



Universidad  
Tecnológica  
del Perú

**Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Electrónica**

**Programa Especial de Titulación**

**“Diseño e Implementación de un control de Velocidad  
para un motor de corriente continua de 12 HP de una  
maquina rebobinadora de papel”**

**Cesar Ricardo De La Vega Mendoza**

**Para optar por el Título Profesional de Ingeniero  
Electrónico**

**Asesor:**

**Ing. Javier Mansilla**

**Lima, Perú**

**2022**

## **DEDICATORIA**

A mis papás, por siempre apoyarme para que sea mejor persona cada día.

A mi esposa y mi hija, quienes son las que me motivan para seguir mejorando y lograr las metas que me propongo.

A mi Tío Mario, por su paciencia y sus enseñanzas, las cuales me ayudan a ser mejor profesional en esta gran carrera como es la Ingeniería Electrónica.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	II
ÍNDICE.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
INTRODUCCION.....	X
CAPITULO 1.....	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.1. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	12
1.1.1. PROBLEMA GENERAL.....	15
1.1.2. PROBLEMAS ESPECIFICOS.....	15
1.2. OBJETIVOS.....	16
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	16
1.3. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA.....	16
1.4. ALCANCE Y LIMITACIONES.....	17
1.5. ANALISIS COSTO - BENEFICIO.....	18
CAPITULO 2.....	20
2. MARCO TEORICO.....	20
2.1. ESTADO DEL ARTE.....	20
2.2. BASES TEORICAS.....	22
2.2.1. MAQUINA BOBINADORA.....	22
2.2.2. CONTROL POR VOLTAJE DE ARMADURA.....	23
2.2.3. MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA.....	24
2.2.4. ROTOR.....	24
2.2.5. ESTATOR.....	24
2.2.6. TIRISTORES.....	25
2.2.7. DISPARO DE TIRISTORES.....	25
2.3. MARCO METODOLOGICO.....	26
CAPITULO 3.....	28
3. DESARROLLO DE LA SOLUCION.....	28
3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO.....	28
3.1.1. SISTEMA PROPUESTO.....	28

3.1.2.	METODOLOGIA PROPUESTA .....	30
3.1.3.	CICLO DE VIDA DEL PROYECTO.....	31
3.1.4.	CONFORMACION DEL EQUIPO DE TRABAJO .....	32
3.1.5.	ROLES Y RESPONSABILIDADES .....	34
3.1.6.	PLAN DE RIESGOS .....	35
3.1.7.	PLAN DE COMUNICACIONES.....	38
3.1.8.	PLAN DE GESTIÓN DE LOS STAKEHOLDERS .....	40
3.1.9.	PLAN DE ADQUISICIONES DEL PROYECTO.....	41
3.1.10.	CRONOGRAMA .....	42
3.2.	EJECUCION DEL PROYECTO.....	43
3.2.1.	ETAPA DE POTENCIA.....	48
3.2.2.	ETAPA DE CONTROL.....	49
3.3.	IMPLEMENTACION Y PRUEBAS.....	59
3.4.	CIERRE DEL PROYECTO.....	67
	CAPITULO 4 .....	68
4.	RESULTADOS .....	68
4.1.	RESULTADOS DEL PROYECTO.....	68
4.2.	PRESUPUESTO.....	72
4.3.	CRONOGRAMA DEL PROYECTO.....	75
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
	GLOSARIO .....	78
	BIBLIOGRAFIA .....	79
	ANEXOS .....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Bobina de papel .....	12
FIGURA 2: Árbol del problema .....	14
FIGURA 3: Modelo de un motor DC de armadura.....	23
FIGURA 4: Modelo de tiristor.....	25
FIGURA 5: Disparo de tiristor .....	26
FIGURA 6: Ejemplo de una EDT .....	27
FIGURA 7: Propuesta de solución .....	29
FIGURA 8: EDT.....	31
FIGURA 9: Ciclo de vida del proyecto .....	32
FIGURA 10: Conformación de equipo de trabajo.....	33
FIGURA 11: Flujo de comunicaciones .....	39
FIGURA 12: Diagrama de Gantt .....	43
FIGURA 13: Diseño de Panel de Control.....	46
FIGURA 14: Panel de Control.....	47
FIGURA 15: Configuración de tiristores.....	48
FIGURA 16: Circuito de Control.....	49
FIGURA 17: Diseño de tarjeta de control.....	50
FIGURA 18: Tarjeta electrónica de control .....	51
FIGURA 19: Circuito de realimentación de corriente.....	52
FIGURA 20: Circuito de Interruptor del control.....	53
FIGURA 21: Circuito detector de inversor de fase .....	54
FIGURA 22: Circuito de disparo de tiristores .....	55
FIGURA 23: Transformadores de pulso y salidas a las compuertas de tiristores .....	56
FIGURA 24: Fuente de alimentación de la tarjeta de Control.....	57
FIGURA 25: Regulador de voltaje positivo y negativo de la fuente de alimentación .....	58
FIGURA 26: Salidas y entradas del panel del sistema de control.....	60
FIGURA 27: Salidas y entradas de la tarjeta de Control .....	61
FIGURA 28: Prueba de voltaje en laboratorio con motor de 1HP, 1%.....	62
FIGURA 29: Prueba de voltaje en laboratorio con motor de 1HP, 8%.....	62
FIGURA 30: Prueba de voltaje en laboratorio con motor de 1HP, 17%.....	63
FIGURA 31: Prueba de voltaje en laboratorio con motor de 1HP, 39%.....	63
FIGURA 32: Prueba de voltaje en laboratorio con motor de 1HP, 70%.....	64
FIGURA 33: Prueba de pulsos de salida de tiristores con motor de 1HP, 10% .....	65
FIGURA 34: Prueba de pulsos de salida de tiristores con motor de 1HP, 30% .....	65

FIGURA 35: Prueba de pulsos de salida de tiristores con motor de 1HP, 50%.....	66
FIGURA 36: Prueba de pulsos de salida de tiristores con motor de 1HP, 70%.....	66
FIGURA 37: Factura del proyecto.....	67
FIGURA 38: Prueba en laboratorio de tarjeta electrónica de control.....	68
FIGURA 39: Prueba en laboratorio de configuración de tiristores.....	69
FIGURA 40: Tiempo de respuesta del porcentaje de velocidad.....	69
FIGURA 41: Parámetros de los resultados obtenidos en Planta.....	70
FIGURA 42: Pulsos de voltaje al motor.....	71
FIGURA 43: Calibración de Trimpots del Sistema de Control.....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: Causa y efecto del problema .....	15
TABLA 2: Análisis Costo - Beneficio .....	18
TABLA 3: Roles y responsabilidades .....	34
TABLA 4: Identificación de Riesgos .....	35
TABLA 5: Clasificación de riesgos .....	36
TABLA 6: Análisis de riesgos .....	36
TABLA 7: Medidas de Control de Riesgo .....	37
TABLA 8: Plan de comunicaciones .....	38
TABLA 9: Gestión de los Stakeholders .....	40
TABLA 10: Plan de adquisiciones .....	41
TABLA 11: Actividades .....	42
TABLA 12: Programa de Mantenimiento .....	72
TABLA 13: Presupuesto del proyecto .....	73
TABLA 14: Cronograma del proyecto .....	75

## RESUMEN

El proyecto de Diseño e Implementación de un control de velocidad para un motor de corriente continua de 12HP de una maquina rebobinadora de papel, consiste en implementar un sistema electrónico al ingreso de voltaje del motor, de tal manera que permita mantener una velocidad constante en el rotor.

En el desarrollo del proyecto, se implementó un sistema que consiste en dos etapas: una etapa de potencia y otra la etapa de control.

Para el diseño de la parte de potencia se utilizó tres Tiristores y tres Diodos en configuración trifásica de media onda.

Para la parte del control se diseñó una tarjeta electrónica que tiene dos amplificadores operacionales, tres circuitos de sincronismo y generación de pulsos, un circuito de detección de secuencia de fases el cual inhibe el funcionamiento del control cuando la fase esta invertida y también tiene un circuito de censado para limitar la corriente y así proteger el control.

La variación de la velocidad para la máquina se hará por medio de un potenciómetro electrónico el cual variará el porcentaje de voltaje del motor, este será proporcionar a la velocidad.

## **ABSTRACT**

The project of Design and Implementation of a speed control for a 12HP direct current motor of a paper rewinding machine, consists of implementing an electronic system at the motor voltage input, in such a way that it allows to maintain a constant speed in the rotor.

In the development of the project, a system consisting of two stages was implemented: a power stage and another the control stage.

For the design of the power part, three Thyristors and three Diodes were used in a half-wave triphasic configuration.

For the control part, an electronic card was designed that has two operational amplifiers, three synchronism and pulse generation circuits, a phase sequence detection circuit which inhibits the operation of the control when the phase is inverted and also has a circuit sensing to limit current to protect the control.

The variation of the speed for the machine will be done by means of an electronic potentiometer, which will vary the percentage of motor voltage; this will be proportional to the speed.

Everything will be mounted on the machine in a metal cabinet with a general switch and connection terminal blocks.

## INTRODUCCION

El proyecto de Diseño e Implementación de un control de velocidad para un motor de corriente continua de 12HP de una máquina rebobinadora de papel, la cual convierte una bobina de papel de 1.2 metros y aproximadamente 600 Kg. en rollos pequeños de 0.1 metros. El motor posee un rotor bobinado, un colector con dos portas escobillas, un voltaje de operación de 500 Vcc y un bobinado de estator de 90 Vcc.

Este proyecto tiene como propósito reemplazar un control anterior, el cual tiene problemas debido a la inestabilidad de velocidad en la bobina de la máquina, lo cual causa atascamiento y un producto final deteriorado.

En el presente informe, se abordarán los diferentes criterios que se analizaron para diseñar el nuevo control de velocidad y se detallarán los procedimientos de instalación que se llevaron a cabo para la implementación del sistema en la maquina industrial.

En el Capítulo I, se describe el planteamiento del problema, donde se define el problema principal, los objetivos, la justificación y alcance del proyecto.

En el Capítulo II, se describe el, marco teórico, los antecedentes de proyectos similares, así como el fundamento teórico con los conceptos y definiciones que explican las bases teóricas sobre las cuales se desarrollará el presente proyecto.

En el Capítulo III, se desarrolla la solución del proyecto en la etapa de planeamiento y la etapa técnica tecnológica.

En el Capítulo IV, finalmente, se exponen los resultados obtenidos al finalizar la implementación y se presentan las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

## **CAPITULO 1**

### **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. DEFINICION DEL PROBLEMA**

En una planta industrial ubicada en Ñaña, Chaclacayo. Se ubica una máquina rebobinadora de papel de nivel industrial, la cual convierte una bobina de papel de 1.2 metros y aproximadamente 600 Kg. en rollos pequeños de 0.1 metros.

Esta máquina tiene un motor de corriente continua que cumple con la función de girar la bobina de papel a través de su rotor.



FIGURA 1: Bobina de papel. (Elaboración propia)

En las especificaciones, se evidenció que era un motor de corriente continua de 12 Hp, con rotor bobinado, colector y porta escobillas con escobillas de carbón. El voltaje de operación del motor era de 500 Vcc. a una corriente de 18 A. y una velocidad máxima de 1400 RPM.

Adicional en la placa de especificaciones se muestra que su voltaje de campo es de 90 Vcc. con una corriente de 1.2 A.

Originalmente la máquina contaba con un control de velocidad de tipo monofásico, este presentaba una pequeña tarjeta electrónica para la variación de la velocidad del motor de corriente continua.

Para el usuario era difícil de controlar la variación de velocidad debido a que los cambios eran muy bruscos en la generación de velocidad, esto era perjudicial porque el operario necesitaba que, al aumentar y disminuir la velocidad, el giro de la bobina fuera lento y constante para generar la tensión adecuada en el papel, conjuntamente con su freno mecánico y realizar el rebobinado.

Esto generaba que la bobina de papel perdiera nivel y tensión, lo cual producía, atascamientos en la máquina y un producto final defectuoso y deteriorado.

Debido a que la alimentación de la planta es una línea trifásica de 440V. se debe tener precisión en la conexión al motor, ya que una de las consecuencias del mismo es la de realizar giros en sentido contrario.

Al inicio de la operación, el motor arrancaba con una velocidad elevada si el operario descuidaba dirigir velocidad del motor a cero antes de finalizar el trabajo y apagar la maquinaria. En consecuencia, al retorno de la operación como la velocidad inicial no tenía control e iniciaba muy elevada, generaba nuevamente el atascamiento del papel y deterioro del producto final.

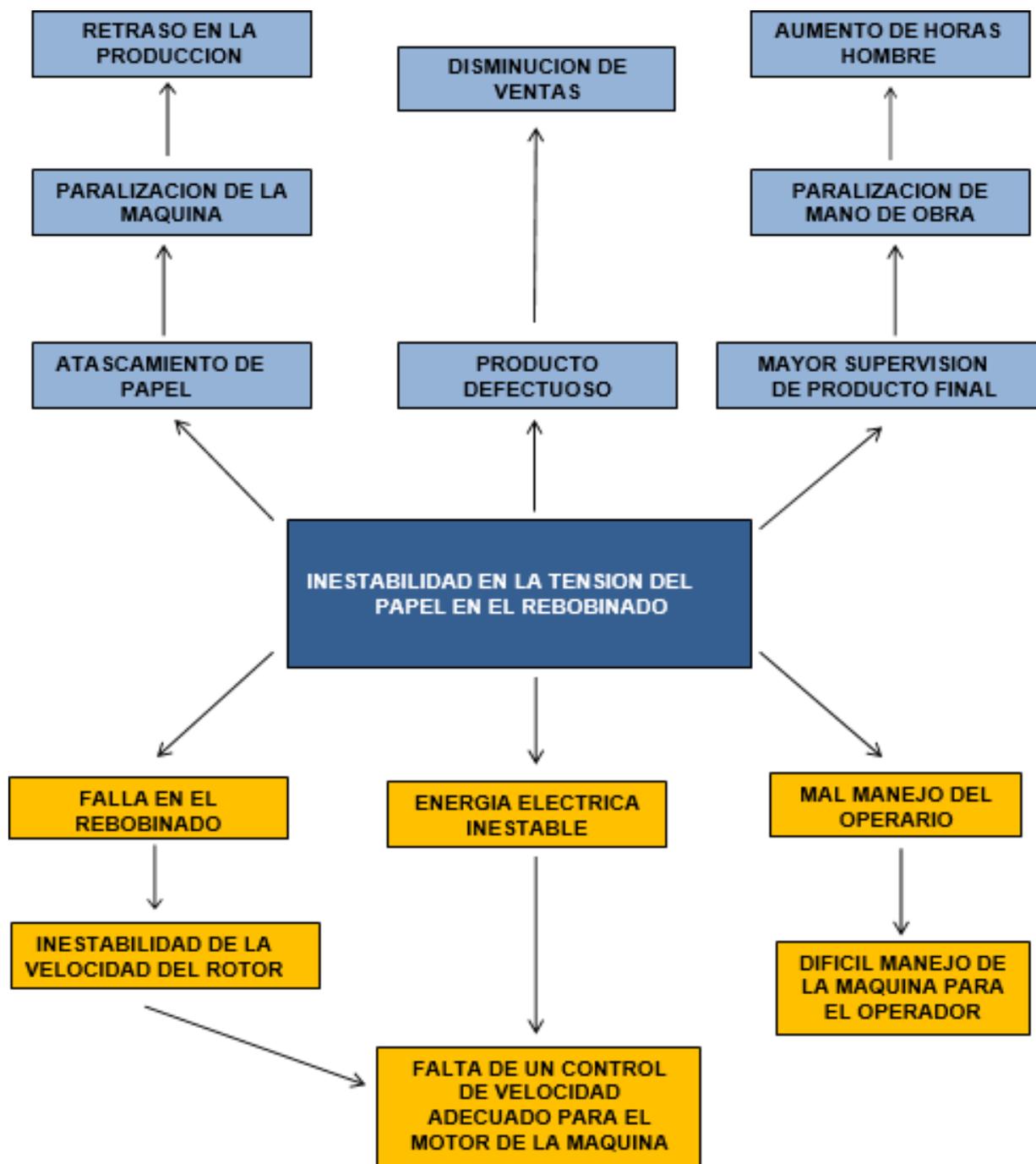


FIGURA 2: Árbol del Problema. (Elaboración propia)

<b>Problema: Inestabilidad en la tensión de papel en el rebobinado</b>	
<b>Causa</b>	<b>Efecto</b>
Inestabilidad en la velocidad del rotor	Producto final deteriorado
Mal manejo del operario	Paralización de mano de obra
Energía eléctrica inestable	Paralización de producción

TABLA 1: Causa y efecto del problema. (Elaboración propia)

### 1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo mantener una tensión constante en el rebobinado del papel, de tal manera que el bobinado final sea del mismo nivel, tensión y no presente imperfecciones?

### 1.1.2. PROBLEMAS ESPECIFICOS

¿Qué método utilizar para el diseño de un sistema de control, para mejorar la estabilidad de la velocidad de la bobina de la máquina y que sea sencillo de operación para el usuario?

¿Qué método utilizar para el diseño de la etapa de potencia, debido a que la alimentación es una línea trifásica de 440v?

¿Cómo proteger el sistema de control del motor, del ingreso de voltaje o corriente elevado?

## **1.2. OBJETIVOS**

Se presentan los siguientes objetivos:

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar e implementar un sistema de control para mantener una velocidad constante en la bobina de la máquina.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Desarrollar la solución del control de la velocidad del motor, considerando un método económico, rápido de implementar y sencillo para la operación del usuario.
- Diseñar la etapa de potencia para una alimentación trifásica de 440v.
- Diseñar un sistema de protección para protección del circuito electrónico del ingreso de voltaje o corriente elevado

## **1.3. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA**

Se desarrolló este proyecto debido a una necesidad de un cliente que posee una máquina industrial rebobinadora de papel, cuya parte principal del bobinado es el giro del rotor de su motor de corriente continua de 12 HP.

Esta máquina presenta problemas de funcionamiento evidenciado en su proceso y producto final defectuoso, para lo cual desarrollar un sistema de control adecuado para el motor de corriente continua de la máquina y de fácil operación conseguirá solucionar los problemas de la máquina en el proceso de rebobinado y ayudará que el producto final sea el adecuado según los parámetros determinados.

#### 1.4. ALCANCE Y LIMITACIONES

El presente proyecto que contempla el desarrollo de un control de velocidad para un motor de corriente continua de 12 HP de una maquina rebobinadora de papel, tiene como alcance lo siguiente:

- Analizar el mejor método para controlar la velocidad de un motor de corriente continua de 12 HP teniendo en cuenta las limitaciones del mismo.
- Analizar el mejor método para la adecuación de potencia debido a que la alimentación de energía de la planta es de 440 v trifásica.
- Analizar los posibles problemas de protección eléctricos y electrónicos para la implementación del proyecto.
- Diseñar e implementar un panel de control de velocidad para un motor de corriente continua de 12 HP.
- Mantener la velocidad del motor constante, la cual será directamente proporcional al voltaje entregado.

Dentro de las Limitaciones y/o Restricciones del Proyecto se pueden encontrar:

- El método a desarrollar debe ser el más económico posible para el cliente.
- El método a desarrollar debe dar solución el menor tiempo posible.
- El método a desarrollar debe ser el más sencillo para el entendimiento del operario.
- Debido a que el control tiene una realimentación de voltaje, es un control de voltaje que posteriormente controlará la velocidad.
- El motor no posee un taco generador en el eje del motor, por lo tanto, no se puede obtener una realimentación de velocidad, lo cual haría aún más estable la velocidad del motor.

### 1.5. ANALISIS COSTO – BENEFICIO:

Se le sugirió al cliente, otros métodos de proyecto de inversión, teniendo en cuenta algunos parámetros analizados para resolver el problema principal.

El cliente optó por el método más económico indicando que no eran necesarios tantos cambios e invertir más dinero de lo necesario.

