consiste en la autoprotección de sub o sobretensiones eléctricas, lo que al mismo tiempo otorga niveles operativos seguros de protección hacia el equipo.

El autor Mulett, (2018) confirma que las aplicaciones del variador de frecuencia son consideradas importantes para el manejo de la productividad del pozo en este caso, sin embargo, su uso se da también en otros sistemas utilizados como en: ascensores, montacargas, grúas, compresores, sopladores, cabrestantes, bombeo de fluidos, bombas solares, torres de enfriamiento, extrusoras, bandas transportadoras entre otros. La aplicación del variador en sus diferentes etapas debe contar con la protección adecuada para quien lo opere.

### **4.2 Comparación del consumo energético de los diferentes tipos de arranques**

Las pruebas investigadas brindaron muchos resultados, el consumo de energía se lo realiza en base a la comparación de 3 arranques.

- Arranque directo
- Arranque estrella triangulo
- Arranque con el variador de frecuencia
  
- ✓ Inversión de giro



## Resultados

Tabla 4.1: Medición KWH en vacío

---

<b>Medición (KWH) en vacío</b>	
<b>Menú</b>	<b>5 min</b>
Arranque Directo	0.03
Estrella-Triangulo	0.02
Variador De Frecuencia	0.02

---

Fuente: (Pilaquina Cantuña, 2015)

Tabla 4.2: Proyección de consumo (KWH) en vacío

---

<b>Proyección de consumo (KWH) en vacío</b>			
<b>Menú</b>	<b>1 hora</b>	<b>12 horas</b>	<b>30 días</b>
Arranque Directo	0.36	4.32	129.6
Estrella-Triángulo	0.24	2.88	86.4
Variador de Frecuencia	0.24	2.88	86.4

---

Fuente: (Pilaquina Cantuña, 2015)

Tabla 4.3: Medición (KWH) con carga

---

<b>Medición (KWH) con carga</b>	
<b>Menú</b>	<b>5 min</b>
Arranque Directo	0.07
Estrella-Triángulo	0.05
Variador de Frecuencia	0.02

---

Fuente: (Pilaquina Cantuña, 2015)

Tabla 4.4: Proyección de consumo (KWH) con carga

<b>Proyección de consumo (KWH) con carga</b>			
<b>Menú</b>	<b>1 hora</b>	<b>12 horas</b>	<b>30 días</b>
Arranque Directo	0.84	10.08	302.4
Estrella-Triángulo	0.6	7.2	216
Variador de Frecuencia	0.24	2.88	86.4

Fuente: (Pilaquina Cantuña, 2015)

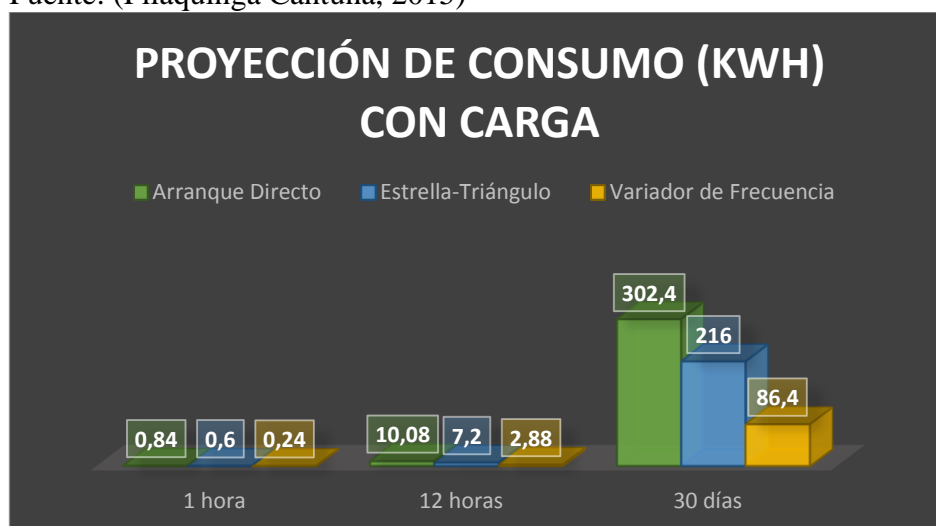


Figura 4.1: Proyección de consumo (KWH) con carga

Fuente: El autor

Tabla 4.5: Comparación de consumo energético y ahorro en valor monetario

<b>Consumo de (KWH) Mensuales</b>					
<b>Comparación de Arranque</b>	<b>Diferencia de Consumos</b>	<b>Equivalente Monetario Mensual</b>	<b>Valor Mensual</b>	<b>Equivalente Monetario Anual</b>	<b>Valor Anual</b>
Directo- Estrella/Triángulo	86.4	8.3		99.6	
Directo-Variador de Frecuencia	216	8.9		106.8	
Estrella/Triángulo- Variador de Frecuencia	129.6	8.5		102	

Fuente: (Pilaquina Cantuña, 2015)

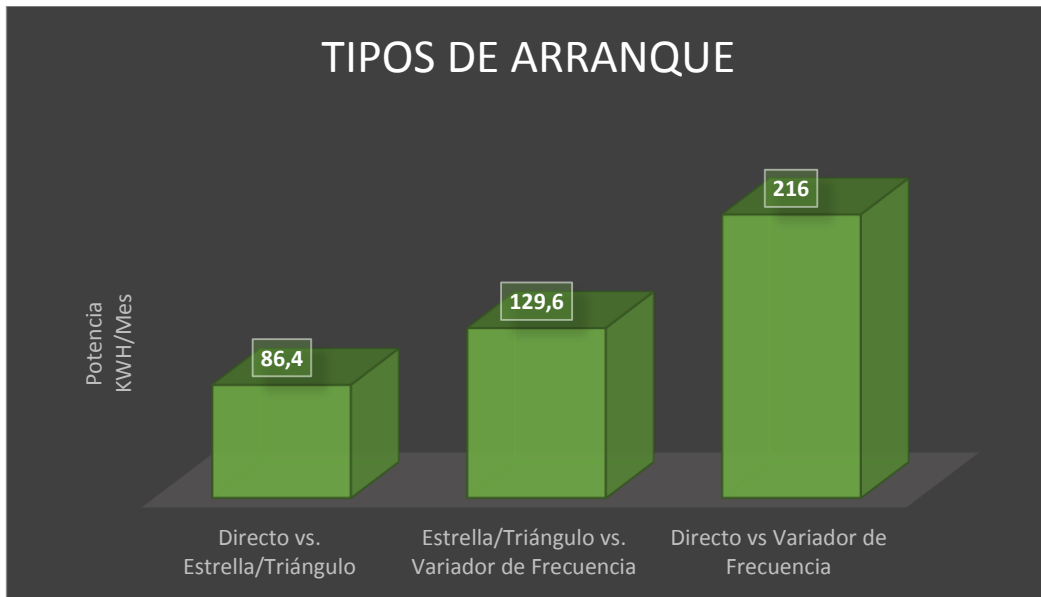


Figura 4.2: Comparación de consumo energético KWH Tipos de Arranque  
Fuente: El autor