ANALISIS COSTO / BENEFICIO				
METODO	GASTO ECONOMICO	TIEMPO DE SOLUCION	MANTENIMIENTOS	TIEMPO DE VIDA
CAMBIAR EL MOTOR C.C. POR UN MOTOR C.A. Y UTILIZAR UN INVERSOR DE FRECUENCIA	MUY ELEVADO	3.5 MESES (TIEMPO DE EXPORTACION DE EQUIPOS, TIEMPO DE INSTALACION Y ADAPTACION A LA MAQUINA)	CADA 6 MESES	20 AÑOS APROX
PANEL DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR DE C.C.	MUY ELEVADO	3 MESES (TIEMPO DE EXPORTACION DE EQUIPOS, TIEMPO DE INSTALACION Y ADAPTACION A LA MAQUINA)	CADA 6 MESES	15 AÑOS APROX
DISEÑO E IMPLEMENTACION UTILIZANDO MICROCONTROLADOR DE NIVEL INDUSTRIAL O TARJETA PROGRAMABLE	ELEVADO	4 MESES (ANALISIS, DISEÑO, PROGRAMACION, INSTALACION Y PRUEBAS)	CADA 6 MESES	12 AÑOS APROX
DISEÑO E IMPLEMENTACION UTILIZANDO COTROL DE VELOCIDAD POR VOLTAJE DE ARMADURA DEL MOTOR	BAJO	2 MESES (ANALISIS, DISEÑO, IMPLEMENTACION Y PRUEBAS)	CADA 6 MESES	12 AÑOS APROX

TABLA 2. Análisis Costo - Beneficio. (Elaboración propia)

En el proyecto se hizo un control de velocidad para motor de corriente continua porque el cliente ya tenía ese motor y deseaba un control eficiente y económico.

Actualmente existen controles de velocidad para motores de corriente alterna, los cuales permiten variar la velocidad del motor variando la frecuencia. Los motores AC industriales son alimentados con una tensión trifásica de 220, 380 o 440 Vac. y una frecuencia de 60 Hz. Estos motores tienen una velocidad constante que es determinada por la frecuencia de la red.

Estos controles son implementados a partir de una alimentación trifásica la cual se convierte en continua con un puente rectificador y con condensadores para el filtrado. Luego esta tensión se convierte nuevamente en alterna con un sistema de seis IGBT los cuales son excitados con una tensión en una secuencia adecuada y a una frecuencia determinada para lograr la variación de velocidad del motor. A esto se le conoce como Inversor.

Los motores de AC son más económicos que los motores de DC, no tienen colector ni carbones que se desgasten, su construcción es más sencilla y tienen un menor tamaño en relación a su potencia. Es por eso que se desarrollaron los controles para ese tipo de motores, inicialmente los controles eran muy grandes, algunos usaban transistores en paralelo para conseguir la potencia necesaria. Los circuitos electrónicos eran grandes porque se utilizaba electrónica digital con un gran número de circuitos integrados con compuertas.

Actualmente todo esto ha sido superado por los microcontroladores y con los IGBT. El circuito electrónico está aislado de la parte de potencia con optoacopladores.

Los variadores actualmente tienen una gran cantidad de parámetros, frecuencia máxima, corriente, modo de operación etc. los cuales son programados por el usuario para conseguir el mejor funcionamiento de la máquina en donde se va a aplicar. Pueden ser controlados por un teclado que viene incorporado al equipo, un potenciómetro remoto, un PLC entre otros.

## **CAPITULO 2**

### **2. MARCO TEORICO**

#### **2.1. Estado del Arte:**

Los antecedentes de las investigaciones proponen desarrollar la regulación y control de la velocidad de un motor de corriente continua a través de microcontroladores, tarjetas programables y técnicas como modulación por ancho de pulso o por ángulo dedisparo de tiristores. Por este motivo se debe considerar la mejor técnica debido al tipo y potencia del motor, teniendo en cuenta las limitaciones definidas anteriormente.

Para el diseño de la etapa de control se hizo utilidad del microcontrolador AT89C52, con la finalidad de variar y regular la desaceleración y la aceleración del motor de corriente directa, de esta misma forma se puede modificar el giro del motor en direcciones de adelante y atrás, y así la velocidad se puede regular, lo cual beneficia en la facilidad del control inteligente del motor. La señal de pulso que es generada con ancho de pulso por el microcontrolador AT89C52 es ingresada al chip de control L298 para tener la posibilidad de regular la funcionabilidad del motor CC.

(ProgrammerClick, 2018)

Para este diseño de control, se realizó a través del procesamiento digital de señales

el cual es programado según una configuración de diagrama de bloques. El control de la potencia que llega al motor se da a través de un convertidor CD-CD con base en PWM. De esta forma la velocidad del motor logra una estabilidad ante el cambio en el par de carga en los valores según la referencia de velocidad. (Ramirez-Betancourt, 2017)

Para este diseño se propuso la técnica por modulación por ancho de pulso, el cual describe que, por cada ciclo de trabajo, el tiempo que la señal está en un estado lógico elevado, como parte del tiempo total para completar un ciclo, la frecuencia es la que determina con qué rapidez se completa un ciclo, por consecuencia con que velocidad se da los cambios. Cuando se modifica la señal de estado alto a bajo, en tiempo reducido y con un ciclo de trabajo, la señal de salida logra ser constante. (Mootio-components, 2017)

Para este diseño de control, se utilizó el procesamiento de imágenes a través de una cámara la cual acciona la regulación de la velocidad de un motor de corriente continua. Esto es posible utilizando un control en lazo cerrado, en donde la realimentación fue la velocidad del motor determinada en el PDI con un disco adjunto al eje del motor. La implementación consiste en un motor CC controlado por PWM que es programado en un microcontrolador, la información que llega a este microcontrolador, proviene de un sistema de base de datos de una computadora donde se realiza el reconocimiento de imágenes, toma de acciones, ingreso de los datos requeridos, etc. Dependiendo de la velocidad que capta y la diferencia en la posición de una marca descrita en el disco, se obtiene el ángulo recorrido y la velocidad del motor. Los datos de la velocidad de giro del disco en cada ciclo son comparados y se realizan las acciones pertinentes para lograr el control y la estabilidad del sistema. (Sabogal & Vargas, 2013)

Originalmente se realizó el desarrollo del control de velocidad de un motor de corriente continua por voltaje de armadura, mediante una etapa de potencia utilizando tiristores y diodos en configuración trifásica de media onda, variando el voltaje en el rotor controlando el ángulo de disparo de los tiristores en cada ciclo de la onda trifásica. Esto debido a la potencia y tamaño del motor y también con la finalidad de abaratar costos y horas hombre. Actualmente se propone como mejora, desarrollar un control con un microcontrolador de nivel industrial.

De esta forma se garantiza la velocidad estabilizada en el motor, automatización de la máquina y una protección de la maquinaria de producción en su totalidad.

## **2.2. Bases Teóricas:**

### **2.2.1. Máquina bobinadora:**

Esta máquina tiene la función de enrollar un producto como papel, hilo, alambre de metal, etc. sobre un gran carrete. Actualmente, existen varios tipos de maquinaria de rebobinado, desde las máquinas sencillas hasta las más complicadas que tienen un control, número y computadora. En gran parte de las máquinas de bobinado son de forma manual con una relación con automatismo, pero sin llegar a ser computarizados en su totalidad, en donde los controles regulan la tensión del material, la cantidad que este enrolla en el núcleo, y el patrón en que el material se enrolla sobre el carrete. (Abán, 2021)

Las máquinas bobinadoras, son equipos de precisión para enrollar diferentes materiales, en las cuales su principal funcionamiento se encuentra en el rotor de su motor interno, este mismo podrá ser regulado dependiendo del tipo del material y las necesidades del usuario.

## 2.2.2. Control de voltaje de armadura

En la armadura de un motor de corriente continua, el campo electromagnético es excitado de forma separada por una corriente constante  $i_f$  a partir de una alimentación continua fija. El flujo de campo magnético puede ser descrito como  $\phi = K_f i_f$ , "Kf" es constante. El torque que desarrolla el motor es directamente proporcional al producto de  $\phi$  y la corriente generada en la armadura del motor y la longitud de los conductores. Dado que el campo es asumido constante, el torque se puede definir como:  $T_m = K_i i_a$ . (<http://bionanouni.wdfiles.com/local--files/teaching-mt221c-d-horario-2012i/MT221-MotorDC.pdf>, s.f.)

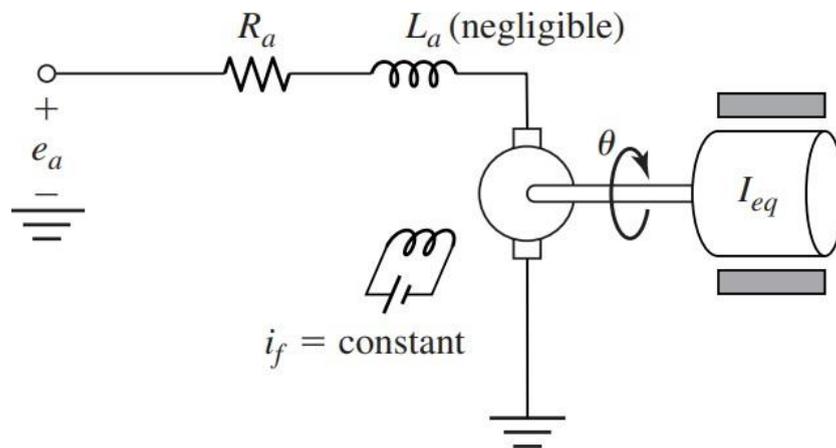


FIGURA 3: Modelo de un motor DC de armadura. (<http://bionanouni.wdfiles.com/local--files/teaching-mt221c-d-horario-2012i/MT221-MotorDC.pdf>, s.f.)

El torque que desarrolla el motor es utilizado para activar el proceso, cuya inercia total es " $I_{eq}$ ". En un caso idóneo donde el torque entregado es igual a la carga. Entonces:  $I_{eq} \ddot{\theta} = K_i i_a$ , donde " $\theta$ " es la position angular del eje del motor. A medida que la armadura gira en un campo, esta produce un voltaje inducido " $e_b$ " en dirección contraria al suministro del rotor. Este voltaje se llama fuerza contra-electromotriz y es directamente proporcional a la velocidad de rotación " $\dot{\theta}$ " y el flujo creado por el campo. Dado que el campo es constante, la fuerza contraria electromotriz puede ser expresada como:  $e_b = K_b \dot{\theta}$ , donde  $K_b$  es la constante de voltaje del motor. La

regulación y control de la velocidad del motor se obtiene de la variación del voltaje en la armadura. (<http://bionanouni.wdfiles.com/local--files/teaching-mt221c-d-horario-2012i/MT221-MotorDC.pdf>, s.f.)

### **2.2.3. Motor de corriente continua:**

“La máquina eléctrica con mayor importancia debido a su empleabilidad como generador para producir energía eléctrica a gran escala”. (Gomez Suarez, 2020)

“Esta clase de motor tiene la finalidad de convertir la energía eléctrica en mecánica por medio de su giro, este movimiento es generado como resultado del campo electro magnético”. (Kraftmann, 2019)

Es una máquina que, en su funcionamiento, convierte la energía eléctrica en energía mecánica, de esta manera logra un movimiento de giro debido a las acciones de un campo magnético generado por la electricidad. Este mismo depende de sus dos partes principales como es el rotor y el estator.

### **2.2.4. Rotor:**

“Es la parte que gira en un motor eléctrico y se ubica en el interior del circuito magnético del estator”. (Martin, 2016)

“Es la parte móvil del motor. Este puede ser inductor o inducido, en función de que la máquina sea generador o motor, esto mismo hará que en la etapa de diseño difiera considerablemente”. (Gomez Suarez, 2020)

Es el componente del motor o máquina eléctrica, que gira y cumple la función de transmitir la potencia en los motores.

### **2.2.5. Estator:**

“Es un grupo de carcasa y el núcleo ferromagnético, que es donde se ubica el bobinado”.

(Gomez Suarez, 2020)

“Es la parte fija del motor, el cual está formado por una chapa magnética con ranuras en donde se aloja el devanado”. (Martin, 2016)

Es la parte fija del motor. El cual al estar cubierto por un conjunto de láminas tiene la función de que el flujo magnético pase con facilidad.

### 2.2.6. Tiristores:

“Es un dispositivo que son en su gran mayoría aplicados en circuitos electrónicos de conmutación”. (Ruiz, 2020)

“Es un semiconductor que trabaja en conmutación y que es controlado a través de una corriente débil insertada en uno de sus terminales”. (Martin, 2016)

Es un dispositivo electrónico conmutador, que cumple la función de un interruptor o compuerta al pasar a través del mismo, una corriente directa.

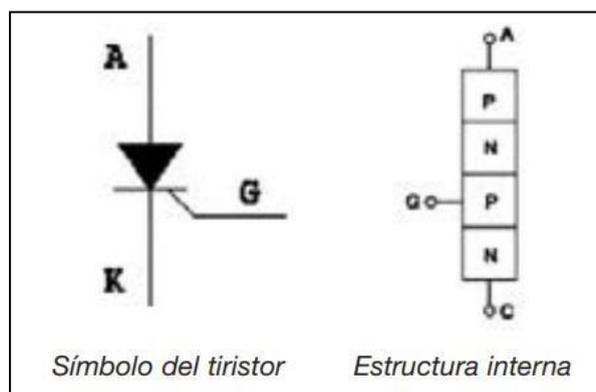


FIGURA 4. Modelo de tiristor. (Ruiz, 2020)

### 2.2.7. Disparo de Tiristores:

La metodología más concurrecida para disparar un tiristor, consiste en aplicar una corriente en su portal. Los niveles de tensión y corriente de disparo en el portal

deben estar configurados dentro de una zona de disparo de seguridad. Si este se sobrepasa de este límite puede no dispararse el tiristor o puede afectar de mala forma el dispositivo. (Arielco, 2020)

Adicional a esto, el disparo debe tener un determinado tiempo que depende del tiristor, los valores que podrían ser los más aproximados son del orden de 1 micro segundo para que este sea más eficaz. (Arielco, 2020)

El tiempo de conexión o de activación es el determinado tiempo que tarda en que el tiristor conduzca desde el disparo. Los valores tradicionales de los tiristores comerciales están en el rango de 1 a 3µseg. (Arielco, 2020)



FIGURA 5. Disparo de tiristor. (Arielco, 2020)

### 2.3. Marco metodológico:

En el desarrollo de la metodología del proyecto se utilizó la herramienta de gestión de proyectos, estructura de desglose del trabajo (EDT), la cual consiste en descomponer de forma jerárquica el trabajo a ser ejecutado por el equipo de proyecto, con la finalidad de

cumplir con las metas de este y establecer los entregables necesarios, donde cada nivel descendente de la EDT representa una definición con un detalle incrementado del trabajo del proyecto.

La finalidad de la utilización de una EDT es el de organizar y definir el alcance del proyecto según lo dispuesto al cliente.

La forma jerárquica en la cual esta se distribuye, permite una facilidad de identificación de los elementos, nombrados como: "Paquetes de Trabajo".

Esto consiste en partes del trabajo, en comparación al alcance del proyecto, y sirve como cimiento para la planificación del proyecto.

En todo trabajo del proyecto se debe poder monitorear su origen en una o más entradas de la EDT.

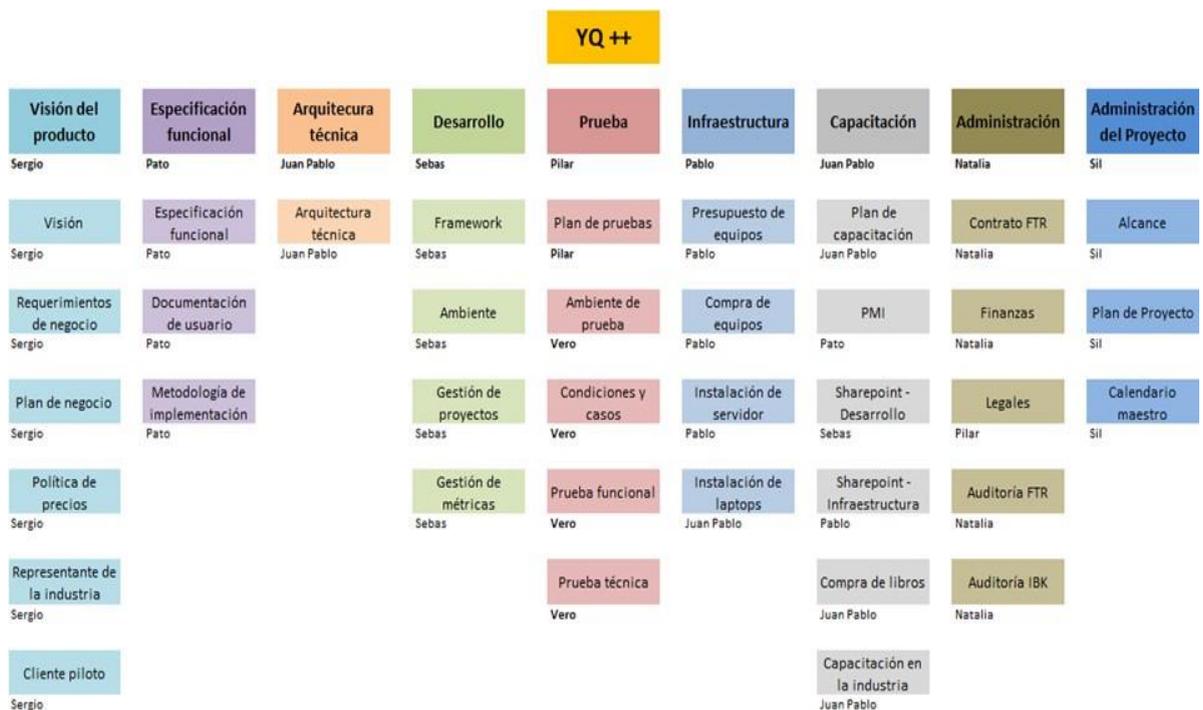


FIGURA 6. Ejemplo de una EDT.

([https://es.wikipedia.org/wiki/Estructura\\_de\\_descomposici%C3%B3n\\_del\\_trabajo#/media/Archivo:Product-oriented\\_work\\_breakdown\\_structure\\_of\\_an\\_aircraft\\_system.png](https://es.wikipedia.org/wiki/Estructura_de_descomposici%C3%B3n_del_trabajo#/media/Archivo:Product-oriented_work_breakdown_structure_of_an_aircraft_system.png), s.f.)

## **CAPITULO 3**

### **3. DESARROLLO DE LA SOLUCION**

#### **3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO**

##### **3.1.1. Sistema Propuesto**

El presente proyecto tiene como sistema propuesto el diseño e implementación de un control de velocidad basado en el control de un motor de corriente continua por voltaje de armadura.

Anteriormente, la máquina rebobinadora de papel contaba con un control de velocidad de tipo monofásico para el motor, este presentaba una pequeña tarjeta electrónica para la variación de la velocidad del motor.

El usuario tenía dificultades para variar la velocidad y mantener una tensión en la bobina de papel, por lo que se generaba atascamientos y deterioro en el producto final.

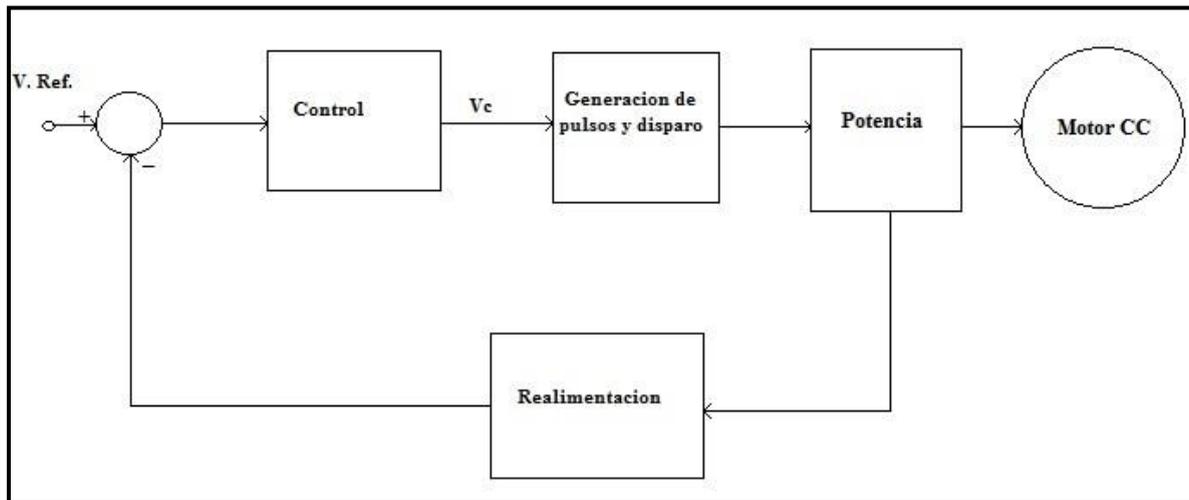


Figura 7. Propuesta de solución. (Elaboración propia)

El proyecto tiene como alcance el diseño y la implementación de un control de velocidad basado en el control de un motor de corriente continua por voltaje de armadura, la cual contará con una etapa de potencia y una etapa de control.

El voltaje de referencia  $V_{Ref}$  es el que inicia las acciones para variar la velocidad del motor por medio de un voltaje aplicado a este, el cual es generado a partir de un potenciómetro electrónico.

La etapa de control consta de dos amplificadores operacionales, en configuración sumador integrador que entregan la señal de control  $V_c$  a la generación de pulsos, la cual consta de tres amplificadores operacionales que actúan como comparadores de la señal de control y la señal de sincronismo proveniente de la fuente de alimentación.

La onda cuadrada que se obtiene de los amplificadores es convertida en pulsos con un derivador a base de un transistor.

Los pulsos van a las compuertas de los tiristores de la etapa de potencia. El disparo de cada tiristor está sincronizado con la red de alimentación por medio de la fuente de alimentación del circuito.

Este voltaje aplicado al motor es generado a partir de la red de alimentación de 440 Vac y una etapa de potencia que consta de un puente trifásico compuesto por 4 diodos y 3 tiristores.

El voltaje de referencia **Vref** aplicado a la etapa de control es restado con un voltaje de realimentación que es una muestra proporcional del voltaje aplicado al motor para mantener constante la variación.

El sistema también tiene un circuito de protección por inversión de fase, cuando la secuencia de fases es incorrecta dicho circuito inhibe el funcionamiento del control llevando a cero el voltaje de control **Vc**.

La etapa de control, generación de pulsos y realimentación van en la tarjeta electrónica. El voltaje **V.Ref.** es generado a partir de un potenciómetro electrónico que controla todo el rango de voltaje del motor.

Para el desarrollo de la solución se tomó en consideración las limitaciones de presupuesto y tiempo de implementación del proyecto, según los requerimientos del cliente.

### **3.1.2. Metodología propuesta**

La metodología que se utilizará durante el diseño e implementación del presente proyecto será un modelo en cascada. El cual permita desarrollar de forma desglosada los paquetes de trabajo y entregar la funcionalidad cuando esté disponible para su etapa de pruebas, además también brinda la posibilidad de realizar actualizaciones iterativas hacia el diseño según sea la necesidad del usuario durante la fase de implementación, teniendo como base las siguientes etapas:

- Inicio: El objetivo es comprender las necesidades y limitaciones del cliente para entender los criterios de éxito y poder desarrollar la mejor solución.
- Planeamiento: en este nivel se reconocerá el lugar de trabajo para entender el

entorno, el presupuesto y el cronograma de proyecto.

- Diseño: en este nivel se diseñan las soluciones tecnológicas que cumplan con los requerimientos y objetivos del proyecto.
- Implementación y pruebas: en este nivel se implementa la solución, donde una vez completado los paquetes de trabajo, se procede al montaje y pruebas en planta para un análisis detallado.
- Cierre: Confirmación que la solución instalada cumple con el objetivo del cliente.

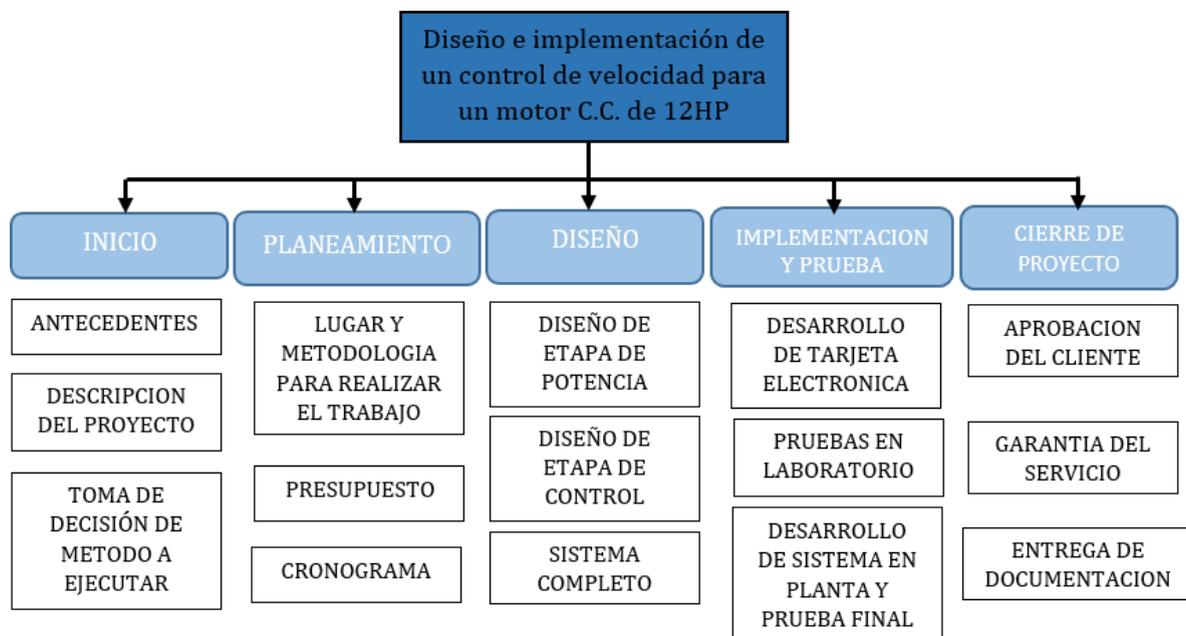


Figura 8. EDT. (Elaboración propia)

### 3.1.3. Ciclo de vida del proyecto

El ciclo de vida del proyecto basado en la metodología propuesta la cual se desarrolla como un proceso de las actividades principales del desarrollo del proyecto.

Todo desarrollo del proyecto consiste en un proceso de etapas desde el punto de inicio

hasta el cierre y aceptación del cliente.

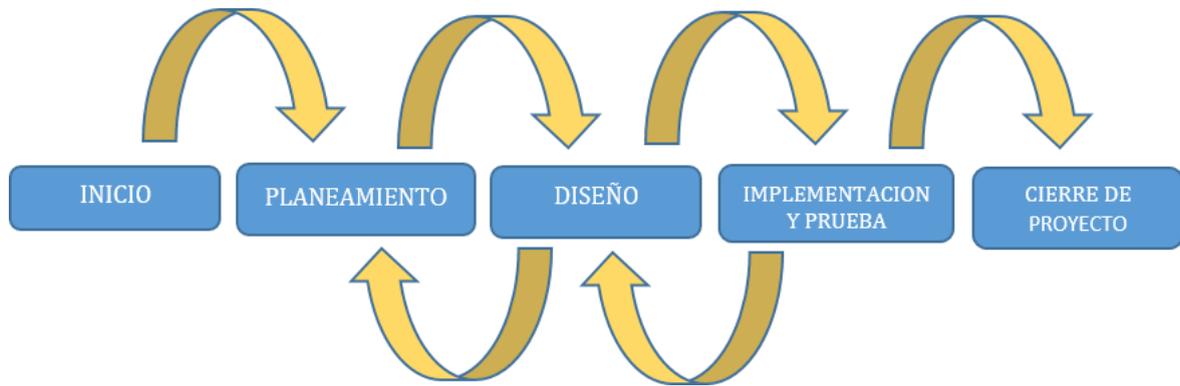


FIGURA 9. Ciclo de vida del proyecto. (Elaboración propia)

El presente proyecto tiene un ciclo de vida aproximado de 12 años a más trabajando en condiciones normales.

Para la durabilidad del proyecto, se optó por agregar sistemas de protección eléctricas y electrónicas, para asegurar que la tarjeta de control y el panel no sufrieran daños.

Así mismo, se utilizaron componentes de calidad y de resistencia superior a la corriente máxima del motor. Y se colocaron selectores de voltaje máximo y corriente máxima para evitar que más corriente de la debida ingrese al sistema de control.

Actualmente la operación del proyecto lleva un periodo de 8 años en funcionamiento, dependiendo solamente de los mantenimientos del mismo cliente en condiciones necesarias no programadas, según la información adquirida.

#### 3.1.4. Conformación del equipo de trabajo

La conformación de los involucrados en el proyecto, se divide en especialidades según las actividades específicas de cada proceso.

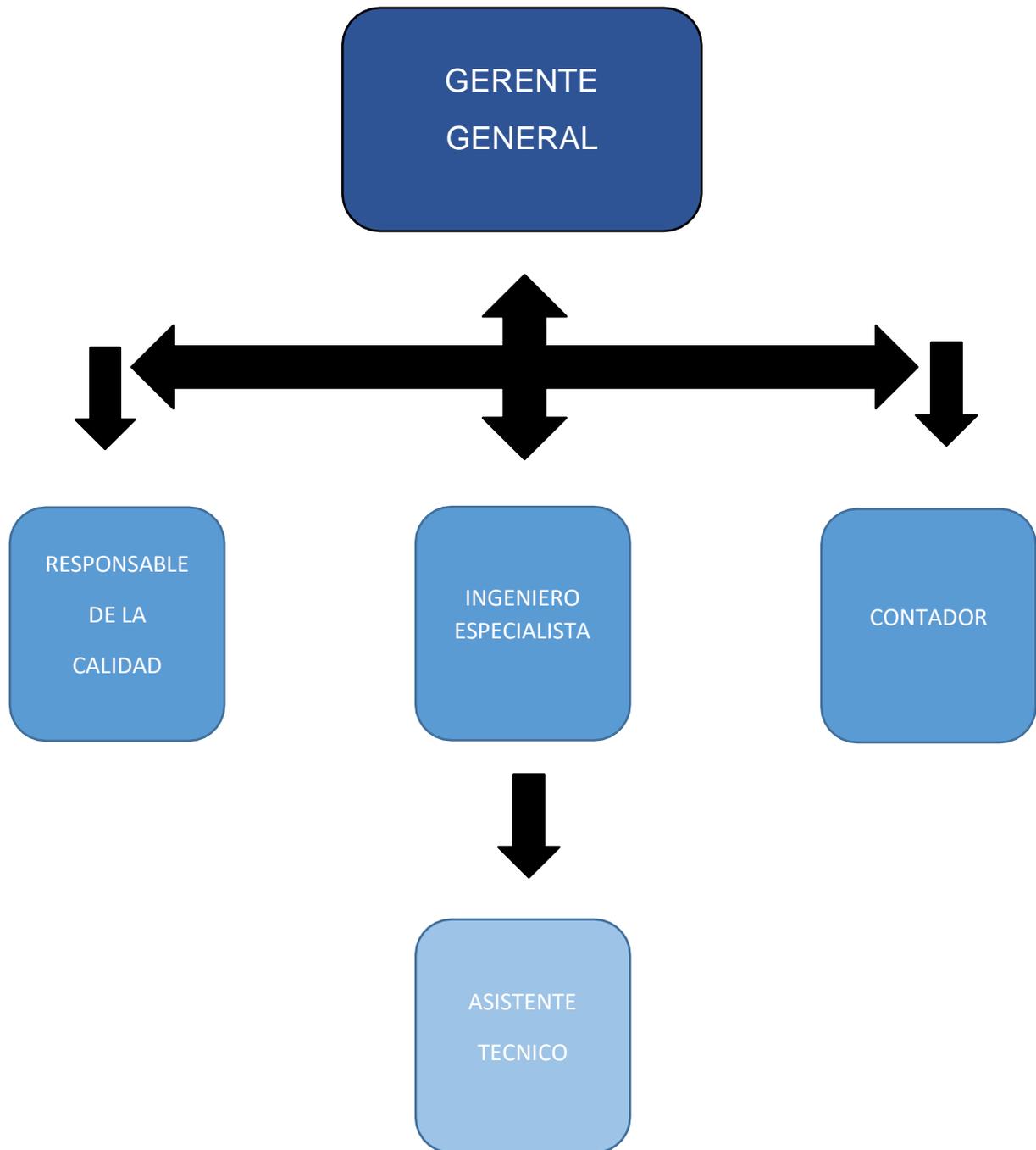


FIGURA 10. Conformación de equipo de trabajo. (Elaboración propia)

### 3.1.5. Roles y responsabilidades

GERENTE GENERAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Convocar reuniones sobre avance de proyecto.</li> <li>-Toma de decisión sobre los proyectos.</li> <li>-Promover y tomar acciones que desarrollen el trabajo en equipo.</li> <li>-Verificar el avance del proyecto</li> </ul>
RESPONSABLE DE CALIDAD	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Solicitar información de los entregables y avances.</li> <li>-Tomar decisión sobre los entregables cuando el gerente se lo permita</li> <li>-Verificar el cumplimiento de las métricas de calidad</li> <li>-Verificar el desarrollo de actividades de calidad.</li> <li>-Analizar los procesos del proyecto y proponer mejoras</li> </ul>
CONTADOR	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Encargado de evaluar el presupuesto</li> <li>-Informar sobre el estatus monetario del proyecto</li> <li>-Control presupuestal del proyecto</li> <li>-Verificación de los gastos de la empresa</li> <li>-Verificación del flujo de caja de la empresa</li> </ul>
INGENIERO ESPECIALISTA	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Toma de decisión sobre los métodos a utilizar en la ingeniería.</li> <li>-Desarrollo de los procesos de los bienes y servicios</li> <li>-Diseño, implementación y mantenimiento de los bienes y servicios ofrecidos por empresa.</li> <li>-Seguimiento y control de los proyectos en elaboración.</li> </ul>
ASISTENTE TECNICO	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Apoyo en la investigación y metodología de los proyectos</li> <li>-Asistencia en el desarrollo de los bienes y servicios.</li> <li>-Asistencia en diseño, implementación y mantenimiento de los bienes y servicios ofrecidos por empresa.</li> <li>-Apoyo al ingeniero especialista</li> </ul>

TABLA 3. Roles y responsabilidades. (Elaboración propia)

### 3.1.6. PLAN DE RIESGOS

Los objetivos de este plan son los de mejorar la toma de decisiones hacia los riesgos, minimizar riesgos y pérdidas en la producción, lograr la identificación y gestión de los riesgos múltiples que se generan en la actividad y entre los proyectos.

CODIGO	RIESGO	DESCRIPCION
1	Abandono de un integrante del equipo de trabajo	Un integrante del grupo de trabajo abandona el proyecto
2	Cierre de la planta donde se desarrolla el proyecto	Se cierra la planta y ocasiona la cancelación del proyecto
3	Solicitud de cambios en los requerimientos	Modificaciones solicitadas por el cliente y las cuales son hechas en los periodos de tiempo sobre los cuales se encuentran la implementación del sistema
4	Retrasos en los tiempos de entrega de cada fase, modulo o entregable	Retrasos en los tiempos del proyecto debido a que una fase de desarrollo se terminó después del tiempo
5	Falla de energía de alimentación en planta	Fallas en la alimentación de energía de la planta causando inestabilidad
6	Falla de diseño del proyecto	Fallas en el diseño el cual debe irse adaptando hasta lograr la aprobación del cliente
7	Falla en el montaje del proyecto	Fallas en el montaje de la maquinaria de la planta, falta de cálculo de dimensiones
8	Definición incorrecta del alcance del proyecto	El abarcamiento de la solución al problema se establece incorrectamente

TABLA 4. Identificación de Riesgos. (Elaboración propia)

- **CLASIFICACION DE RIESGOS**

IMPACTO \ PROBABILIDAD	Muy Bajo 1	Bajo 2	Moderado 3	Alto 4	Muy Alto 5
Frecuente 5	5	10	15	20	25
Probable 4	4	8	12	16	20
Moderada 3	3	6	9	12	15
Improbable 2	2	4	6	8	10
Raro 1	1	2	3	4	5

CLASIFICACIÓN DEL RIESGO	RANGO
Riesgo bajo	1-4
Riesgo Moderado	5-11
Riesgo Alto	12-25

TABLA 5. Clasificación de riesgos. (Elaboración propia)

- **ANALISIS DE RIESGO**

CODIGO	RIESGO	PROBABILIDAD	IMPACTO	RESULTADO
1	Abandono de un integrante del equipo de trabajo	2	2	4
2	Cierre de la planta donde se desarrolla el proyecto	1	5	5
3	Solicitud de cambios en los requerimientos	3	3	9
4	Retrasos en los tiempos de entrega de cada fase, modulo o entregable	5	3	15
5	Falla de energía de alimentación en planta	3	4	12
6	Falla de diseño del proyecto	2	2	4
7	Falla en el montaje del proyecto	5	3	15
8	Definición incorrecta del alcance del proyecto	4	3	12

TABLA 6. Análisis de riesgo. (Elaboración propia)

- **MEDIDAS DE CONTROL DE RIESGO**

<b>CODIGO</b>	<b>RIESGO</b>	<b>MEDIDA DE CONTROL</b>
1	Abandono de un integrante del equipo de trabajo	Contar con personal de confianza, todos los integrantes deben conocer en trabajo de todos
2	Cierre de la planta donde se desarrolla el proyecto	Comunicación constante con el personal encargado de planta
3	Solicitud de cambios en los requerimientos	Comunicación constante con el cliente, tomando en cuenta que se solicitara más tiempo de acuerdo a los cambios
4	Retrasos en los tiempos de entrega de cada fase, modulo o entregable	Realizar un buen cronograma y adicionar más tiempo de lo previsto en cada etapa
5	Falla de energía de alimentación en planta	Recomendar al cliente que solicite a su empresa de energía eléctrica contratada, pruebas de estabilidad
6	Falla de diseño del proyecto	Contar con tiempo adicional según cronograma para realizar los cambios pertinentes
7	Falla en el montaje del proyecto	Contar con tiempo adicional según cronograma para realizar los cambios pertinentes
8	Definición incorrecta del alcance del proyecto	Comunicación constante con el cliente para evitar inconvenientes en los requerimientos.