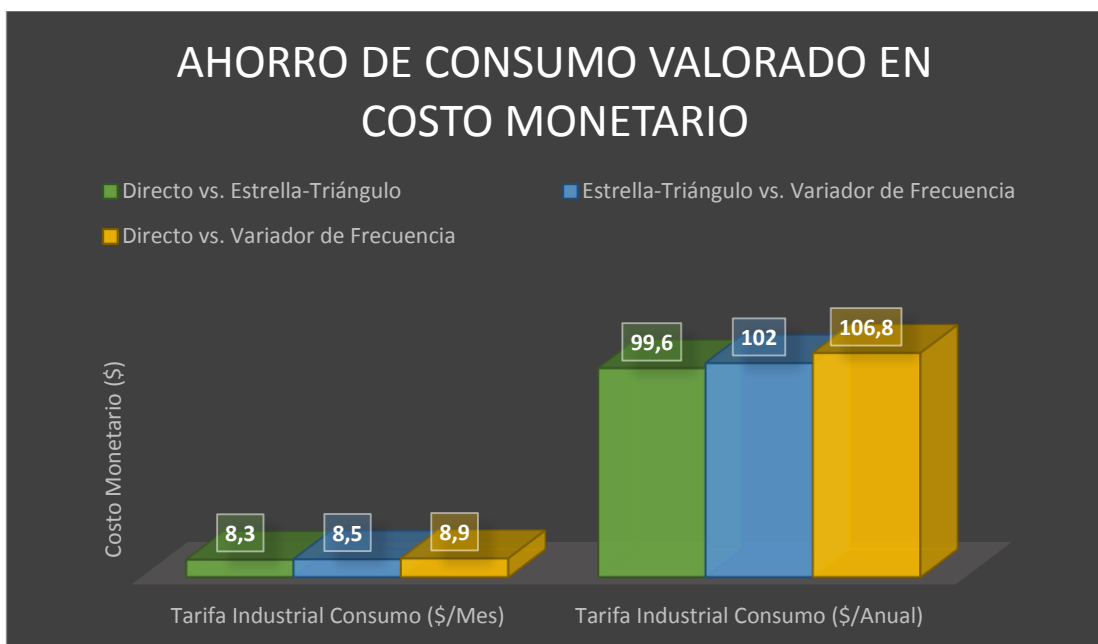


Figura 4.3: Ahorro de consumo valorado en costo monetario  
Fuente: El autor

### 4.3 Cálculo de las proporciones para el riesgo

El suministro de agua viene del río, donde el agua se distribuye directamente por medio de una bomba de agua controlada por un variador de frecuencia, de acuerdo con la temperatura y humedad registrada por un sensor.

Los parámetros que tomar como referencia en el cálculo son los siguientes:

- Población de saturación, es de 147 habitantes (cantidad en referencia al tamaño de la arrocera)
- Dotación, 120 l/hab día
- Factor de caudal máximo diario, 1.3
- Factor de caudal máximo, 2.0

Teniendo en cuenta los parámetros se puede adquirir la capacidad de la bomba requerida.

Número de habitantes a dotar de agua = 147 habitantes máximo (cantidad en referencia al tamaño de la arrocera)

Capacidad promedio de 120 litros por habitante al día

Entonces el caudal medio máximo diario es el siguiente

$$Q_{med\ max/día} = \frac{147\ hab \times 120\ l}{día} \times \frac{1\ día}{24\ h} \times \frac{1\ h}{3600\ seg} = 0.20\ l/s$$

Fórmula 4.1: Caudal medio máximo diario

Fuente: (Macias, 2012)

Basándose en los parámetros dados por el “Honorable Consejo Provincial de Pichincha”, el factor de caudal máximo es de 1.3, mientras que el otro factor de caudal máximo horario es de 2.0. Por lo tanto, el caudal máximo diario es:

$$\begin{aligned} Q_{max/diario} &= Q_{med\ max/día} \times 1.3 \\ &= 0.20\ P/s \times 1.3 \\ &= 0.26\ P/s \end{aligned}$$

Fórmula 4.2: Caudal máximo diario

Fuente: (Bell, 2003)

$$\begin{aligned} Q_{max/horario} &= Q_{med\ max/día} \times 2.0 \\ &= 0.20\ P/s \times 2.0 \\ &= 0.40\ P/s \end{aligned}$$

Fórmula 4.3: Caudal máximo horario

Fuente: (Guibo, 2012)

De acuerdo con el parámetro de diseño de la bomba, va a ser el siguiente:

$$Capacidad\ l/s = 0.20\ P/s$$

$$\text{Caudal } m^3/h = \frac{0.20 P}{S} \times \frac{3600 s}{1 h} \times \frac{1 m}{1000 P} = 0.72 m^3/h$$

Fórmula 4.4: Caudal  
Fuente: (Alvarado, 2017)

Velocidad nominal al eje = 3450 rpm

Rango de variación de velocidad de 1150 rpm a 3450 rpm para mantener una presión constante, no obstante, en frecuencia el rango de variación es de 20 Hz a 60 Hz nominal.

De este rango de variación se puede obtener un funcionamiento a presión constante que se encuentra dentro de las características mecánicas y eléctricas dadas por el fabricante. Pese a que realmente el variador puede brindar frecuencias de 400 Hz, pero esto no lo resistiría un motor normal. Pero si soportara sobre velocidades de hasta un 100 % mientras que el sistema mecánico de acople resistiría hasta un 70 % de lo regular. El sensor de temperatura y humedad manda al variador una señal de 4 a 20 mA, es decir, en señal de salida de frecuencia al motor, de 60 a 0 Hz respectivamente. Cuando este a baja presión (4mA), las revoluciones será la máxima (3450 rpm), por otro lado, cuando la presión sea alta (20 mA), no habrá revoluciones (0 rpm).

La bomba controlada por el variador de frecuencia, junto con el sensor de temperatura y humedad, trabaja de la siguiente forma:

- Cuando la temperatura y humedad oscila entre los 30 y 33 grados Celsius, la frecuencia del motor será de 20 Hz.

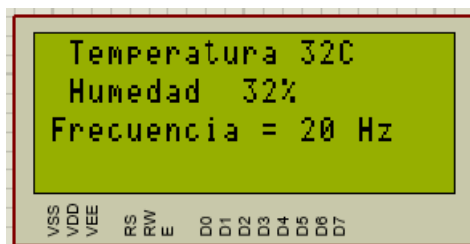


Figura 4.4: Panel LCD con frecuencia 20 Hz  
Fuente: El autor

Para la forma de la onda en la figura 4.4, resulta en una frecuencia de 20 Hz para obtener una velocidad de 1150 rpm.