TABLA 7. Medidas de control de riesgo. (Elaboración propia)

### 3.1.7. PLAN DE COMUNICACIONES

PLAN DE COMUNICACIONES	
<b>OBJETIVOS</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Conseguir un mensaje unificado basado en los valores de la empresa</li><li>• Definir la estrategia más eficaz para tomar las decisiones más rápidas y acertadas de la empresa</li></ul>
<p>-Los requerimientos del Proyecto, estipulados por el cliente serán reportados para la toma de decisión respectiva.</p> <p>-Se enviará en idioma original según materiales o requerimientos, en un formato de PDF.</p> <p>-La distribución de la información será con la finalidad de tomar las decisiones correspondientes a los requerimientos del proyecto u otro problema que afecte al mismo.</p> <p>-La información del Proyecto se deberá enviar con un máximo de 24 horas y deberá ser respondido en 24 horas máximo.</p> <p>-La persona que deberá realizar las comunicaciones a la gerencia será el Ingeniero Especialista del Proyecto.</p> <p>-La persona responsable de autorizar la divulgación de la información será el Gerente General.</p> <p>-La información será distribuida por la Gerencia, el Ingeniero Especialista, Contabilidad y los asistentes técnicos.</p> <p>-La información será recibida y enviada a los involucrados a través de correo electrónico.</p> <p>-Cualquier inconveniente técnico se podrá resolver de forma ágil a través del asistente o el ingeniero especialista, otros inconvenientes correspondientes a toma de decisiones, tiempo, presupuesto deberá ser resuelto por la alta gerencia.</p>	

TABLA 8. Plan de comunicaciones. (Elaboración propia)

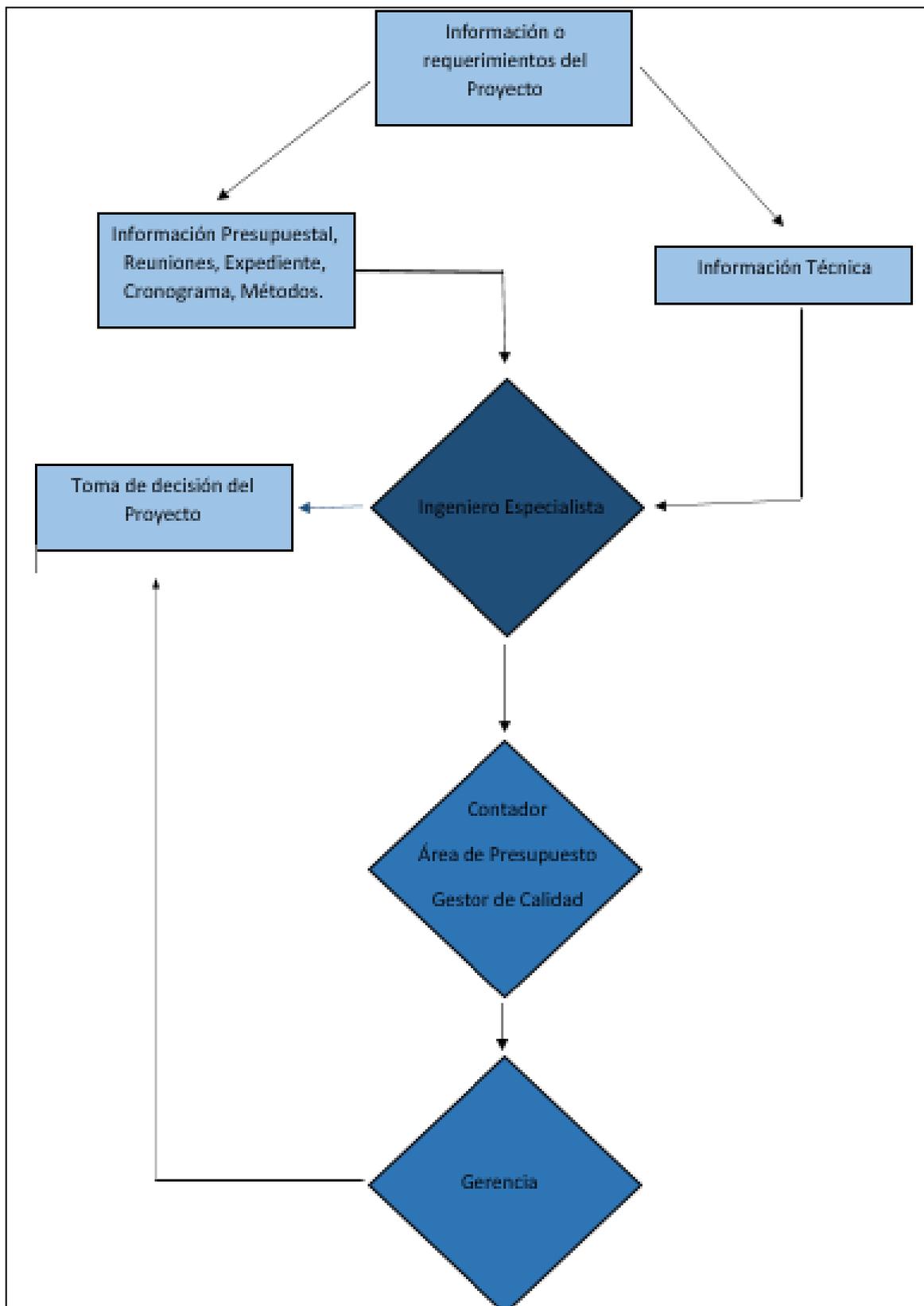


FIGURA 11. Flujo de comunicaciones. (Elaboración propia)

### 3.1.8. PLAN DE GESTIÓN DE LOS STAKEHOLDERS

Los objetivos de este plan son los de: La identificación de los interesados, grupos y personas involucradas en el proyecto, Analizar las metas de los interesados, La planificación de la gestión de los involucrados mediante estrategias para lograr su intervención en las medidas y cumplimiento, Comunicación continua entre los involucrados para comprender los cambios en sus expectativas en los proyectos y gestionar los problemas que se puedan encontrar en el proceso.

STAKEHOLDER	INTERES EN EL PROYECTO	EVALUACION DEL IMPACTO	ESTRATEGIA POTENCIAL
Gerente General	Que mejore el orden y la performance del proyecto	Muy alto	Dar charlas sobre el efecto de la gestión de proyectos para la mejora de tiempo y costo
Encargado de Presupuesto	Que maximicen las utilidades de la empresa	Muy alto	Informar constantemente del estado financiero y los problemas encontrados
Encargado de Calidad	Que el proyecto sea culminado y aprobado bajo los estándares de calidad programados	Alto	Informar sobre los estándares de calidad programados en el proyecto y controlarlo constantemente
Ingeniero Especialista	Que el proyecto sea terminado exitosamente para satisfacer al cliente y generar ganancias a la empresa	Alto	Informar constantemente sobre el avance del proyecto, los problemas encontrados y solicitar el apoyo respectivo.
Asistente Técnico	Que el proyecto sea terminado exitosamente para satisfacer al cliente y generar ganancias a la empresa	Mediano	Informar constantemente sobre el avance del proyecto, los problemas encontrados y valorizaciones.

TABLA 9. Gestión de los Stakeholders. (Elaboración propia)

### 3.1.9. PLAN DE ADQUISICIONES DEL PROYECTO

Los objetivos de este plan son los de: La identificación de las mejores opciones para satisfacer de mejor forma el proyecto, La determinación de que las necesidades del trabajo se logren satisfacer por el mismo equipo de trabajo, Discurrir si es necesario adquirir, qué y cuánto adquirir, así cómo y cuándo hacerlo.

FASE	TAREAS
Planificación de las adquisiciones	Determinar si se produce o se adquiere lo requerido Desarrollar plan de Gestión de Adquisiciones Seleccionar y adaptar tipos de contratos Ajustar gestión temporal con cronograma de adquisiciones Crear los documentos de adquisiciones "Para proveedor, petición de oferta de adquisición"
Selección del proveedor	Buscar proveedor Enviar documentos de adquisiciones al proveedor Reunión con proveedores Recepción de las respuestas de los proveedores Comparación de ofertas Seleccionar el proveedor según la oferta y criterios de selección de la empresa. Documentar información del proveedor seleccionada. Reunión con el proveedor Negociar temas contrato con el proveedor
Administración de las adquisiciones	Realizar revisiones del rendimiento de las adquisiciones Gestionar cambios del contrato Reuniones con el proveedor Monitorizar rendimiento de las adquisiciones según aspectos contrato Documentación de control
Cierre	Verificar producto/servicio de las adquisiciones Aceptar la verificación anterior Actualizar registro Documentar lecciones aprendidas / incidencias Cierre financiero de adquisiciones si es necesario

TABLA 10. Plan de adquisiciones. (Elaboración propia)

### 3.1.10. CRONOGRAMA

Controlar los tiempos de cada etapa del proyecto.

Disgregar el proyecto en actividades para cumplirlos en un determinado tiempo.

ACTIVIDADES	MESES (SEMANAS)							
	MES 1				MES 2			
Recopilación de datos	■							
Búsqueda de información	■							
Análisis		■						
Determinación de método		■						
Etapa experimental		■	■					
Preliminares de Diseño			■	■				
Pruebas Preliminares				■				
Pruebas en planta					■			
Elaboración de Diseño definitivo					■	■	■	
Pruebas finales							■	
Implementación en planta								■
Presentación								■

TABLA 11. Actividades. (Elaboración propia)

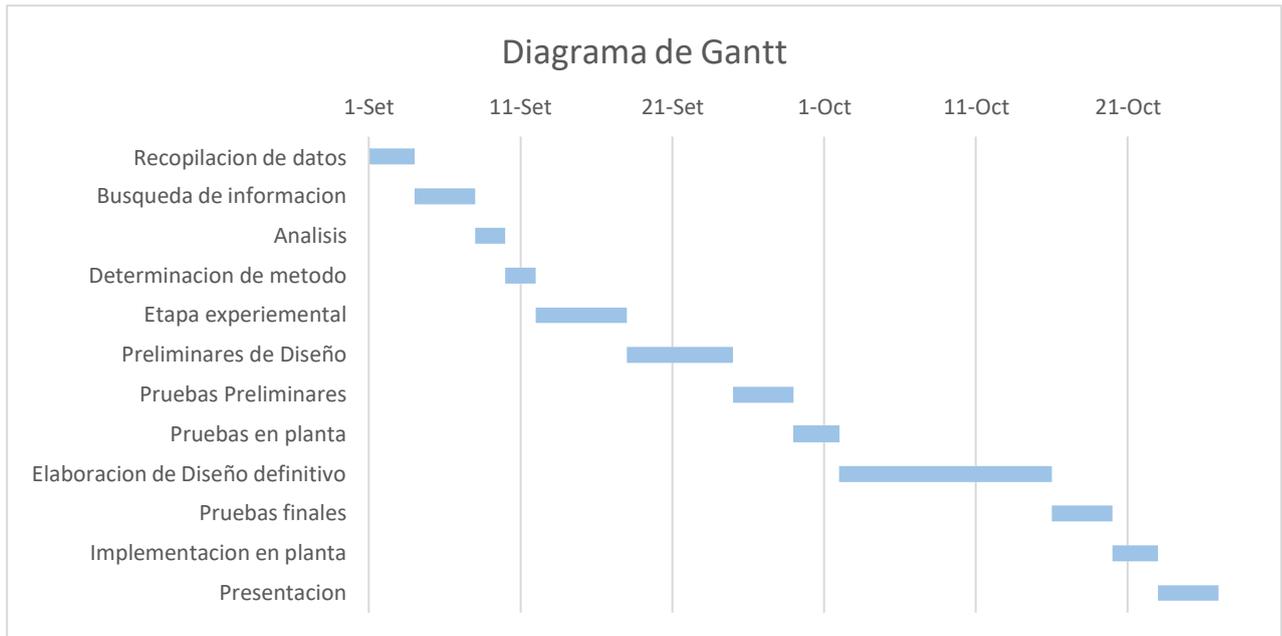


FIGURA 12. Diagrama de Gantt. (Elaboración propia)

### 3.2. EJECUCION DEL PROYECTO

Se realizó la visita a la planta para ver el funcionamiento de una máquina rebobinadora de papel, la cual convierte una bobina de papel de 1.2 metros y aproximadamente 600 Kg.

Esta máquina tiene un motor de corriente continua de 12 Hp. el cual posee un rotor bobinado, un colector con dos portas escobillas, un voltaje de operación de 500 Vcc y también tiene un bobinado de estator de 90 Vcc.

La máquina contaba con un control de velocidad de tipo monofásico, este presentaba una pequeña tarjeta electrónica para la variación de la velocidad del motor de corriente continua. El operario indicaba que no podía trabajar correctamente debido a que, al variar la velocidad del motor, esta era muy inestable lo cual perjudicaba la tensión constante del papel, ocasionando que se rompiera y se deteriorara.

Con la información obtenida de la máquina y el motor, se analizó que lo más conveniente era hacer un control que pudiera variar el voltaje en el rotor desde 0 hasta el voltaje máximo de 500 voltios CC.

De esta forma se cumplía con los principales requerimientos del cliente que eran desarrollar un proyecto de inversión con el menor presupuesto y en el menor tiempo posible.

Dentro del criterio para la selección de los materiales para la ejecución del proyecto, se consideraron componentes con una resistividad de corriente con un 50% adicional a la corriente máxima generada por la operación del motor.

Se consideraron que los componentes de la ejecución sean de calidad, tomando en cuenta las limitaciones económicas indicadas por el cliente, para lo cual algunos componentes fueron adquiridos de tiendas electrónicas especializadas y algunos componentes comunes se adquirieron de establecimientos del mercado de electrónica actual.

Según el análisis Costo – Beneficio presentado al cliente, se definió desarrollar un control de velocidad por voltaje de armadura, tomando en consideración las mejoras del proyecto ya que el antiguo control presentaba muchos problemas para el cliente.

Se diseñaron sistemas de protección al diseño de como el circuito de inhibición para un arranque lento en un inicio del proceso cuando el selector de velocidad no parta del 0%, el circuito de límite de corriente, el circuito de voltaje máximo y mínimo y un circuito de detección de inversión de fase, para evitar que el proceso arranque con una configuración errónea a la establecida.

Para el diseño de la parte de potencia se utilizaron Tiristores y Diodos en configuración trifásica de media onda. El voltaje se varia controlando el ángulo de disparo de los tiristores en cada ciclo de la onda trifásica. La línea de alimentación en la planta es de 440 Vac trifásica.

Para la parte del control se diseñó una tarjeta electrónica que generaría los pulsos de disparo de los tiristores, sincronizados con la línea de alimentación, el pulso de disparo para los tiristores se realizó con tres transformadores de pulso para aislar el circuito de control de la parte de potencia.

La selección de la velocidad para el motor de corriente continua, se realizó por medio de un potenciómetro que produce una variación de 0 a 100%, según la necesidad del operario

Este potenciómetro va acoplado a la tarjeta electrónica principal la cual tiene dos amplificadores operacionales con filtros de condensadores para estabilizar mejor la velocidad y mantener la velocidad constante, tres circuitos de sincronismo y generación de pulsos de disparo para los tiristores, un circuito de detección de secuencia de fases el cual inhibe el funcionamiento del control cuando la fase esta invertida. También tiene un circuito de censado para limitar la corriente y así proteger el control.

Se envió a construir el transformador para el circuito de alimentación del estator de 90 v, según lo que indica los datos del motor de corriente continua, y adicional a esto, los transformadores para la fuente de alimentación, cuya salida ingresa al sistema de control.

Se implementó el sistema de control en una tarjeta de fibra de vidrio, a doble cara para reducir el tamaño de la misma debido al espacio.

Se colocaron disipadores de calor para los tiristores y los diodos de potencia. Todo se montó en un gabinete metálico con interruptor general y borneras de conexiones.

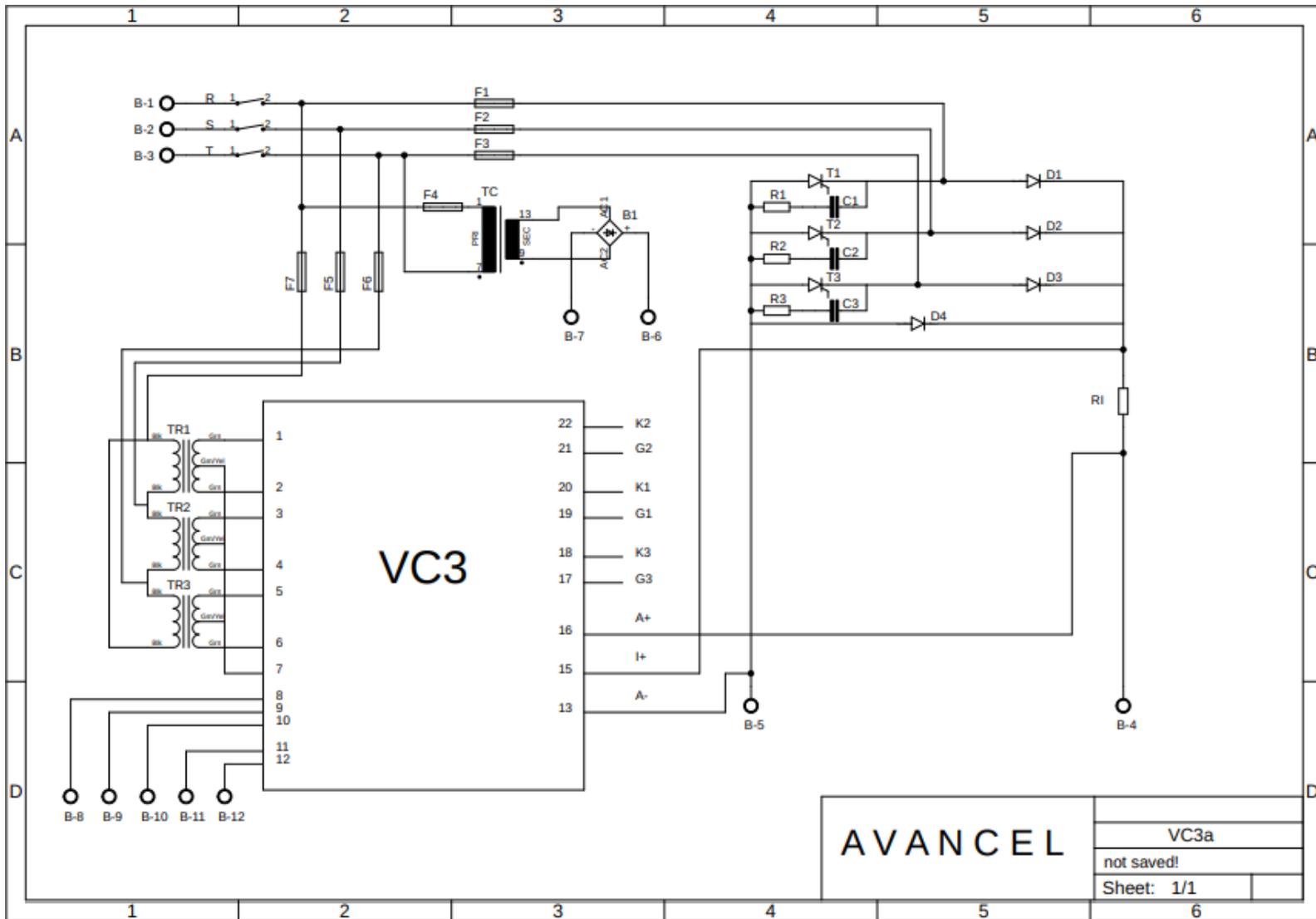


FIGURA 13. Diseño del panel de Control. (Elaboración propia)



FIGURA 14. Panel de control. (Elaboración propia)

El sistema de control de velocidad desarrollado tiene dos partes fundamentales:

### 3.2.1. Etapa de Potencia

Esta etapa se compone de 3 Tiristores y 4 diodos montados en dos disipadores de calor de aluminio conectados en configuración trifásica de media onda, se compone también de 3 porta fusibles tipo Dz y fusibles de alta velocidad de 35 amperios para protección de los tiristores en caso de cortocircuito.

Porta fusibles de 30 mm y fusibles de 0.5 amperios para los transformadores de la fuente de alimentación. También se colocó un transformador de 440Vac / 115Vac para la alimentación del campo del motor, el voltaje de salida es rectificado con un puente rectificador, también tiene un porta fusible y fusible de 5 amperios para protección.