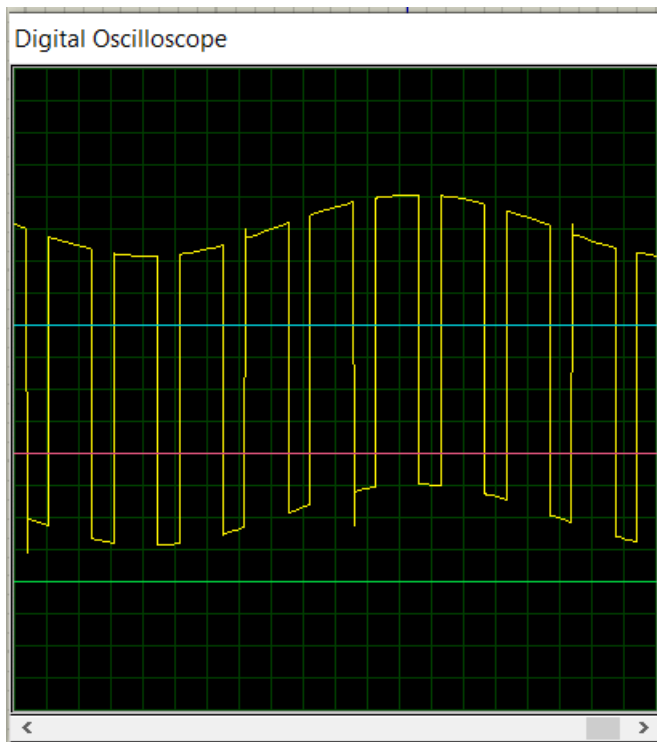


Figura 4.5: Señal a 20 Hz  
Fuente: El autor

- Cuando la temperatura y humedad oscila entre los 34 y 37 grados Celsius, la frecuencia del motor será de 40 Hz.

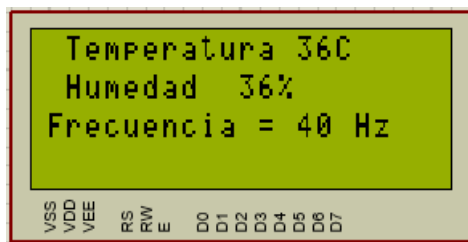


Figura 4.6: Panel LCD con frecuencia 40 Hz  
Fuente: El autor

Para la forma de la onda en la figura 4.5, resulta en una frecuencia de 40 Hz para obtener una velocidad de 2300 rpm.

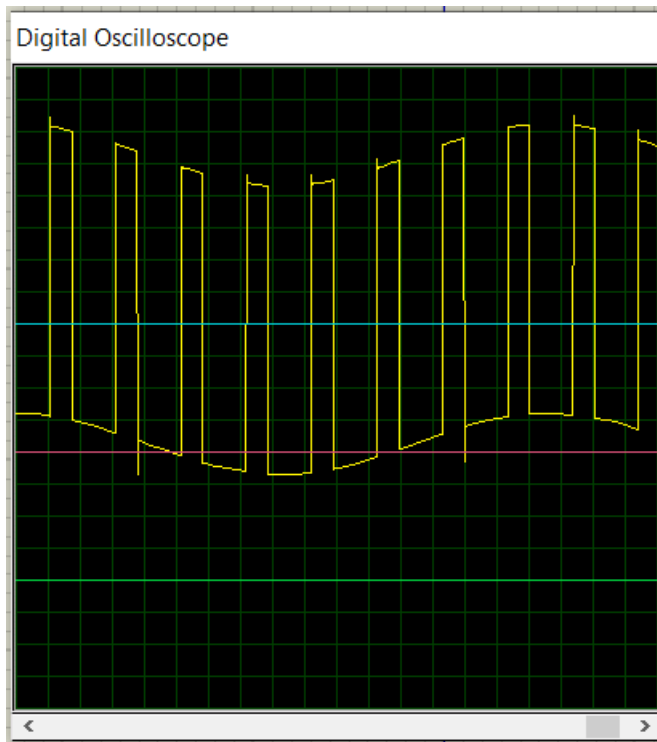


Figura 4.7: Señal a 40 Hz  
Fuente: El autor

- Cuando la temperatura y humedad sea mayor a 38 grados Celsius, la frecuencia del motor será de 60 Hz.

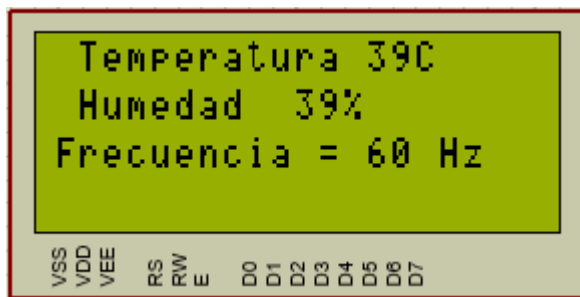


Figura 4.8: Panel LCD con frecuencia 60 Hz  
Fuente: El autor

Para la forma de la onda en la figura 4.6, resulta en una frecuencia de 60 Hz para obtener una velocidad de 3450 rpm.

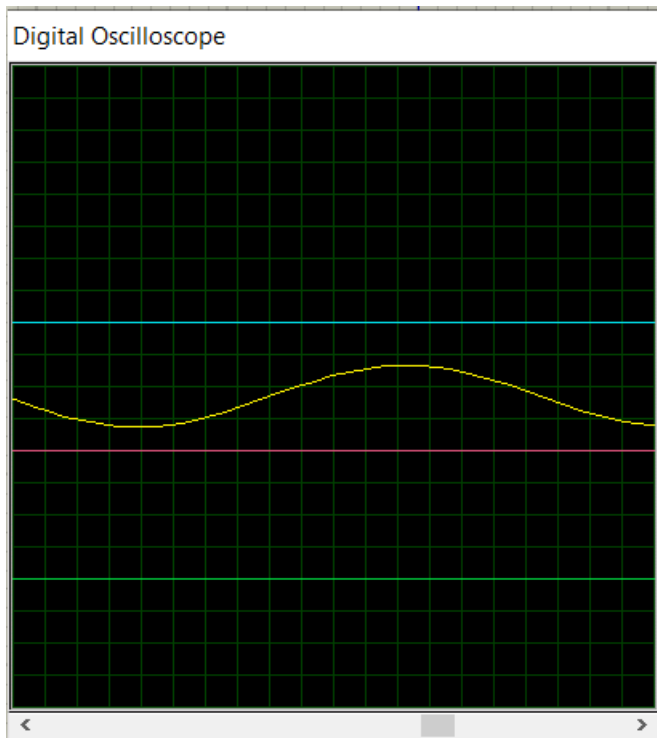


Figura 4.9: Señal a 60 Hz  
Fuente: El autor



## **CAPÍTULO 5 : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

Se diseñó un sistema automatizado mediante la herramienta Proteus, donde se llevó a cabo una simulación por medio de una Placa Arduino UNO, conectado con sus respectivos elementos a un variador de frecuencia, el cual es aplicado en una bomba de agua para un sistema de riego. Donde se pudo observar la frecuencia con la que trabajo el motor, se calculó el caudal necesario para el riego y se obtuvieron resultados fundamentales dentro de lo que es el ahorro del motor. Está claro de que, si se desea realizar aplicaciones agroindustriales, el autómata programable es la mejor elección siempre y cuando el código de control sea el correcto.