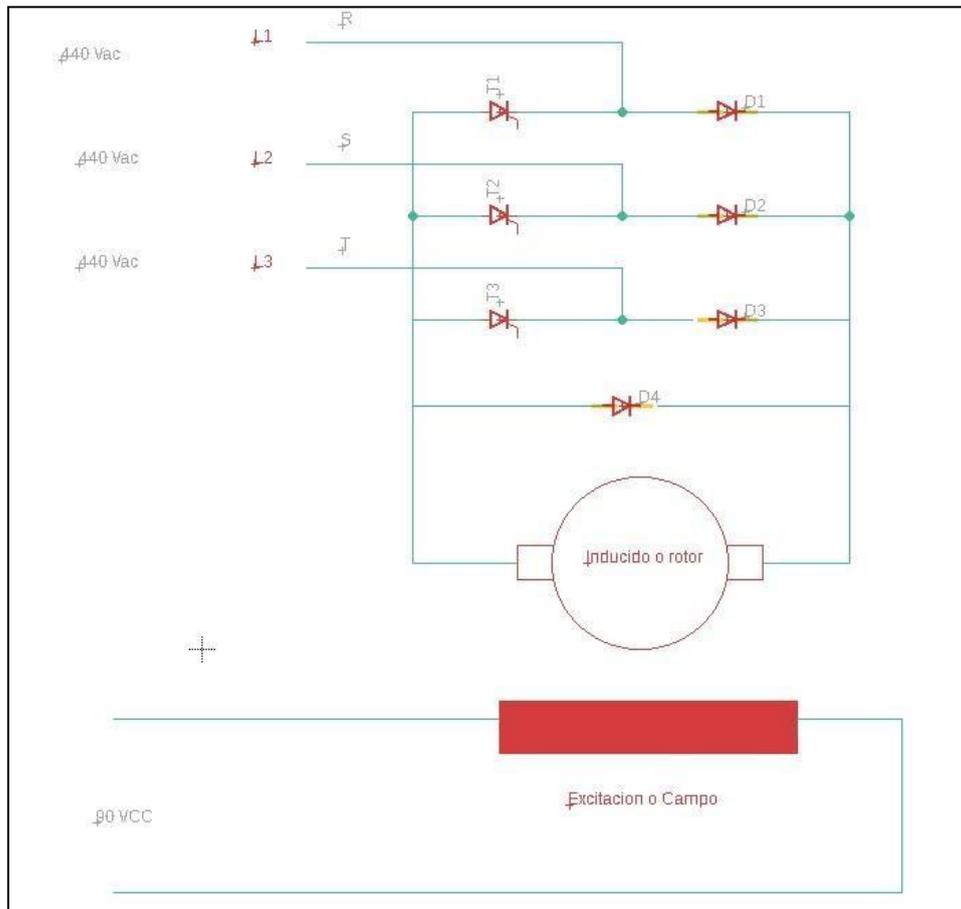


FIGURA 15. Configuración de tiristores. (Elaboración propia)

En esta etapa se incluye la resistencia de censado de la corriente del motor, un interruptor general, una bornera de conexiones y un indicador luminoso que indica que el control esta encendido.

### 3.2.2. Etapa de Control

En esta etapa es donde ingresa el voltaje de referencia y que va servir para fijar la velocidad del motor, es accesible al operador por medio de un potenciómetro analógico o digital.

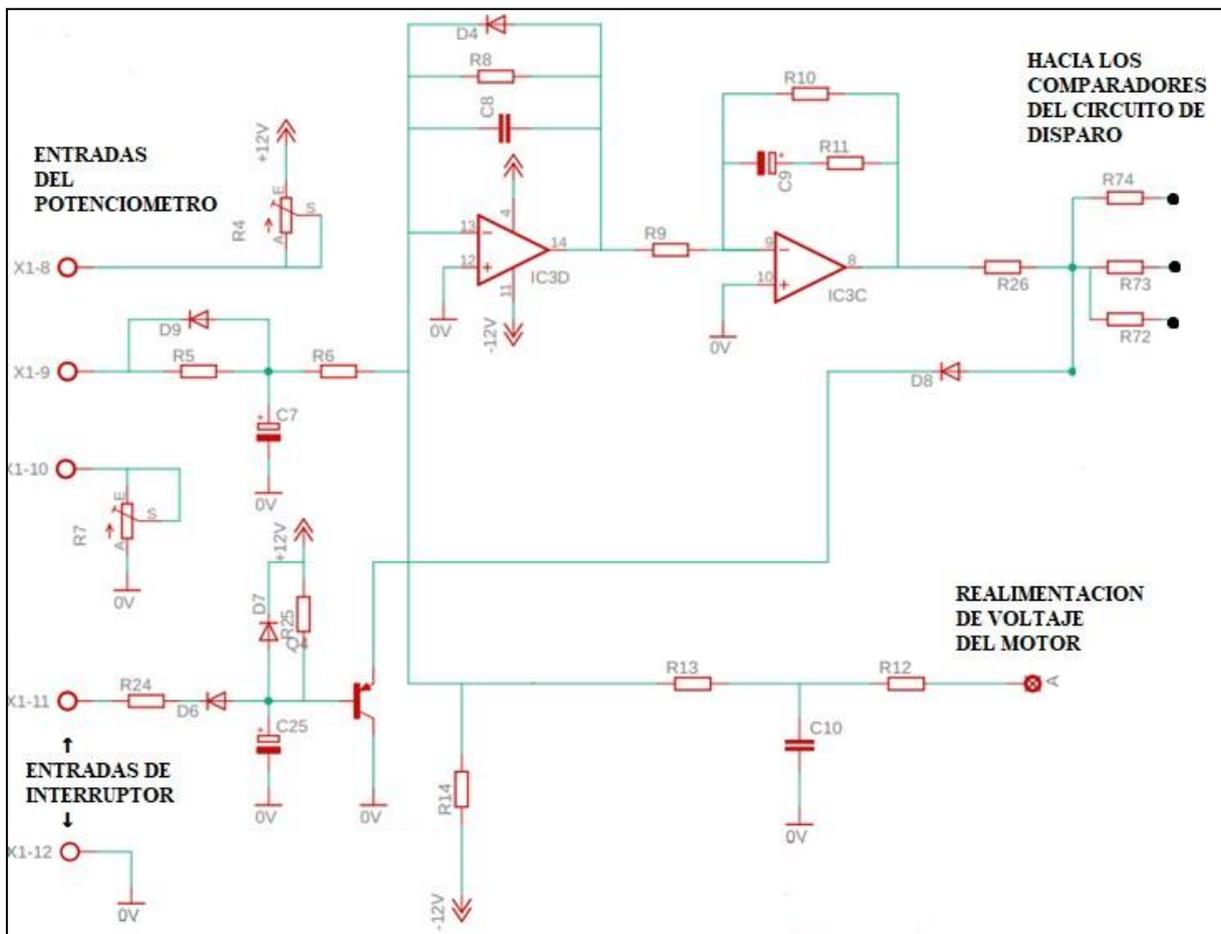


FIGURA 16. Circuito de Control. (Elaboración propia)

Este voltaje de referencia es comparado con el voltaje de salida al motor en el amplificador operacional IC3D y luego se invierte en el amplificador IC3C. Estos dos amplificadores están en la configuración amplificador-integrador para conseguir la estabilidad del sistema.

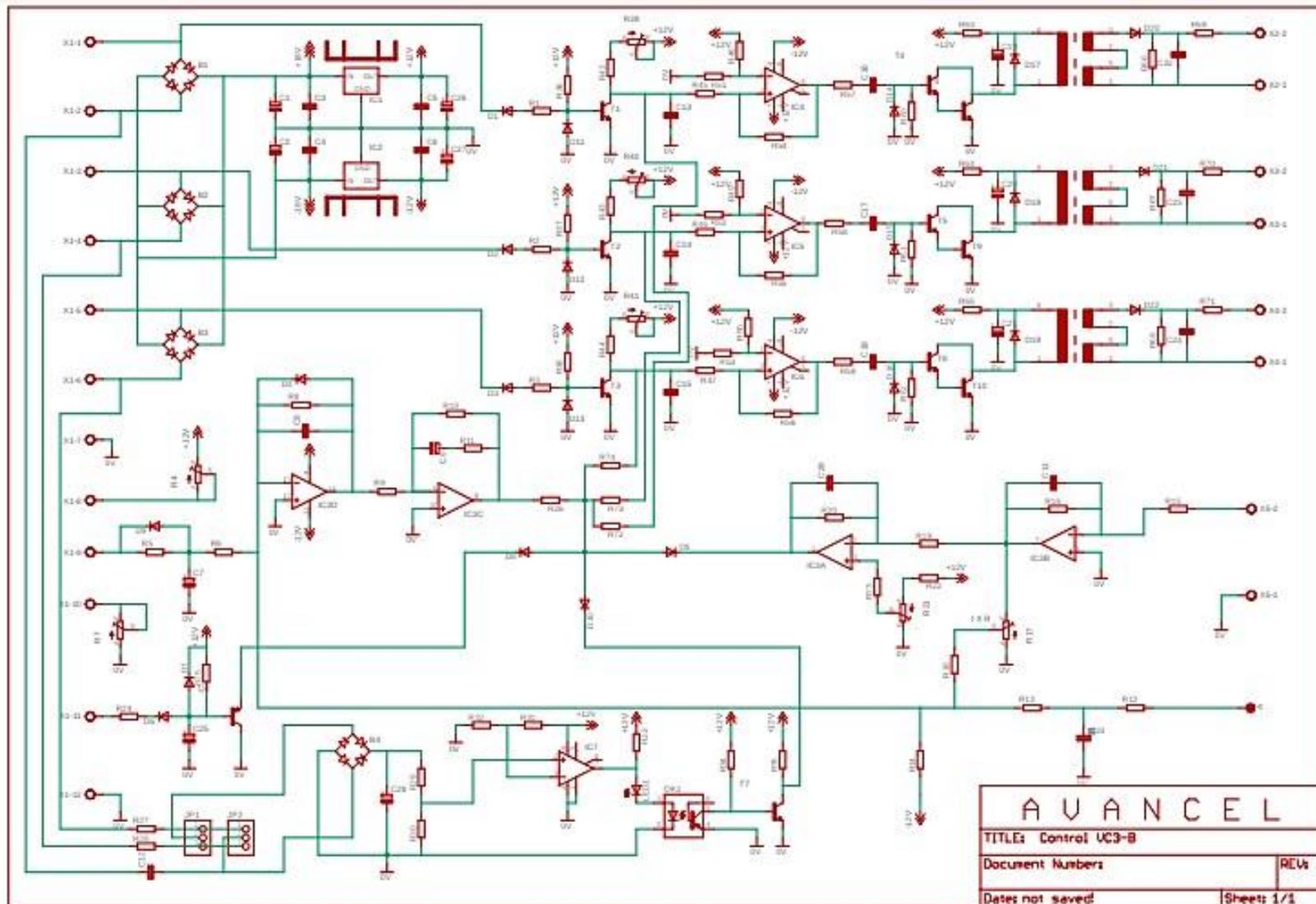


FIGURA 17. Diseño de tarjeta de control. (Elaboración propia)

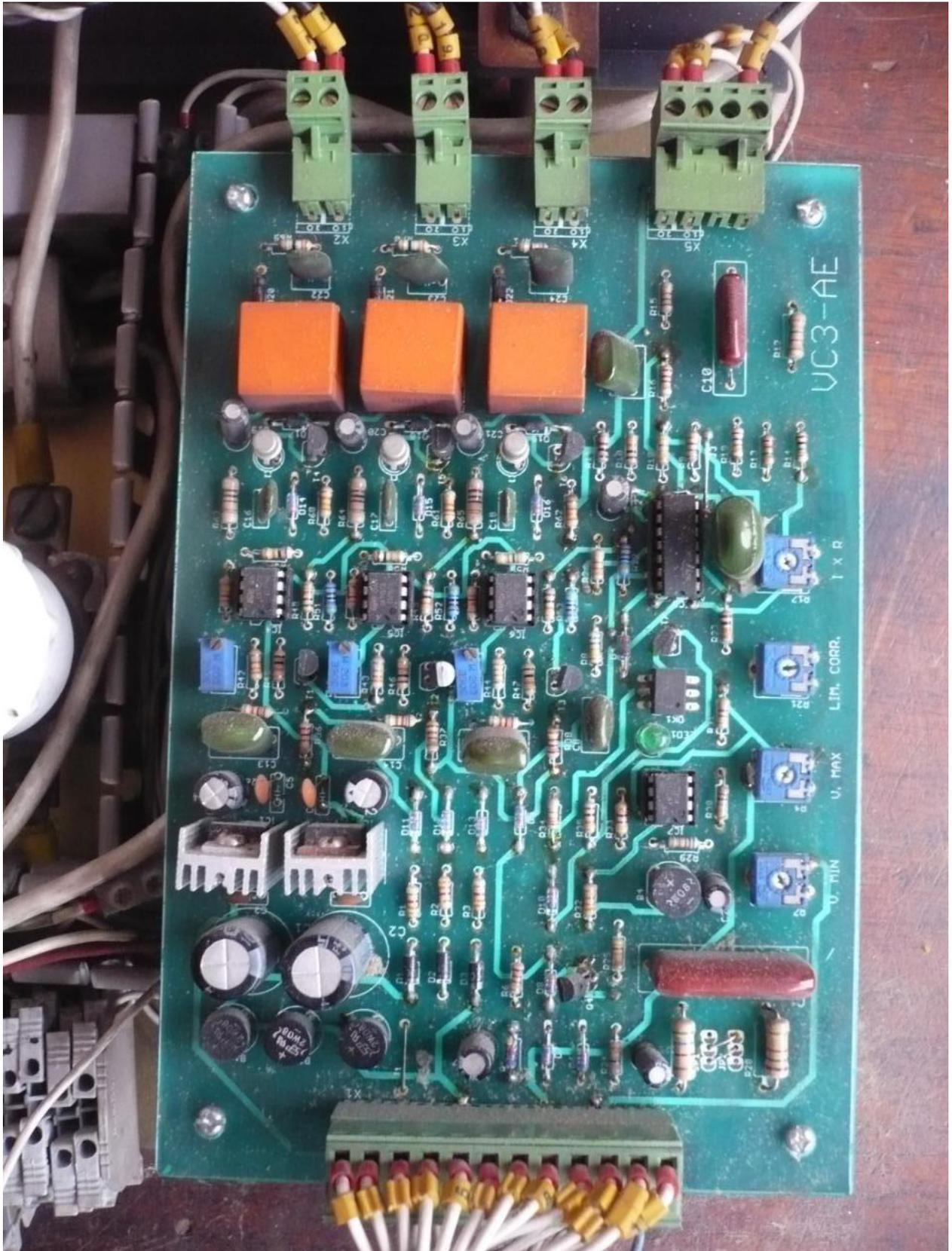


FIGURA 18. Tarjeta electrónica de control. (Elaboración propia)

Esta etapa tiene una realimentación de la corriente continua que llega al motor. Esto se consigue con una resistencia de bajo valor colocada en serie con el inducido del motor.

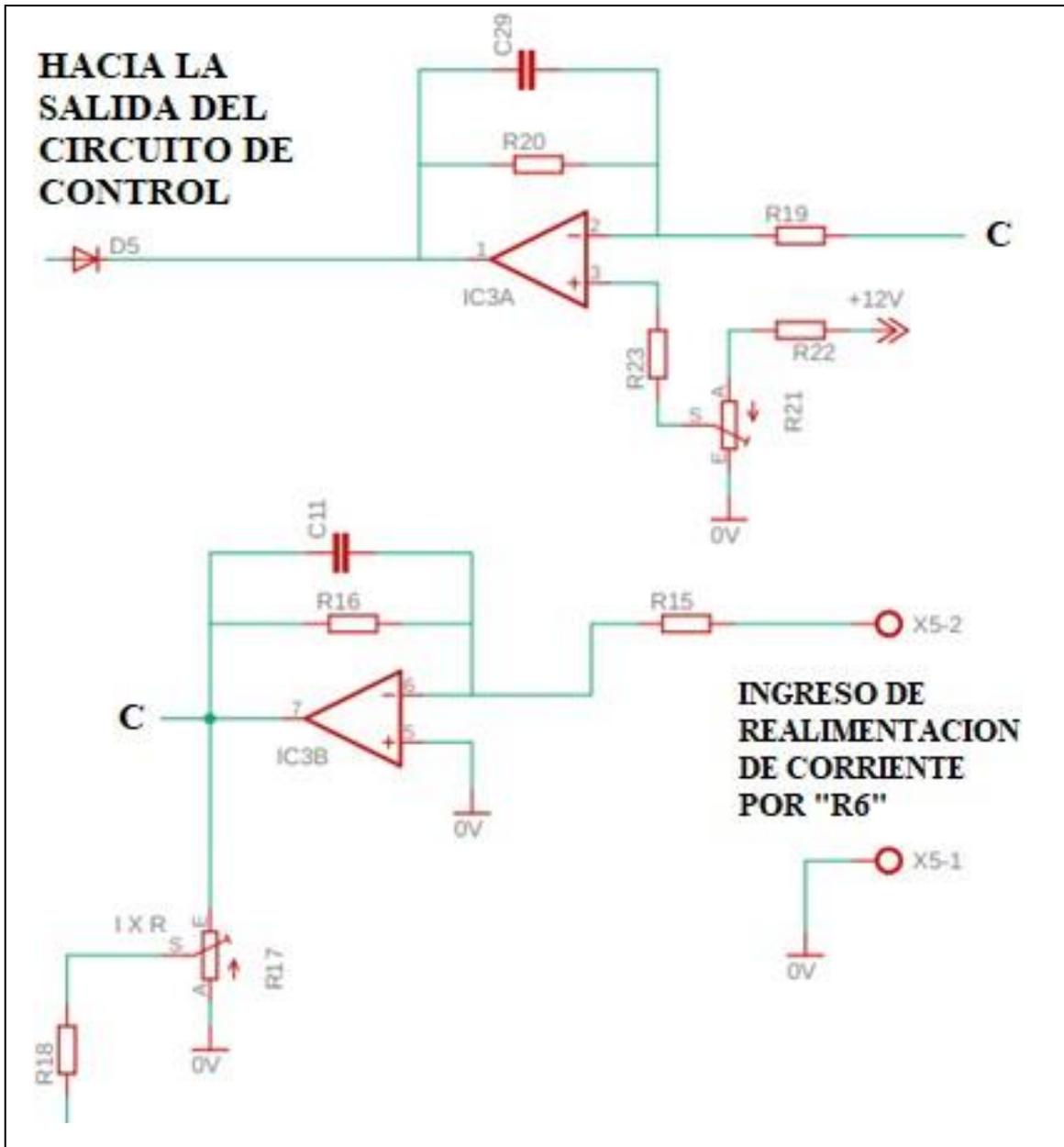


FIGURA 19. Circuito de realimentación de corriente. (Elaboración propia)

Esta tensión es amplificada por el amplificador IC3B cuya salida se puede utilizar para compensar la velocidad del motor en caso de un incremento de la carga y por consiguiente de la corriente.

Esta compensación se hace a través del trimpot R17 ( $I \times R$ ).

La salida de IC3B va al amplificador IC3A y es comparada con el voltaje en el trimpot R21, el voltaje de salida de IC3A está conectado al voltaje de salida de IC3C a través del diodo D5 y eso nos permite limitar la corriente máxima en el motor.

Se dispuso de un interruptor, accesible al operador, para iniciar el arranque del motor en forma lenta hasta llegar al valor fijado por el potenciómetro de referencia.

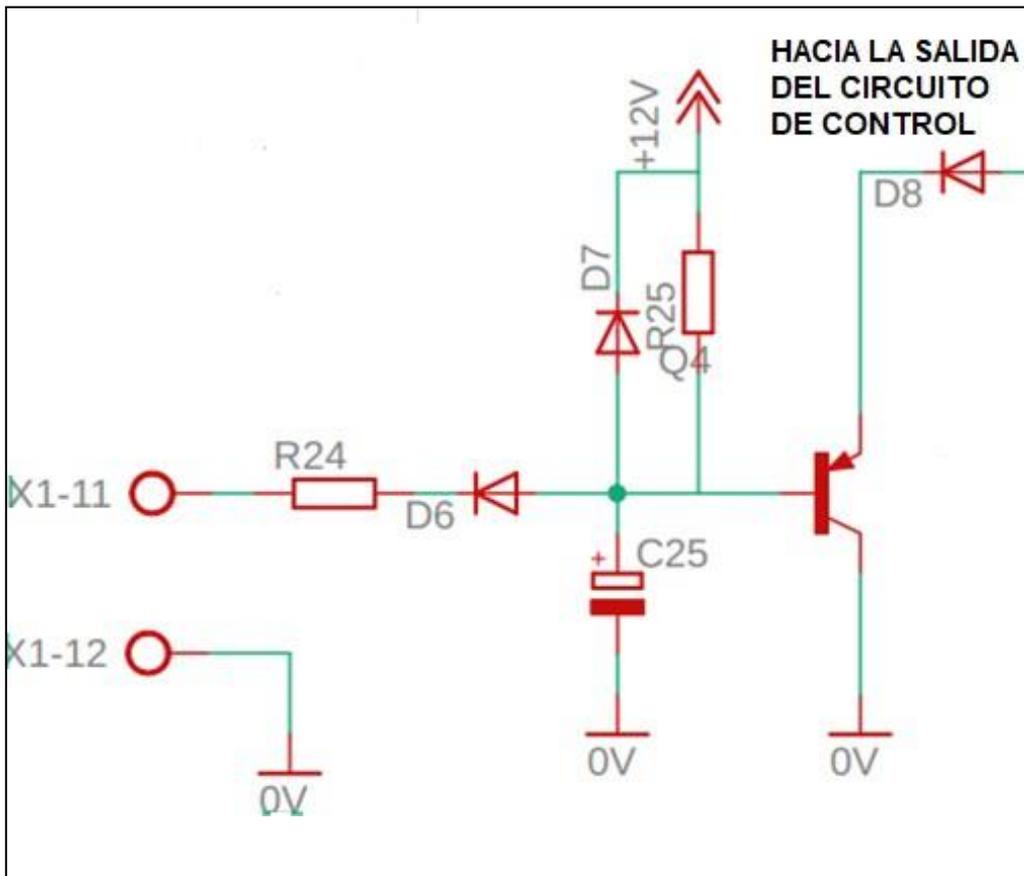


FIGURA 20. Circuito de interruptor del control. (Elaboración propia)

Esto se consigue con la resistencia R25 la cual carga al condensador C25, el voltaje varía desde cero, cuando el interruptor está cerrado, y sube lentamente hasta los 12 voltios de la tensión de fuente, el transistor Q4 está en configuración seguidor emisor y permite que el voltaje de salida de IC3C alcance su valor cuando el voltaje en el ánodo del diodo D8 supere dicho valor.

También se diseñó un circuito para detectar la secuencia de fases de la línea trifásica. el control debe ser conectado con una secuencia de fases determinada, de lo contrario el voltaje de salida sería inestable.

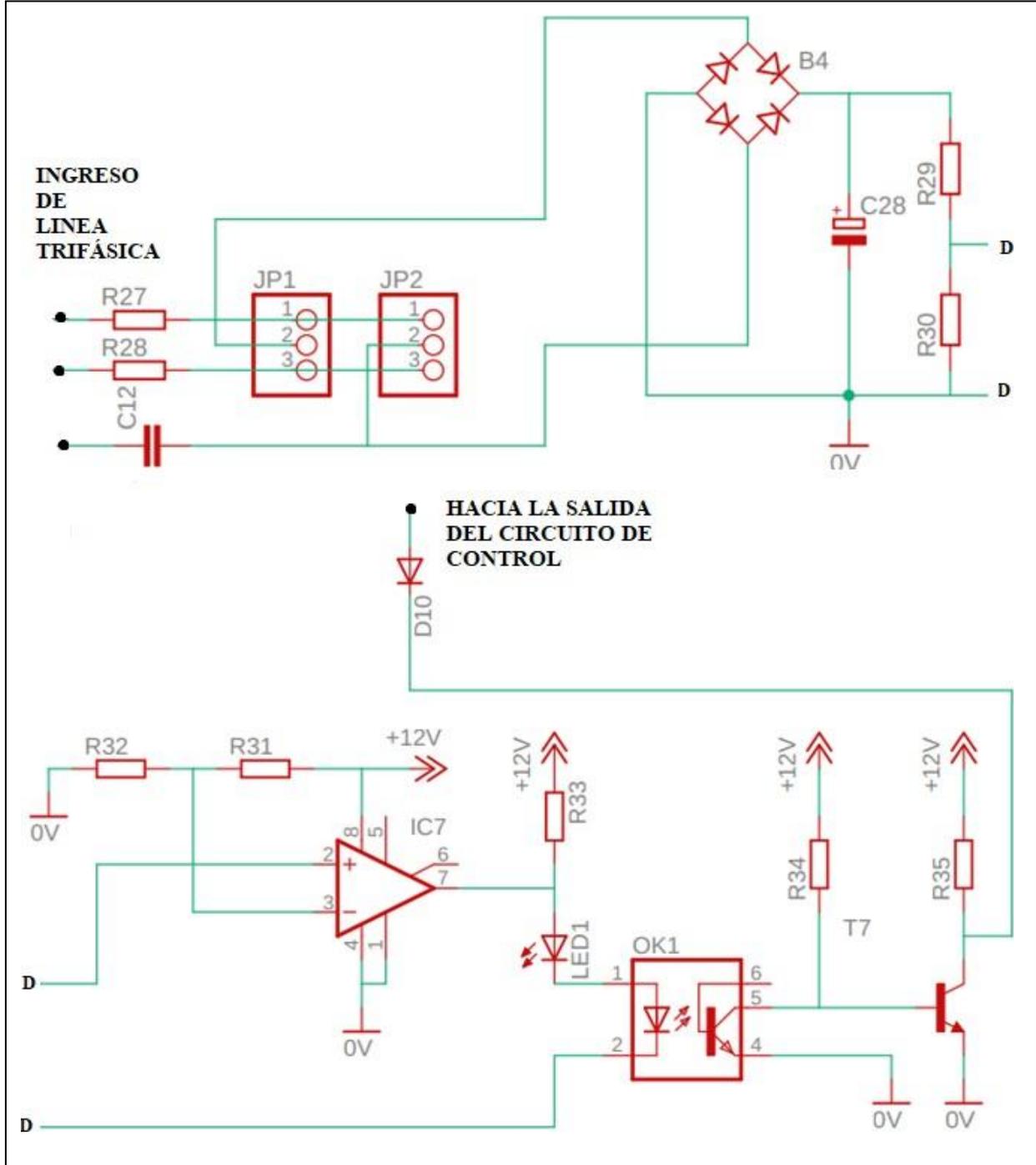


FIGURA 21. Circuito detector de inversión de fase. (Elaboración propia)



Se toma la tensión de los transformadores de la fuente de alimentación la cual es convertida en onda cuadrada con los transistores T1, T2 y T3, esto nos permite generar una onda diente de sierra con la carga y descarga de los condensadores C13, C14 y C15.

Estas señales son comparadas con la tensión de control del amplificador IC3C (salida del circuito de control con potenciómetro) en los amplificadores operacionales IC4, IC5 e IC6, la salida es una onda cuadrada modulada en ancho de pulso, esta señal es convertida en un pulso con los condensadores C16, C17 y C18 y los transistores T4, T5, T6, T8, T9 y T10.

Los transistores están conectados al primario de los transformadores de pulso, los secundarios van conectados a las compuertas de los tiristores.

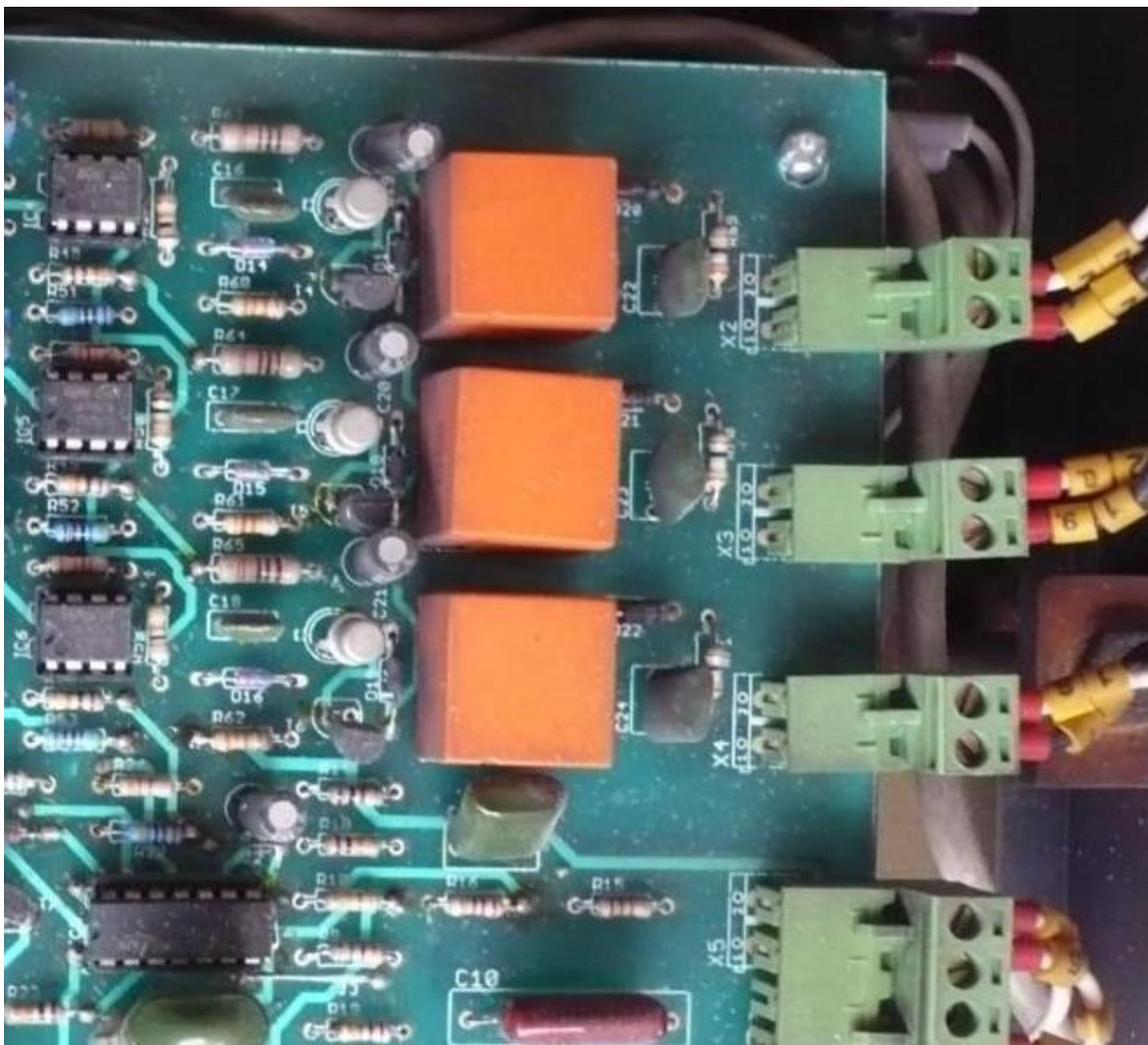


FIGURA 23. Transformadores de pulso y salidas a las compuertas de los tiristores.

(Elaboración propia)

En esta etapa de control de la tarjeta electrónica se ubica la fuente de alimentación y los reguladores para mantener el voltaje estable.

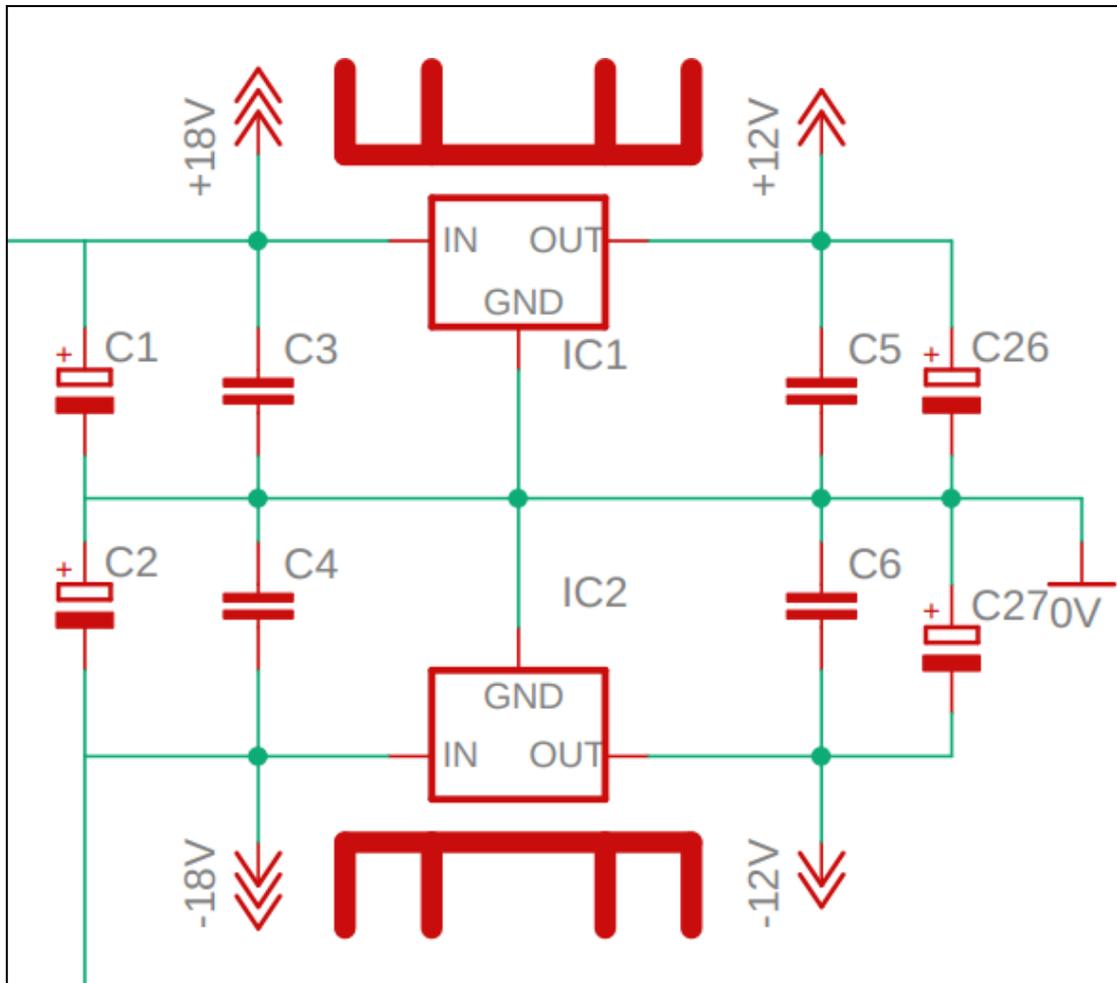


FIGURA 24. Fuente de alimentación de la tarjeta de control. (Elaboración propia)

En la etapa de potencia se aprecia los transformadores TR1, TR2 y TR3, los tres con conversión de 460v a 18v, el voltaje ingresa a un puente rectificador e ingresa a los reguladores positivo y negativo IC1 e IC2, respectivamente.

Así se obtiene la alimentación de 12 voltios en corriente continua que va a los comparadores, tanto voltaje positivo como negativo.

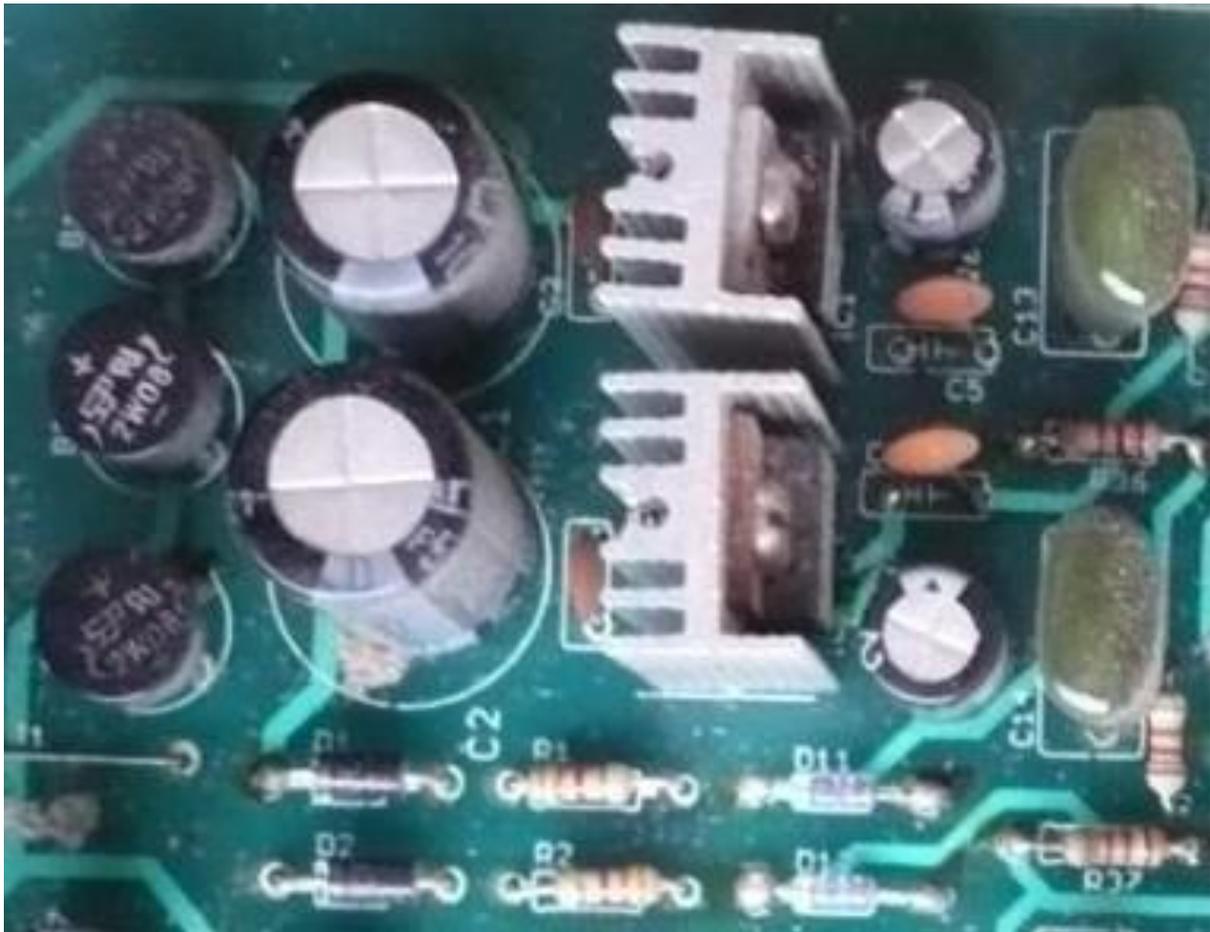


FIGURA 25. Regulador de voltaje positivo y negativo de la fuente de alimentación.

(Elaboración propia)

- Consideraciones de Protección Eléctricas y Electrónicas:

Según el análisis del diseño, se tomaron las siguientes consideraciones para proteger el sistema:

- En el ingreso de energía a la etapa de potencia de los tiristores, se colocaron tres fusibles de alta velocidad de reacción, uno por cada línea de la alimentación trifásica, esto protegerá el sistema de cualquier aumento de energía o cortocircuito que se pueda presentar en la planta.
- En el ingreso de energía a la etapa de control de los transformadores, se coloraron tres fusibles, uno por cada línea de alimentación trifásica, esto protegerá el ingreso de energía a la tarjeta de control.

- Los componentes seleccionados en el diseño, se consideraron con un mínimo del 50% adicional de resistividad de corriente de operación, teniendo como parámetro la corriente máxima del motor de corriente continua, esto para evitar que se dañe algún componente.
- Para las conexiones del cableado, se consideró colocar terminales conductores, para evitar falsos contactos en los conexionados del cable.
- Dentro del sistema de control se consideraron algunos sistemas de protección para limitar el voltaje máximo que ingresa a la tarjeta de control, limitar la corriente máxima para no tener sobre cargas en la tarjeta de control y un sistema de detección de fases para la alimentación trifásica, de esta forma el panel no entra en operación si por error se realizan malas conexiones en la alimentación trifásica, hasta que se ubique en la fase correcta.
- Se consideró un sistema de inhibición, con un interruptor de apagado en el panel, esto permite que el arranque de la operación en cualquier momento, sea pausado y no un inicio brusco de voltaje, lo cual protege a la tarjeta de control y protege que la velocidad se mantenga constante en el rebobinado del papel.
- La planta no cuenta con un sistema de respaldo de energía, para lo cual se sugirió al cliente adquirir un sistema de grupos electrógenos, con la finalidad de no perder todos los procesos ante una posible caída del fluido eléctrico por la empresa contratada para su energía eléctrica.