Se da por concluido que el variador de frecuencia es la forma más eficaz en el arranque de los motores eléctricos, debido a que no presenta sobre picos de corriente, y, por lo tanto, no se perjudica ni se originan perturbaciones en red. Además, los arranques se pueden llevar a cabo controladamente, para así, evitar desgaste y golpes en los componentes mecánicos. Resulta que, para la programación del variador, no solamente es requisito los datos de placa del motor, puesto que implican variables del procesos que se irá a controlar, pero también parámetros propios del variador, los cuales se debe tener en cuenta, si se desea efectuar una programación adecuada.

La productividad a partir de lo económico, social y agroindustrial de un sistema de riego se asegura con la construcción, mantenimiento, operación y el uso apropiado de parte del personal capacitado en temas determinados como la configuración de los variadores de frecuencia y sistemas de bombeo con programas confiables y exigentes, para así, mejorar la vida útil de estos equipos, pero, ante todo favorece a que los seres vivos gocen de un servicio vital como el agua. Según el análisis, observación y

proyección del personal en campo, es posible especificar, que se necesita realizar una programación determinada al variador de frecuencia, la cual es una parte esencial del sistema de extracción de agua, pues este elemento nos permite manipular la velocidad de un motor de corriente alterna, basado en requisitos propios de la operación, garantizando la aplicación y el uso correcto.

### **Recomendaciones**

Al realizar el diseño simulado en Proteus hay que tener muy en cuenta que los elementos usados no trabajan con la misma suministración de voltaje, por lo tanto, es fundamental usar reguladores de voltaje que ofrezcan la seguridad de que aquellos elementos no sufran daños, y de esta forma prolongar su vida de útil. También, En el momento de programar los diferentes elementos es de mucha utilidad realizar anticipadamente un esquema con las funciones que se necesitan, así, no se alterará nada, debido a que cada vez el proyecto se va haciendo más grande, entonces, a la hora de tener que cambiar una cosa que a simple vista parece fácil, puede resultar en mucho trabajo de más.

El abuso de los variadores de frecuencia se vuelve contaminante para la red eléctrica, es aconsejable el uso de filtros para así, prevenir este efecto, este trabajo de titulación no tomo en cuenta los filtros debido a ser una representación a mínima escala.

Para la falta de agua, se insiste al uso general de la aplicación de manera responsable las bombas de agua en el sistema de riego, la instalación de los variadores de frecuencia, para así, minimizar el daño al terreno y prolongar la vida útil de todo el sistema operativo, pudiendo así mantener un abastecimiento constante del agua para todos los seres vivos los cuales les hace falta en las zonas de gran necesidad. Se debe realizar capacitaciones al personal encargado sobre la configuración remota de los

variadores de frecuencia para sistemas de bombeo de agua, ya que no poseen conocimiento acerca del control de estos equipos, situación que brindará una mayor productividad, vida útil y abastecimiento de agua para todos los seres vivos.

## REFERENCIAS

- ABB Micro Drives. (2018). Microconvertidores de frecuencia de ABB ACS150, de 0,37 a 4kW. *ACS150 Micro Drives*.
- ABB Micro Drives. (2020). Convertidores de frecuencia ACS150 Guía rápida para la instalación y la puesta en marcha. *ACS150 Micro Drives*.
- Ag, B. R. (2013). *Variador de frecuencia Rexroth Frequency Convert Fv*. 276.
- Alcívar, J. (2000). *Transistor Bipolar de Puerta Aislada (IGBT)*.
- Aldás Cortez, E. R. (2015). *Sistema de control para máquina trituradora de plantas y desecho orgánicos para la producción de abono en el sector agrícola*.
- Alvarado, E. (2017). *Manual de Medición de Caudales*. 24.
- Antal, T. A. (2018). *Consideraciones sobre la interacción serial pc—Arduino uno R3, en java, usando jdeveloper, para un robot serie 3R, basado en la biblioteca ardulink*. 4.
- Aprilianto, H., Handayani, P. A. W., Fitriani, R., & Rahmani, B. (2017). *MODEL KEPUTUSAN ARAH GERAKAN ROBOT BERODA BERDASARKAN BLOK WARNA OBJEK MENGGUNAKAN PIXY CMUCAM5 DAN ARDUINO DIECIMILA*. 1(2), 5.
- Arroyo Córdoba, G. (2018). *Variadores de Velocidad de Motores de Corriente Alterna y Arrancadores de Estado Sólido*.
- Arsyad, N. A., Syarif, S., Ahmad, M., & As'ad, S. (2020). Volumen de leche materna usando el microcontrolador portátil de doble bomba Arduino Nano. *Enfermería Clínica*, 30, 555-558. <https://doi.org/10.1016/j.enfcli.2019.07.159>
- Barahona Suazo, F., & Quevedo Pérez, C. (2016). *Desarrollo, simulación e implementación de un banco de prueba para Variadores de Frecuencia, controlado por Drive Regenerativo*.
- Bausà Aragonés, J., García Gómez, C., Zaragozaí Zaragozaí, B., Gil Martínez, A., Moreno Campos, D., & Galiana Llinares, A. (2003). *Sensores de temperatura*. 51.

- Bawa, D., & Patil, C. Y. (2013). *Fuzzy control based solar tracker using Arduino Uno*. 2(12), 10.
- Benalcázar, K. (2011). *Motores Eléctricos y Variadores de Velocidad*.
- Benavides-Córdoba, S., Muñoz-Galeano, N., & Cano-Quintero, J. B. (2018). Desarrollo de un variador de velocidad trifásico: Enfoque de programación multitarea. *Ingeniare : Revista Chilena de Ingeniería; Arica*, 2, 213-224.
- Bolaños, D. (2011). Sensores de Temperatura DHT11. *PROMETEC*. [www.prometec.net](http://www.prometec.net)
- Bolaños López, C. A., & Portilla Estévez, A. J. (2002). *Arrancador suave para Motores Trifásicos de Inducción*. 142.
- Bonilla Bolaños, A. G., & Singaña Tapia, D. A. (2019). La productividad agrícola más allá del rendimiento por hectárea: Análisis de los cultivos de arroz y maíz duro en Ecuador. *La Granja; Cuenca*, 1, 70-83. <http://www21.ucsg.edu.ec:2125/10.17163/lgr.n29.2019.06>
- Bonilla, P., & Amado, G. (2015). *Modulo didáctico para rectificación trifásica, controlado y monitoreado con el software Labview*. 135.
- Buechley, L., & Hill, B. M. (2010). LilyPad en la naturaleza: Cómo la larga cola del hardware está respaldando nuevas comunidades de ingeniería y diseño. *Proceedings of the 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems*, 199-207. <https://doi.org/10.1145/1858171.1858206>
- Burgos, M. (2008). *VARIADORES DE FRECUENCIA*. 14.
- Cañadas, M. (2002). *Iniciación a la variación de velocidad*. 46.
- Cárate Gutiérrez, Á. O., & Villacís Salazar, Á. R. (2011). *Diseño y Construcción de un Módulo con Variador de Frecuencia para el Control de Velocidad de Motores Asíncronos Jaula de Ardilla Trifásicos para el Laboratorio de Control Industrial*. 102.