### **3.3. IMPLEMENTACION Y PRUEBAS**

El montaje del sistema de control se ejecutó en un panel donde se ubica las etapas de potencia y control.

Este panel presenta borneras externas para las conexiones respectivas de la máquina, el motor, la alimentación trifásica, el interruptor de encendido y apagado, el potenciómetro para variar el voltaje.

Las pruebas iniciales se realizaron en el laboratorio con un motor más pequeño que el de la máquina, pero utilizando la misma potencia de alimentación.

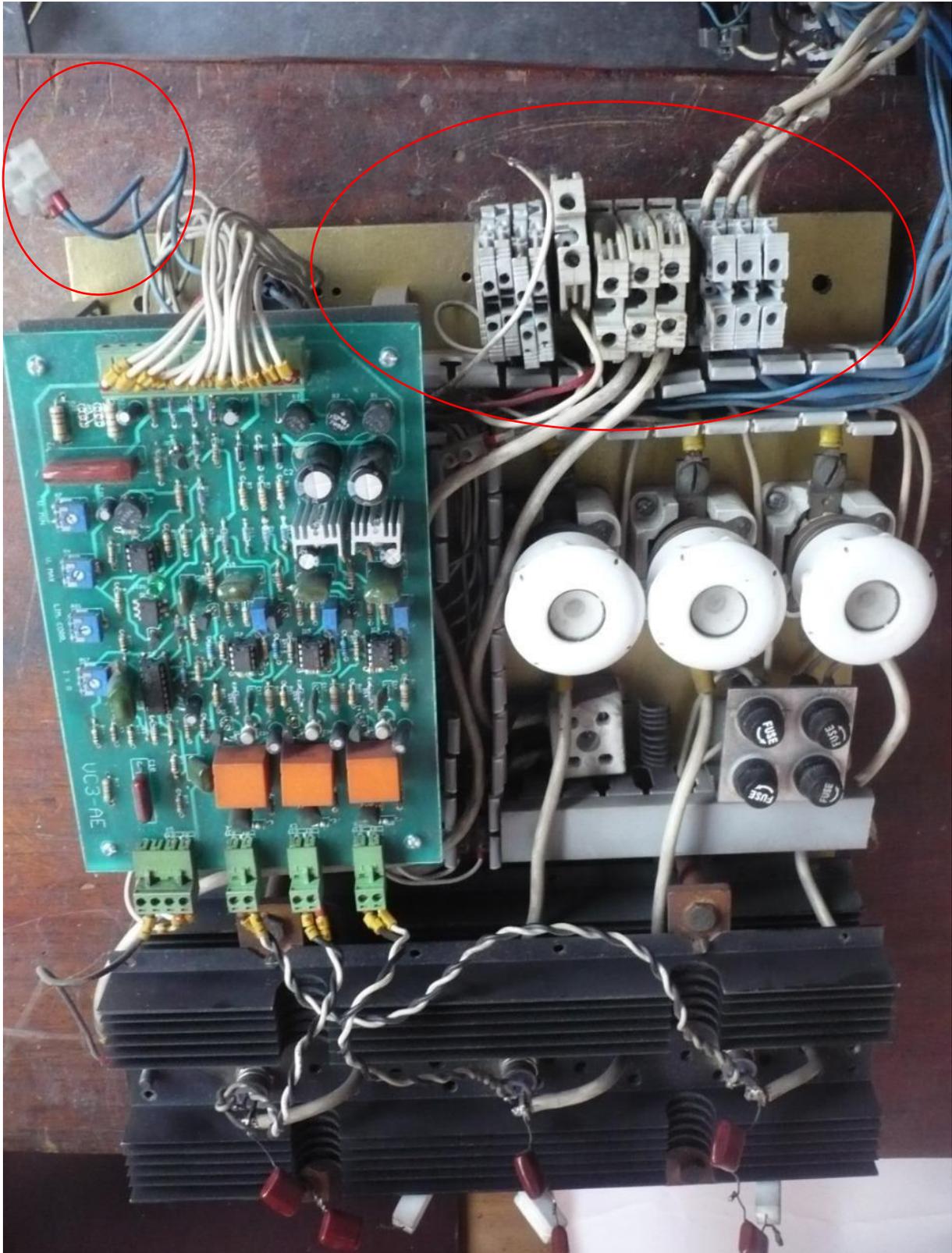


FIGURA 26. Salidas y entradas del panel del sistema de control. (Elaboración propia)

Para la tarjeta electrónica de control se implementó los componentes en un circuito impreso de doble cara, debido a que el tamaño debía ser el mismo al anterior control que estuvo en el panel.

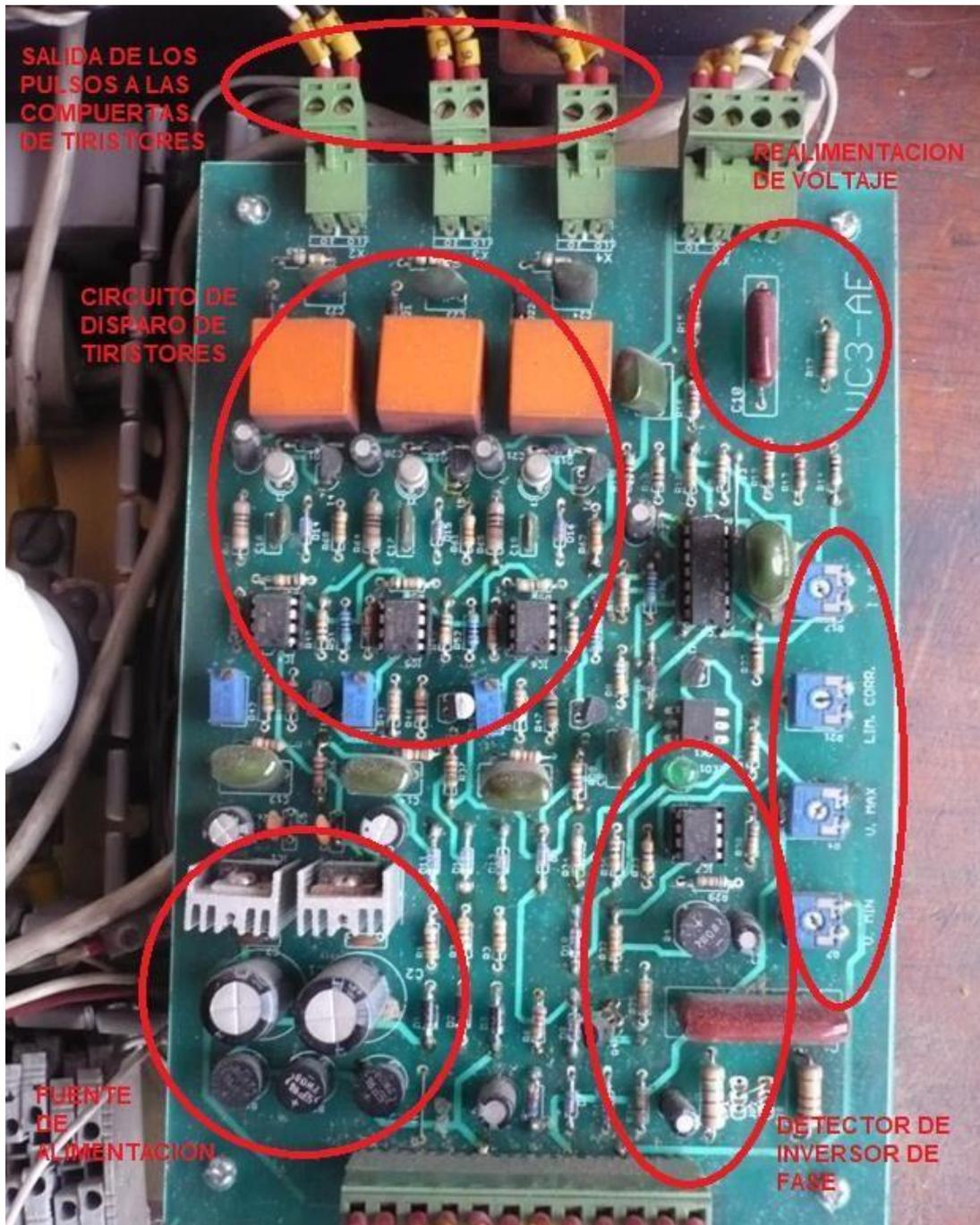


FIGURA 27. Salidas y entradas de la tarjeta de Control. (Elaboración propia)

- Pruebas de variación de voltaje:

Las pruebas iniciales se realizaron conectando el multímetro a la armadura del motor y elevando el potenciómetro del circuito de control para evidenciar la variación de voltaje.



FIGURA 28. Prueba de voltaje en laboratorio con motor de 1HP, 1%. (Elaboración propia)



FIGURA 29. Prueba de voltaje en laboratorio con motor de 1HP, 8%. (Elaboración propia)



FIGURA 30. Prueba de voltaje en laboratorio con motor de 1HP, 17%. (Elaboración propia)



FIGURA 31. Prueba de voltaje en laboratorio con motor de 1HP, 39%. (Elaboración propia)



FIGURA 32. Prueba de voltaje en laboratorio con motor de 1HP, 70%. (Elaboración propia)

- Pruebas con Osciloscopio:

Se midió la salida de los tiristores que van al motor con el osciloscopio, para evidenciar los pulsos de salida que van al motor.

El aumento de los pulsos hace que aumente el voltaje del motor y por consecuencia la velocidad.

Asimismo, se evidencia el ángulo de disparo generado por los tiristores, esto es previamente calibrado en planta de tal manera que los tres circuitos de disparo de los tiristores tengan el mismo ángulo.

Como se muestra en el osciloscopio el voltaje se mantiene estable en consecuencia también estabiliza la velocidad.

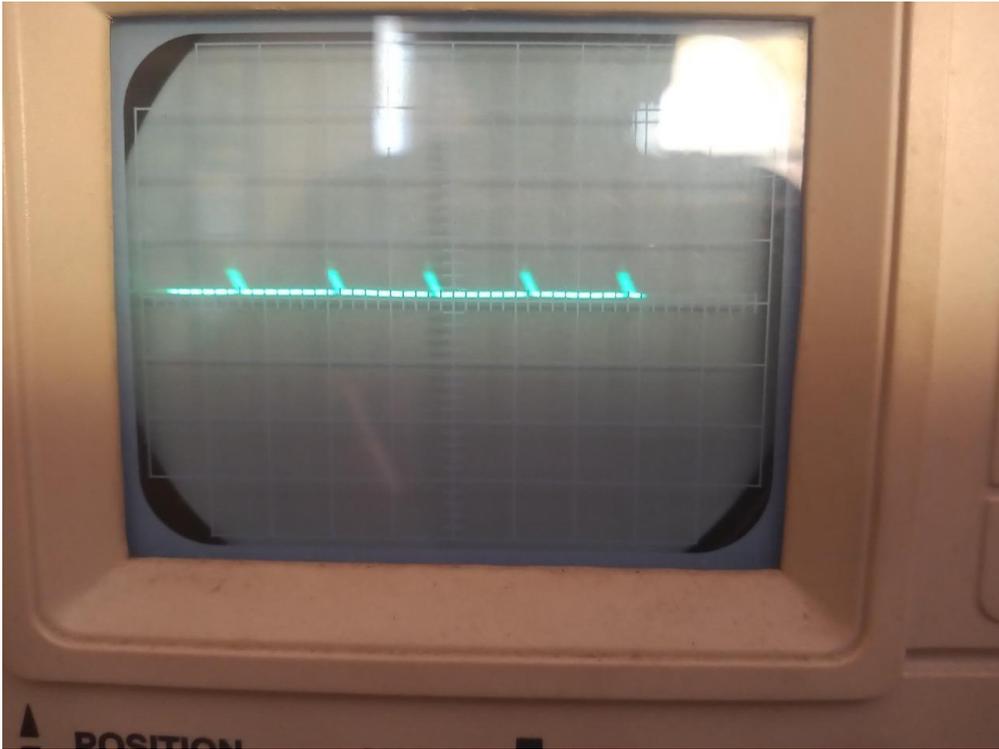


FIGURA 33. Prueba de pulsos de salida de tiristores en laboratorio con motor de 1HP, 10%.

(Elaboración propia)

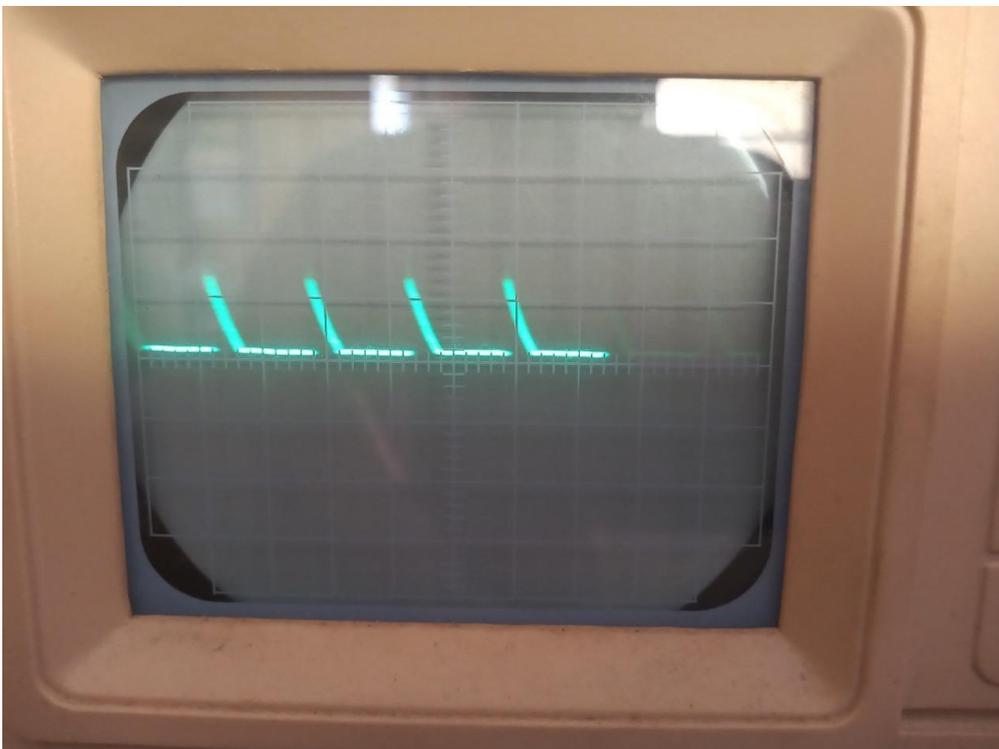


FIGURA 34. Prueba de pulsos de salida de tiristores en laboratorio con motor de 1HP, 30%.

(Elaboración propia)

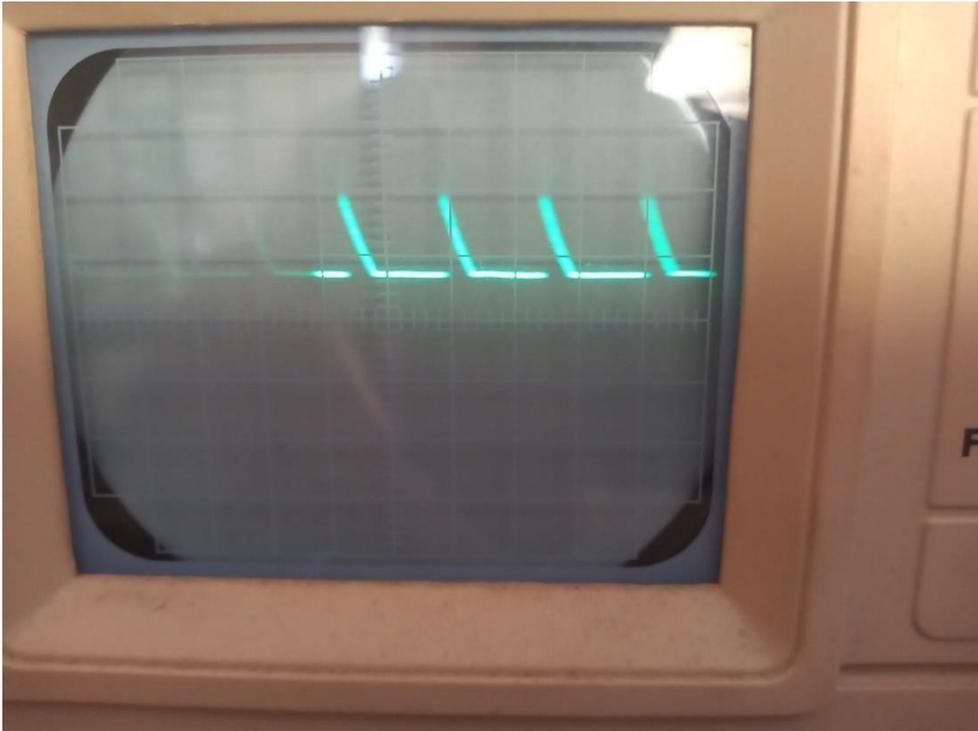


FIGURA 35. Prueba de pulsos de salida de tiristores en laboratorio con motor de 1HP, 50%.

(Elaboración propia)

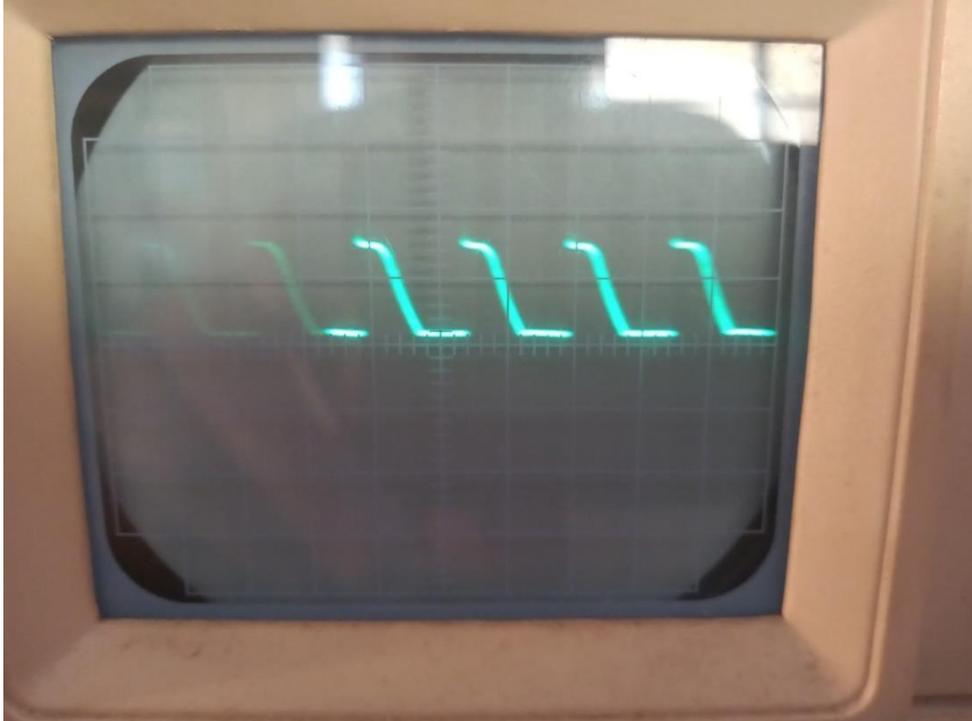


FIGURA 36. Prueba de pulsos de salida de tiristores en laboratorio con motor de 1HP, 70%.

(Elaboración propia)

### 3.4. CIERRE DE PROYECTO

Con las pruebas realizadas en planta (la empresa no permitía tomar fotos dentro de la planta), se mostró al equipo de mantenimiento y control el funcionamiento del sistema de control.

Se colocó la bobina de papel más pesada y se trabajó en un rango de pruebas de 24 horas.

Pasado este tiempo y con la aceptación del cliente, se dispuso a entregar la factura correspondiente.