- Caro, I. (2017, marzo 21). ELECTROFACIL-SOLTEC.: MOTOR DE IMANES PERMANENTES. *ELECTROFACIL-SOLTEC.* <http://electrofacil-soltec.blogspot.com/2017/03/motor-de-iman-permanentes.html>
- Cevallos, J. (2003). *PRÁCTICAS DE AUTOMATISMOS ELÉCTRICOS. ARRANQUE Y ACCIONAMIENTO DE MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS MEDIANTE AUTOMATISMOS ELÉCTRICOS.*
- Chame Martínez, S. (2015). *Arranque Manual de Motores de Inducción de Jaula de Ardilla | PDF | Ingeniería mecánica | Fuerza.* Scribd. <https://es.scribd.com/document/376459213/Arranque-Manual-de-Motores-de-Induccion-de-Jaula-de-Ardilla>
- Chamorro Aldas, A. J., & Gallegos Rueda, G. P. (2005). *Manejador de IGBT's para un inversor PWM con protección de cortocircuito.* 146.
- Chávez Ibarra, S., & Jiménez Herrera, H. (2008). *Diseño de un control de velocidad de un motor de inducción a 220v Corriente Alterna.*
- Corona Ramírez, G., Abarca Jiménez, G. S., & Mares Carreño, J. (2014). *Sensores y actuadores: Aplicaciones con Arduino.* 317.
- Correa, J. (2002). *Dispositivos de Electrónica de Potencia.*
- Cortéz, P. (2013). *Introducción a motor trifásico de inducción.*
- del Valle Hernández, L. (2019). *Escoger el mejor sensor de temperatura para Arduino.*
- Djuandi, F. (2011). *Pengenalan Arduino. E-book,* 24.
- Duque Lozano, J., Roldan Castro, M., & Ibañez Olaya, H. F. (2011). *Diseño y construcción de un variador de velocidad aplicado a un motor asíncrono con arranque suave, para formación académica.*
- Electrónica Embajadores. (2016). *CATALOGO DE ROBOTICA, SENSORES Y ARDUINOS.*
- Enríquez Herrador, R. (2009). *Guía de Usuario de Arduino.*

- Ferdeghini, F., Brengi, D., & Lupi, D. (1998). *Sistema de detección combinado para sensores ultrasónicos*. 6.
- Fliger, E., & Padovani, L. (2004). *Sensor de humedad conductivo en sólidos con aplicación en invernaderos*. 6.
- Flórez Jara, B. A. (2020). *Variador de Frecuencia Aplicado al Bombeo Electro sumergible de Pozos*. 64.
- García, J. (2014). *Diodo*.
- Garrigós, J. (2011). *Motores de Corriente Alterna*. 26.
- Gaspar Sánchez, M. (1996). *Análisis de Corrientes de Eddy en Tanques de Transformadores de Potencia con la Técnica de Elemento Finito*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- Gómez Tapias, J., Ascanio Villabona, J., Dulcey Díaz, D. C., Laguado Villamizar, L. A., & Rincón Quintero, A. D. (2018). *ARRANQUE DE MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUCCIÓN A TENSIÓN REDUCIDA (ARRANQUE POR AUTOTRANSFORMADOR)*. 11.
- González González, J. L. (2008). *Diseño e implementación del control de una máquina agrícola basado en sensores de inclinación*. 137.
- González Ospina, A., Cano Garzón, H. B., & Castro Hernández, O. E. (2011). *Adaptación de sensores virtuales para distancia en un simulador de escenarios para la búsqueda de rutas en robótica móvil*.
- Grupo Sanvalero. (2007). *El Transistor*.
- Guerrero Angulo, A. J. (2016). *Funcionamiento de un transistor IGBT*.
- Guibo, J. (2012). *CURSO FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN EN PIP DEL SECTOR SANEAMIENTO*.
- Hefner, A. R. (1994). Un modelo electro térmico dinámico para el IGBT. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 30(2), 394-405. <https://doi.org/10.1109/28.287517>

- Henao Martínez, E. J. (2015). *Diseño y construcción de un banco de pruebas del sistema de carga para vehículos Toyota*. 72.
- Hernández, C., Poot, R., Narváez, L., Llanes, E., & Chi, V. (2010). *Diseño e implementación de un sistema de control inalámbrico de un robot*.
- Hernández Coca, G. (2017). Método Analítico. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*.
- HIMILCE, I. (2009). *Integración de Sistemas de Automatización Industrial*.
- Hurovich, V., Azpiazu, S., Cucci, G., & Joselevich, M. (2015). Hacia la integración de las TIC en el aula: Una propuesta de trabajo sobre cinemática utilizando sensores electrónicos de distancia. *Revista de Enseñanza de la Física*, 27, 525-531.
- Hurtado, M. (2016). *Circuito Automatismos Eléctricos*. 21.
- Infineon. (2019). *CIPOS<sup>TM</sup> Intelligent Power Modules (IPM) Selection guide 2019*. 32.
- Iturralde, P. (2018). *Arduino Nano*.
- Jiménez Macías, E. (2004). *Técnicas De Automatización Avanzadas En Procesos Industriales*. 310.
- Johnson, A. (2007). *Inversores*.
- Kazakov, Y., & Palilov, I. (2015). Procesos Electromecánicos Relacionados con la Investigación en un Motor de Tracción Asíncrono—Generador Asíncrono con Eje Común Basado en el Modelo de Campo. *Advances in Electrical and Electronic Engineering*, 13(5), 442-446.  
<https://doi.org/10.15598/aeec.v13i5.1388>
- Khanna, V. K. (2004). *Insulated Gate Bipolar Transistor IGBT Theory and Design*. John Wiley & Sons.
- Kouro Renaer, S. (2001). *Sensores De Humedad*. 25.



- Kumar, N. S., Vuayalakshmi, B., Prarthana, R. J., & Shankar, A. (2016). IOT based smart garbage alert system using Arduino UNO. *2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, 1028-1034.  
<https://doi.org/10.1109/TENCON.2016.7848162>
- Kurnia Utama, Y. A. (2016). Comparación de calidad entre sensores de temperatura con Arduino Pro Mini. *e-NARODROID*, Vol. 2(2).  
<https://doi.org/10.31090/narodroid.v2i2.210>
- Labrador, J. (2008). *Manejo del suelo en los sistemas agrícolas de producción ecológica*. 47.
- Lagos Núñez, J. F. (2009). *Variador de Frecuencia INACAP*.
- Lara Gordillo, J. de J., Camas Anzueto, J. L., Grajales Coutiño, R., Mota Grajales, R., & Pérez Patricio, M. (2019). *Caracterización de un inclinómetro óptico para desplazamiento vertical de estructuras civiles*.
- Ledesma De La Cruz, W. (2019). *El IGBT*.
- León, M., & Páez, C. (2009). *Arranque mediante Resistencias Estatóricas*.
- Liu, T. (2017). Sensor DHT11. *Aosong Electronics Co., Ltd.* [www.aosong.com](http://www.aosong.com)
- Lodhi, D. K., Vats, P., Varun, A., Solanki, P., Gupta, R., Pandey, M. K., & Butola, R. (2016). Silla de Ruedas Electrónica Inteligente con Módulo Arduino y Bluetooth. *Revista Internacional de Ciencias de La Computación y Computación Móvil*, Vol. 5, 433-438.
- López Arenales, J. C. (2002). *Motores Eléctricos*. 66.
- Louis, L. (2016). Principio de Funcionamiento de Arduino y su Uso como Herramienta para el Estudio y la Investigación. *Revista Internacional de Control, Automatización, Comunicación y Sistemas*, Vol. 1(2), 21-29.  
<https://doi.org/10.5121/ijcacs.2016.1203>
- Luna Consuegra, J. A., & Zambrano Rosero, N. C. (2009). *Uso de matlab y simulink para el control de robots y la observación de sensores de sonido y tacto*. 97.
- Macias, X. (2012). *Caudal medio máximo diario*.

- Mandujano, S., Pérez Arteaga, A., Gallina, S., & Sánchez Mantilla, R. E. (1996). *Diferenciación de pautas de comportamiento del venado con ayuda de radiotransmisores con sensor de movimiento.*
- Mansilla. (2011). *Arrancadores y Variadores de Velocidad Electrónicos.* docplayer.es/41472125-Arrancadores-y-variadores-de-velocidad-electronicos.
- Mantilla Peñalba, L. F., & Cardona Pardo, J. A. (2003). *Gestión Energética de los motores eléctricos: Mejora de la eficiencia de los accionamientos con el uso de variadores de velocidad.* 9.
- Manual S100. (2013). *Manual S100.*
- Marroquín Peña, R. (2012). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN. UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN ENRIQUE GUZMÁN Y VALLE, 26.*
- Martínez, I. C., & Pesquer, L. G. (2013). *Análisis comparativo entre arranque estrella triángulo y con resistencias estáticas.* 400.
- Martín-Ramos, P., da Silva, M. M. L., Lopes, M. J., & Silva, M. R. (2016). *Student2student: Aprendizaje basado en proyectos arduino. Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturalism, 79-84.* <https://doi.org/10.1145/3012430.3012500>
- McClane, P. (2011). *IR2110.*
- Medina Guzmán, L. E. (2016). *INVERSOR DE FRECUENCIA VARIABLE CON CORRECCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA PARA MOTORES DE INDUCCIÓN MONOFÁSICOS.* 91.
- Mejía Saca, D. G. (2018). *Implementación, calibración y evaluación de un sistema de medición de ruido con un sensor de sonido que permita la transmisión inalámbrica de datos.*
- Mera, A. (2010). *Tipos de Arduinos.*
- Meza, J. (2012). *El variador de frecuencia. | Formación para la Industria 4.0.* <https://automatismoidustrial.com/curso-carnet-instalador-baja-tension/d->

automatizacion/1-7-arrancadores-electronicos-y-variadores-de-velocidad/el-variador-de-fercuencia/

- Mikheev, M. Y., Gudkov, K. V., & Gudkov, E. A. (2011). *Implementación de un enfoque orientado a modelos para el Diseño de un Sistema de Recopilación de Datos*.
- Mitsubishi High Power Semiconductors. (1998). *Características y aplicación del Gate Turn-Off Thyristors*.
- Montaño Montaño, M. E. (2018). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN CUERPO DE ACELERACIÓN ELECTRÓNICO*.
- Montealegre Medina, Á. R. (2008). *Elaboración de un Manual de Procedimientos para la selección, instalación y puesta en marcha de variadores marca Lenze del tipo SMD y TMD*. 118.
- Motor asíncrono: Qué es y cómo funciona. (2020, junio 3). *canalMOTOR*.  
<https://www.motor.mapfre.es/coches/noticias-coches/motor-asincrono/>
- Mulett, R. (2018). Centro de Entrenamiento Artificial Lift Systems CEALS. *Conferencia llevada a cabo en la Gerencia Regional Oriente*.
- Muñoz, A., Grajales, Y., & Hernández, F. (2013). *Experimento sensor de luz*.  
<https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/2755>
- Ohnishi, T. (1991). *Convertidor inversor PWM trifásico mediante control instantáneo de potencia activa y reactiva*.
- Pabón-Fernández, L. D., Díaz-Rodríguez, J. L., & Pardo-García, A. (2016). Simulación del inversor multinivel de fuente común como variador de frecuencia para motores de inducción. *REVISTA DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN*, 7(1), 165.  
<https://doi.org/10.19053/20278306.v7.n1.2016.5636>
- Paggi, M. V., Peralta, N., Calandroni, M., & Costa, J. L. (2011). *Relación espacial entre la conductividad eléctrica aparente del suelo medida con sensores de contacto y no contacto en un suelo del sudeste bonaerense*.

- Páramo, A., Gallegos, E., Ramírez, H., & Salazar, F. (2014). *Medición y análisis de formas con sensor de distancia infrarrojo*. 6.
- Parrott, C., Dodd, T. J., & Groß, R. (2014). HiGen: Un mecanismo de conexión mecánica sin género de alta velocidad con desconexión de un solo lado para robots modulares auto reconfigurables. *2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 3926-3932. <https://doi.org/10.1109/IROS.2014.6943114>
- PEMEX. (2004). *Electric Motors*. <https://gitemca.files.wordpress.com/2010/02/nrf-095-pemex-2005-06-firmado.pdf>
- Pérez Castro, W., Arroyave, J. F., & Acevedo, S. (2010). *Determinación experimental del coeficiente de fricción empleando sensores movimiento*.
- Pérez Chávez, G. P. (2018). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA PARA MOTORES AC DE HASTA 2 HP PARA LA EMPRESA ADALID TECHNOLOGIES*. 61.
- Perlaza, F. (2018). *Motores eléctricos*.
- Pernía Castro, M. A. (2003). *Motores Asíncronos*.
- Pilaquinga Cantuña, F. X. (2015). “*DISEÑO DE UN ARRANQUE Y CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN JAULA DE ARDILLA (MIJA), QUE PERMITA OPTIMIZAR EL CONSUMO DE ENERGÍA DENTRO DE UN PROCESO INDUSTRIAL*”. 121.
- Piñero. (2015). *Variador de Frecuencia*. [bibing.us.es/proyectos/abreproy/90201/fichero/proyecto](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90201/fichero/proyecto).
- Plataforma Hardware. (2004). *Plataforma Arduino*.
- Pomares Baeza, J. (2009). Manual de Arduino. *Grupo de Innovación Educativa en Automática*.
- Pozueta Rodríguez, M. A. (2017). *Arranque de motores asíncronos*. 48.
- Quijije, J. (2003). *Tiristores de apagado por puerta*.

- Quintero, F. A. G., & García, E. G. (1999). *VARIADORES DE VELOCIDAD AC Y DC (CONSTITUCIÓN, ESTRUCTURA E INSTALACIÓN)*. 355.
- Quiroz, V. (2012). *Transistores*.
- Quispe Choccelahua, J. F. (2012). *Análisis de la eficiencia energética de electrobombas controlados por variadores de velocidad*.
- Rengifo Morocho, M. A., & Vargas Hernández, C. (2012). *Caracterización óptica de Diodos emisores de Luz mediante su espectros de emisión y patrones de radiación*. 51, 5.
- Rodríguez Jiménez, A., & Pérez Jacinto, A. O. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 82, 175-195.  
<https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647>
- Rodríguez Pozueta, M. Á. (2018). *Máquinas Asíncronas o de Inducción*. 278.
- Rodríguez, W. (2007). *Accionamiento didáctico de frecuencia variable DL 2309*.
- Rogers, C. (2013). *Introducción a los tiristores*.
- Rojas Cairampoma, M. (2015). Tipos de Investigación científica: Una simplificación de la complicada incoherente nomenclatura y clasificación. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, Vol. 16(1), 15.
- Rojas Troya, B. M. (2013). *Control del variador de frecuencia SINAMICS G110 a través del puerto serial RS-485*.
- Rojas Vargas, C. A. (2006). *Diseño y simulación de técnicas de modulación pwm natural para el control de motores trifásicos*.
- Rosales Fernández, J. (2012). *Motores eléctricos para la industria*. 45.
- Rosero, J. (2010). *Intelligent power module*.
- Ruiz Corres, D. (2016). *Estudio sobre la implantación de la herramienta ARDUINO en centro de Formación Profesional*.

- Ruokamo, J. (2012). ARDUINO SHIELD DESIGNS FOR ELECTRONICS LABORATORY STUDIES. *ROVANIEMI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES SCHOOL OF TECHNOLOGY*, 28.
- Salicru. (2008). *Variador de Frecuencia CONTROLVIT CV50*. 164.
- Salvatore, J. E., Osio, J., & Morales, M. (2014). *Detección de objetos utilizando el sensor Kinect*. 10.
- Sanabria Betancur, E. A., & Sánchez Ramos, J. D. (2016). *Sistema de control de velocidad de un motor trifásico mediante un variador de frecuencia y sistema SCADA*. 56.
- Sánchez Pérez, J. (2011). *Guía de Práctica N#1: Arranque Directo de un Motor Trifásico*. 8.
- Sandoval Rodríguez, A. (2010). *Beneficios de los Variadores de Velocidad*. 12.
- Sanna, S. (2007). *Arduino hands-on lab*. 169.
- Saptadi, A. H. (2014). *Comparación de la precisión de la medición de temperatura y humedad entre los sensores DHT11 y DHT22*. 6(2), 8.
- Segovia Segovia, D. R., & Chimbay Vallejo, L. V. (2011). *Diseño y Construcción de un Módulo de Laboratorio con Variador de Frecuencia para el Control del Arranque, Aceleración, Frenado, Inversión de Giro y Protección Integrada de Motores Eléctricos de Corriente Alterna*.
- Sevilleja Aceituno, D. (2011). *Eficiencia Energética en el Sector Industrial*. 93.
- Siemens México. (2012). *Variadores de velocidad—Siemens México*.
- Sierra Calderón, J. C. (2009). *ANÁLISIS DE LAS FALLAS CAUSADAS POR ACCIONAMIENTOS DE FRECUENCIA VARIABLE EN LOS RODAMIENTOS DE MOTORES DE INDUCCIÓN*. 104.
- Silvio Lobosco, O., & Pereira Da Costa Días, J. L. (1989). *Selección y aplicación de motores eléctricos*. 6.

- Su, B., & Wang, L. (2010). Aplicación del modelado de sistemas virtuales Proteus (VSM) en la enseñanza de microcontroladores. *School of Electrical Engineering & Automation, Henan Polytechnic University*. <https://doi.org/10.1109/EDT.2010.5496343>
- Suarez Arana, L. X. (2017). “*VARIADORES DE FRECUENCIA PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES ASINCRÓNICOS JAULA DE ARDILLA*”. 69.
- Taoyuan, N. (2020). *Variador de frecuencia de vector de flujo EN600 | Encom*. <http://inverteracdrives.com/1-1-flux-vector-variable-frequency-drive.html>
- Tapia Ayala, C. H., & Manzano Yupa, H. M. (2013). *Evaluación de la plataforma arduino e implementación de un sistema de control de posición horizontal*. 195.
- Tardón Pantoja, N. L. (2019). *Estudio comparativo de costos de inversión en motores de inducción más VDF, según potencia, número de polos y rango de frecuencia a cubrir*. 90.
- Taylor, S. J., & Bogdan, R. (1987). Introducción a los métodos cualitativos de investigación. *Barcelona: Paidós, Vol. 1*, 334.
- Tedesco, C. F. (2010). *Ascensores electrónicos y Variadores de velocidad*. Tecnibook Ediciones.
- Telemecanique. (2016). *VFD Corriente Alterna*.
- Tinoco, J. (2001). *El Tiristor*.
- Tolbert, L. M., & Habetler, T. G. (1999). Nuevo método PWM de inversor multinivel basado en portadora. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 35(5), 1098-1107. <https://doi.org/10.1109/28.793371>
- Torres, C. A., Murillo, D., & Restrepo Patiño, C. (2008). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN INVERSOR TRIFÁSICO*.
- Torres, F., & Fernández, C. (2011). *Sensores y detectores*. 63.

- Vargas Gaguancela, X. O., & Layedra Sáez, G. G. (2011). *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO*. 98.
- Vásconez Cuzco, J. C., & Chamba Tenamaza, F. de J. (2013). *Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y controlado de forma inalámbrica para una finca ubicada en el sector popular de Balerio Estacio*. 144.
- Vega, R. (2018). *Conoce los tipos de variador de frecuencia*. <https://funcionindustrial.blogspot.com/2018/05/variadores-de-frecuencia.html>
- Vélez, J. (2017). *Arranque de los motores de inducción*.
- Vélez Piza, H. A. (2016). *Study of Causes of Failure in Frequency Drivers Under Industrial Environments*.
- Villamar, H. (2014). *Motor Trifásico de Inducción*.
- Wayne, J. (2015). Sensor de Temperatura y Humedad Relativa DHT11. *Mouser Electronics*, 10.
- WEG. (2011a). *CFW11—Convertidor de Frecuencia*.
- WEG. (2011b). *Motor Eléctrico Trifásico W22*. <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h60/h24/WEG-w22-motor-trifasico-50044029-brochure-spanish-web.pdf>
- WEG. (2011c). *Motores Eléctricos Guía de Especificación*. [www.weg.net](http://www.weg.net)
- Whitehead, A. N. (1967). *Objetivos de la Educación*. Simon and Schuster.
- Wilson Vera, A., & Guido Conza, I. (2012). *Diseño e implementación de un módulo entrenador para sistema de control, inversión de giro, regulación de velocidad y frenado para motores de corriente continua*. 134.
- Yoo, W.-S., & Shaik, S. A. (2016). Un novedoso sistema de automatización del hogar que utiliza Bluetooth y Arduino. *2016 IEEE 40th Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*, 379-380. <https://doi.org/10.1109/COMPSAC.2016.96>



Zapatta, A., & Gasselin, P. (2005). *El Riego en el Ecuador: Problemática, debates y políticas*. Coordinación CESA. CAMAREN.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1: Características Variador de Frecuencia ABB, ACS150

### Características destacadas

- Rango de potencia de 0,37 a 4 kW
- Control escalar
- Interfaz de usuario integrada y potenciómetro
- Chopper de frenado integrado
- Filtro CEM incorporado para segundo ambiente

Características	Ventajas	Beneficios
Disponibilidad y servicio de asistencia en todo el mundo	Cuenta con stock permanente disponibles en todo el mundo. Una de las redes de servicio y asistencia global más extensas del sector.	Suministro rápido y seguro con asistencia personalizada a cualquier país del mundo.
Panel de control con pantalla LCD de fácil uso y potenciómetro integrado	Pantalla alfanumérica clara. Ajuste y manejo fáciles.	Ahorro de tiempo gracias a su instalación inmediata y a su configuración sencilla.
Opciones de montajes flexibles	Montaje con carril DIN o tornillos, lado a lado o lateralmente.	Puede usarse un tipo de convertidor con varios diseños, lo que ahorra costes de instalación y tiempo.
Filtro integrado CEM	Alta compatibilidad electromagnética.	Pocas emisiones CEM en los ambientes escogidos.
Chopper de frenado integrado como estándar	No se requiere un chopper de frenado externo	Ahorro de espacio, coste de instalación reducido.
Herramienta FlashDrop	Un ajuste y una puesta en marcha del convertidor rápida y sencilla, ideal para grandes volúmenes y mantenimiento. La herramienta FlashDrop permite descargar y leer los parámetros del convertidor.	Ajuste de parámetros rápido, seguro y sin fallos, ya que no es necesario suministrar tensión de alimentación al convertidor. Patentado.
Control PID	Varía el rendimiento del convertidor según la necesidad de la aplicación.	Mejora la producción, la estabilidad y la precisión.
Tarjetas barnizadas	El barniz de las tarjetas protege los elementos electrónicos de peligros como descargas electrostáticas y contaminantes aéreos, incluida la humedad.	Reduce el mantenimiento gracias a la óptima protección de los componentes electrónicos.

## ANEXO 2: Circuito Diseñado en Proteus

The image displays a Proteus simulation environment for a circuit. The central component is an Android board (SM1) connected to a DHT11 sensor (U1). The sensor's output is connected to a buzzer (Q1) through a diode (D1) and a resistor (R1). A potentiometer (POT1) is also connected to the circuit. A digital oscilloscope window shows a square wave signal, indicating the buzzer's operation. A display box shows the sensor readings: Temperatura 32C, Humedad 32%, and Frecuencia = 20 Hz. The status bar at the bottom indicates 6 messages and 69% CPU load.

### ANEXO 3: Códigos Arduino

```
//Incluir Librería
#include <LiquidCrystal.h>
#include <DHT.h>

//Declaración ed variables
int motor = 9;
int val = 0;
int sensor = 7;
int temp;
int humedad;
int port1 = A0;
DHT dht (sensor, DHT11);

//Inicializar los pines conectados
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

void setup() {
  //Setear el número de filas y de columnas del LCD
  dht.begin();
  lcd.begin(20, 4);
  pinMode(motor, OUTPUT);
  pinMode(port1, INPUT);
}

void loop() {

  humedad = dht.readHumidity();
```

```
temp = dht.readTemperature();
```

```
lcd.setCursor(0, 0);
```

```
lcd.print(" Temperatura ");
```

```
lcd.print(temp);
```

```
lcd.print("C");
```

```
lcd.setCursor(0, 1);
```

```
lcd.print(" Humedad ");
```

```
lcd.print(humedad);
```

```
lcd.print("%");
```

```
delay(40);
```

```
//Condición del control del motor
```

```
if (temp <= 29 || temp <= 29 ) {
```

```
  analogWrite(motor, 0 * 4.25 );
```

```
  lcd.setCursor(0, 2);
```

```
  lcd.print("Frecuencia = 0 Hz");
```

```
}
```

```
if (temp >= 30 && temp <= 33 && humedad >= 30 && humedad <= 33 ) {
```

```
  analogWrite(motor, 20 * 4.25 );
```

```
  lcd.setCursor(0, 2);
```

```
  lcd.print("Frecuencia = 20 Hz");
```

```
}
```

```
if (temp >= 34 && temp <= 37 && humedad >= 34 && humedad <= 37 ) {
```

```
    analogWrite(motor, 40 * 4.25 );  
    lcd.setCursor(0, 2);  
    lcd.print("Frecuencia = 40 Hz");  
}  
if (temp >= 38 && humedad >= 38 ) {  
    analogWrite(motor, 60 * 4.25 );  
    lcd.setCursor(0, 2);  
    lcd.print("Frecuencia = 60 Hz");  
}  
  
}
```



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Chong Rendón, Eric Denzel**, con C.C: # **0926493008** autor del trabajo de titulación: **Diseño de un sistema de riego automatizado mediante proteus, con tecnología arduino y variador de frecuencia aplicado a un motor asíncrono** previo a la obtención del título de **Ingeniero en Eléctrico Mecánica con mención en Gestión Empresarial Industrial** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre de 2021

---

**Chong Rendón, Eric Denzel**

C.C: **0926493008**





## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Diseño de un sistema de riego automatizado mediante proteus, con tecnología arduino y variador de frecuencia aplicado a un motor asíncrono.		
<b>AUTOR(ES)</b>	Chong Rendón, Eric Denzel		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Quezada Calle, Edgar Raul. M.Sc		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Eléctrico Mecánica		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Eléctrico Mecánica con mención en Gestión Empresarial Industrial.		
<b>FECHA PUBLICACIÓN:</b>	<b>DE</b> 17 de septiembre de 2021	<b>No. PÁGINAS:</b>	<b>DE</b> 93
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Variador de Frecuencia, Sistema Automatizado, Sistema de Riego		
<b>PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:</b>	Variador de Frecuencia, Sistema Automatizado, Placa Arduino UNO, Consumo Energético, Proteus		
<b>RESUMEN/ABSTRACT:</b>	<p>El presente trabajo de titulación tiene como objetivo diseñar un sistema automatizado en un variador de frecuencia para un sistema de riego de arroz, cuya investigación se basa en la línea del desarrollo económico sustentable y sostenible. En la presente investigación se demuestra la verdadera importancia de un correcto uso y configuración del variador de frecuencia, con el cual se puede reducir el consumo energético del motor, se realiza una descripción del sistema automatizado, del programa Proteus, de la placa Arduino UNO, los sensores de temperatura y humedad, se describe cada componente esencial para el funcionamiento eficiente y ahorrativo del motor. Además, se anhela conocer cuál es el método de arranque con mayor eficiencia en el consumo de energía, para que dado el caso en seleccionar el variador de frecuencia se justifique si la inversión al realizar la compra y a futuras, la implementación del sistema automatizado en el sector agrícola sea una buena inversión.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI		<input type="checkbox"/> NO
<b>CONTACTO AUTOR/ES:</b>	<b>CON</b>	<b>Teléfono:</b> +593-990060839	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:edchr.1997@gmail.com">edchr.1997@gmail.com</a>
<b>CONTACTO INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>CON LA INSTITUCIÓN DEL</b>	<b>Nombre:</b> Palacios Meléndez, Edwin Fernando	
		<b>Teléfono:</b> +593-967608298	
		<b>E-mail:</b> <a href="mailto:edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec">edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec</a>	
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			