<p><b>AVANCEL S. R. L.</b>          AVANCE ELECTRÓNICO          Calle Mater N° 242 - San Borja          Telf: 476-1559</p>		<p><b>RUC. 20431596742</b></p> <p><b>FACTURA</b></p> <p><b>001 N° 001029</b></p>		
<p>Sr.(es): _____          Dirección: Carretera Central Km. 18.5 Lima 8          R.U.C. N° _____          Ref.: P-248, Q/C: 21599, Sr. Marco Vasquez</p>		<p>FECHA: DÍA: 13 MES: 05 AÑO: _____          GUIA DE REMISION: 515</p>		
ITEM	CANT.	DESCRIPCIÓN	V. UNITARIO	VALOR DE VENTA
		Diseño y fabricación de una tarjeta electrónica para el control de velocidad de su rebobinadora GOEBEL. Suministro y reemplazo de tiristores. Pruebas en planta.		
Saldo a pagar.				S/.
Son:		RECIBIDO Fecha: 13-5 Hora: _____ Firma: _____		
Cond. de Pago: Al contado a presentación de factura		Sub-Total	S/.	
MILLÉNIO S.A.S. RUC: 202378628 Telf: 472-3234 AV. N° 342747002 001 - 001001 M/001100 FECHA IMP: 01-02-2012		I.G.V. 18% %	S/.	
Banco: Interbank Cheque N° _____		<b>TOTAL</b>	S/.	
		Lima 24 de Mayo de _____ p. AVANCEL S.R.L.		EMISOR

COPIA SIN DERECHO A CREDITO FISCAL DEL I.G.V.

FIGURA 37: FACTURA. (Elaboración propia). (NO SE OBTUVO EL PERMISO PARA MOSTRAR EL CONTENIDO MONETARIO, LA FECHA Y EL NOMBRE DEL CLIENTE)

## CAPITULO 4

### 4. RESULTADOS

En el presente capítulo, se mostrarán y revisarán los resultados obtenidos con el Diseño e Implementación de un control de Velocidad para un motor de corriente continua de 12 HP de una maquina rebobinadora de papel.

#### **4.1. RESULTADOS DEL PROYECTO**

Como se muestra en parte del capítulo 3, las prueba realizadas en laboratorio y en planta demuestran la estabilidad de la velocidad del rotor, lo cual mantiene una tensión constante en la bobina del papel y permite que este tenga un producto final optimo



FIGURA 38. Prueba en laboratorio de tarjeta electrónica de control. (Elaboración propia)

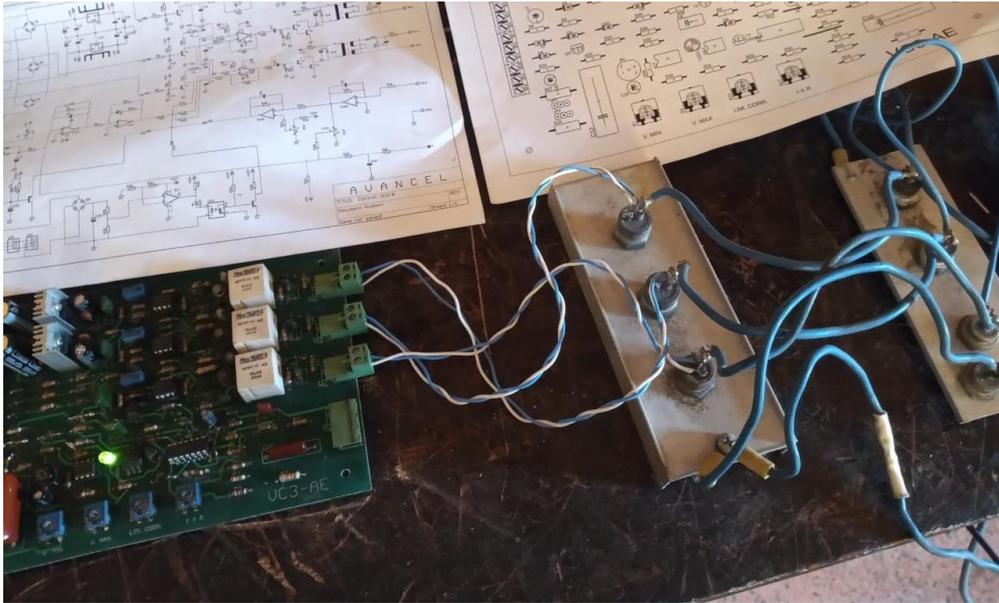


FIGURA 39. Prueba en laboratorio de configuración de tiristores. (Elaboración propia)

El tiempo de respuesta del proyecto del selector de Voltaje vs. El tiempo en segundos en alcanzar su velocidad constante es proporcional.

El tiempo de respuesta al 100% del selector de voltaje es de 10 segundos, al 50% del voltaje es de 5 segundos, al 25% del voltaje es de 2.5 segundos y así directamente proporcional.

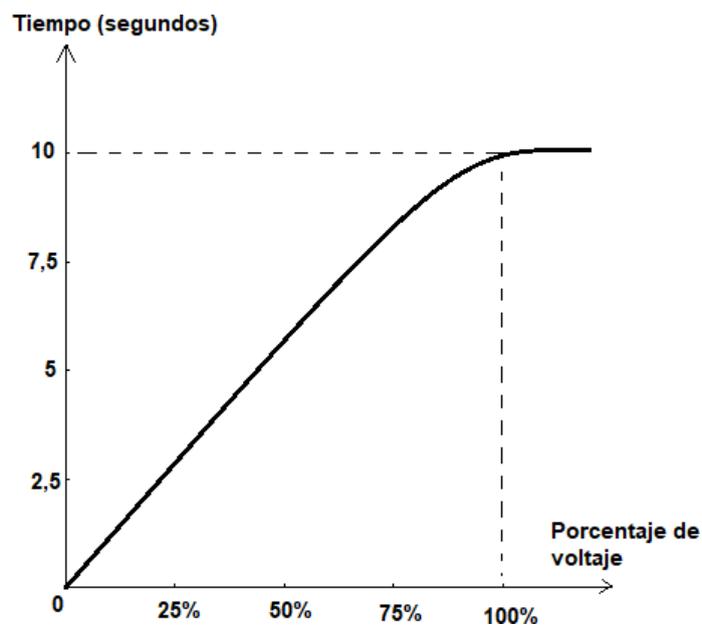


FIGURA 40. Tiempo de respuesta del porcentaje de velocidad. (Elaboración propia)

- Parámetros obtenidos en Planta:

En las pruebas en Planta, se tomaron los datos del voltaje del motor aumentando el porcentaje de velocidad.

Para las pruebas se calibró el voltaje máximo en un 80%. Según los resultados obtenidos en la máxima capacidad, se obtuvieron rangos variables en un +-3% del voltaje teórico estable.

En el análisis se consideró un +-5% de rango, lo cual es un parámetro suficiente para mantener la estabilidad de la velocidad.

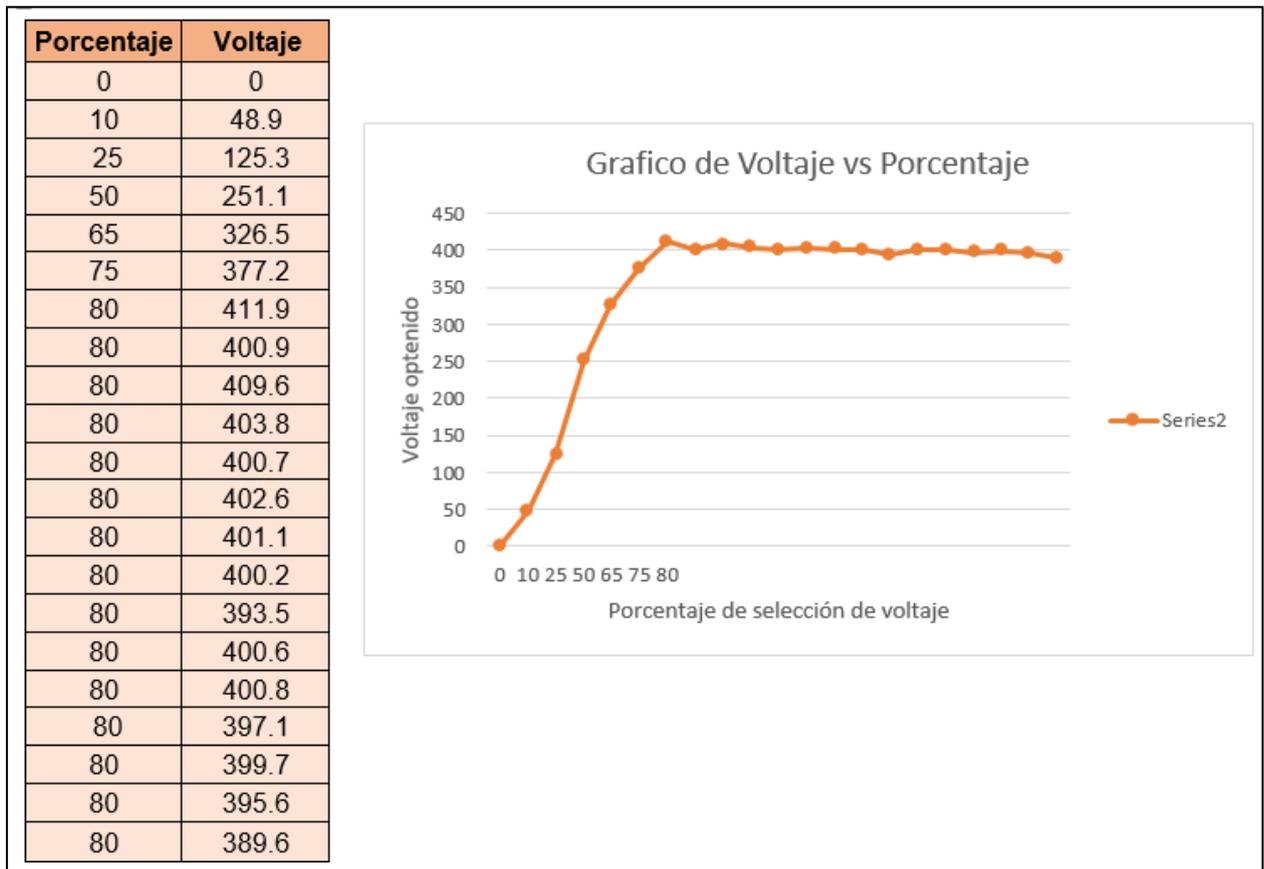


FIGURA 41. Parámetros de los resultados obtenidos en Planta. (Elaboración propia)

Los pulsos que ingresan al motor se mantienen estable en un + - 5%, lo cual es suficiente para mantener la tensión de la bobina de papel sin que sufra rupturas cuando el giro del

rotor aumenta o disminuye su velocidad.

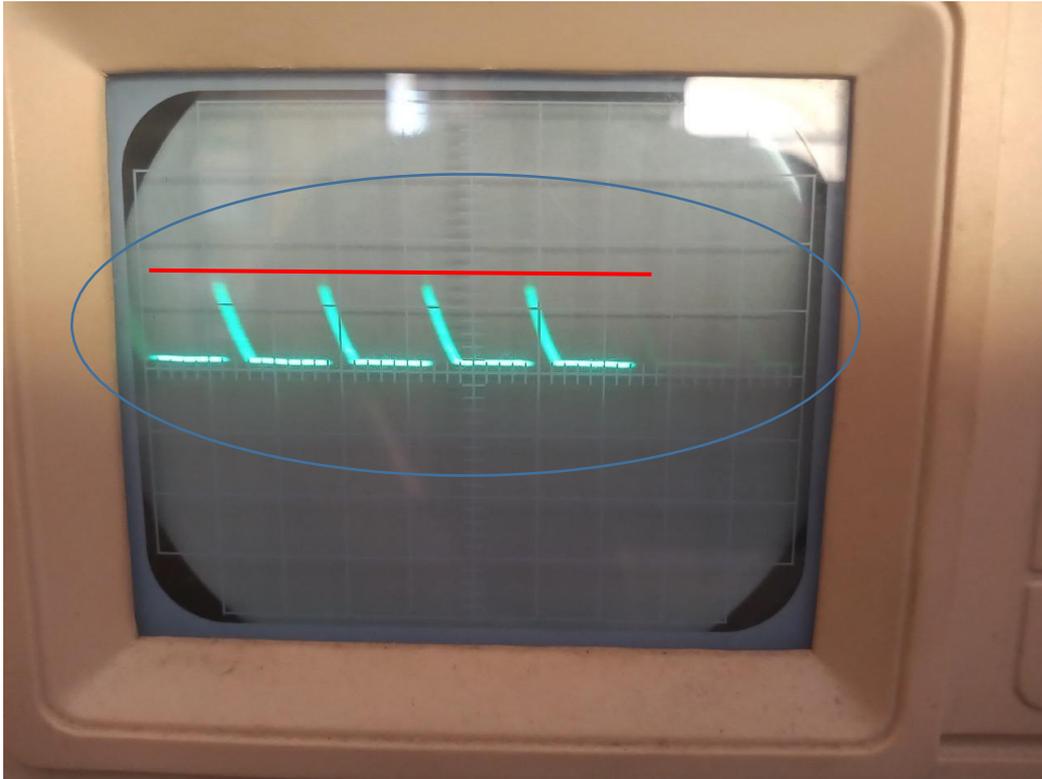


FIGURA 42. Pulsos de voltaje al motor. (Elaboración propia)

- Calibración y Programa de mantenimiento propuesto al Cliente:

Dentro de las calibraciones que se realizaron en el proyecto, se presenta 4 trimpots en la tarjeta de control.

- Voltaje Mínimo: que en planta se calibró en 0, ya que no era necesario que, para el arranque del proceso, hubiera un mínimo de voltaje.
- Voltaje Máximo: en planta se calibró en un 80% limitando el voltaje máximo de salida, de esta forma se protege la tarjeta de control y el trabajo del motor.
- Límite de Corriente: en planta se calibró una corriente de 18 A debido a que es la corriente máxima del motor, esto con la finalidad de proteger el proyecto de una corriente más elevada.
- Compensación de carga ( $I \times R$ ): la compensación de carga se implementó con la

finalidad que en el posible caso el operario necesite más carga, en consecuencia, más velocidad, se pueda realizar protegiendo al sistema de control y al motor



FIGURA 43. Pulsos de voltaje al motor. (Elaboración propia)

El mantenimiento propuesto para el cliente fue de tipo preventivo, y se propuso realizarlo cada seis meses, según los siguientes ítems:

MANTENIMIENTO PREVENTIVO
(Programación cada 6 meses después de fecha de entrega)
Verificación de modificaciones realizadas por el cliente
Verificación de ingreso de energía eléctrica
Limpieza del panel
Limpieza de tarjeta de control
Limpieza de conectores y borneras
Verificación de cableado eléctrico
Verificación del estado de los componentes de la tarjeta de control
Verificación del voltaje de salida del motor

TABLA 12. Presupuesto del proyecto. (Elaboración propia)

Después de 6 meses de la propuesta y termino del Proyecto, el cliente no aceptó el programa del mantenimiento, dejando a su criterio el mantenimiento del Proyecto.

#### 4.2. PRESUPUESTO:

Debido a que no se obtuvo permiso para revelar el costo real del proyecto, se mostrara un aproximado, incluyendo precios de materiales, diseño e implementación.

**PRESUPUESTO DE CONTROL DE VELOCIDAD**

**MATERIALES**

Descripción	Cant.	P. Unit	Total S/
Tablero metálico 400x500x180mm.	1.00	S/ 120.00	S/ 120.00
Disipadores de calor de aluminio.	2.00	S/ 55.00	S/ 110.00
Tiristores SKT 40/12 SEMIKRON	3.00	S/ 80.00	S/ 240.00
Diodos SKR 50/12 SEMIKRON	4.00	S/ 45.00	S/ 180.00
Transformadores 460V / 13V + 13V, 7/8"	3.00	S/ 75.00	S/ 225.00
Transformador 460V / 120V, 350 VA.	1.00	S/ 250.00	S/ 250.00
Puente rectificador 12A - 400V	1.00	S/ 25.00	S/ 25.00
Portafusiles tipo DZ	3.00	S/ 30.00	S/ 90.00
Fusibles DZ de 35 A. Ultrarrápidos	3.00	S/ 75.00	S/ 225.00
Portafusiles tipo Americano	3.00	S/ 5.00	S/ 15.00
Fusibles tipo Americano de 0.5 A	3.00	S/ 1.20	S/ 3.60
Interruptor rotativo de 40 A	1.00	S/ 90.00	S/ 90.00
Bornera cerámica de 30 A.	1.00	S/ 3.00	S/ 3.00
Canaleta de PVC de 2m.	1.00	S/ 30.00	S/ 30.00
Bornera de conexiones de 12 terminales	1.00	S/ 45.00	S/ 45.00
Indicador luminoso de 22mm. 110V.	1.00	S/ 5.00	S/ 5.00
Metros de conductor cableado TW 14	3.00	S/ 3.50	S/ 10.50
Metros de conductor TFF 18	2.00	S/ 2.50	S/ 5.00
Metros de conductor GPT 20	10.00	S/ 1.80	S/ 18.00
Terminales para conductor # 14	12.00	S/ 0.80	S/ 9.60
Terminales para conductor # 18-20	30.00	S/ 0.50	S/ 15.00
Impreso de Tarjeta Electrónica	1.00	S/ 960.00	S/ 960.00
Pernos, estovoles, tuercas, arandelas, etc.	1.00	S/ 50.00	S/ 50.00
<b>sub total</b>			<b>S/ 2,724.70</b>

**DISEÑO E IMPLEMENTACION**

Descripción	Cant.	P. Unit	Total S/
Acondicionado del tablero metálico	1.00	S/ 240.00	S/ 240.00
Acondicionado de los disipadores	1.00	S/ 160.00	S/ 160.00
Montaje de los tiristores y diodos	1.00	S/ 80.00	S/ 80.00

Montaje de los componentes	1.00	S/ 240.00	S/ 240.00
Cableado	1.00	S/ 400.00	S/ 400.00
Pruebas iniciales en laboratorio	1.00	S/ 120.00	S/ 120.00
Pruebas finales en laboratorio	1.00	S/ 240.00	S/ 240.00
Pruebas iniciales en planta	1.00	S/ 400.00	S/ 400.00
Pruebas finales en planta	1.00	S/ 400.00	S/ 400.00
<b>sub total</b>			<b>S/ 2,280.00</b>
<b>GANANCIA</b>			
		<b>%G</b>	
		1.2	
sub total materiales		S/ 2,724.70	
sub total diseño e implementación		S/ 2,280.00	
		<b>S/ 5,004.70</b>	x1.2
			<b>S/ 6,005.64</b>
<b>TOTAL</b>			<b>S/ 6,005.64</b>

TABLA 13. Presupuesto del proyecto. (Elaboración propia)

### 4.3. CRONOGRAMA DEL PROYECTO:

El proyecto de diseño e implementación de un control de velocidad para un motor de corriente continua de 12 HP de una maquina rebobinadora de papel, se realizó en un tiempo aproximado de dos meses desde la aprobación hasta la entrega y cierre del proyecto.

ACTIVIDADES	MESES (SEMANAS)							
	MES 1				MES 2			
Recopilación de datos	■							
Búsqueda de información	■							
Análisis		■						
Determinación de método		■						
Etapa experimental		■	■	■				
Preliminares de Diseño			■	■	■			
Pruebas Preliminares				■				
Pruebas en planta					■			
Elaboración de Diseño definitivo					■	■	■	
Pruebas finales							■	
Implementación en planta								■
Presentación								■
Cierre de proyecto								■

TABLA 14. Cronograma del proyecto. (Elaboración propia)

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- De acuerdo con el análisis de los requerimientos funcionales del negocio y resultados obtenidos, diseño e implementación de un control de velocidad para un motor de corriente continua de 12 HP de una maquina rebobinadora de papel cumple con las necesidades del cliente, al contar con la estabilidad suficiente para mantener el producto final en buen estado.
- La implementación del proyecto garantiza la capacidad de trabajo de la maquina rebobinadora requerida por la demanda actual de la empresa, cumpliendo con lo determinado en el diseño y análisis realizado en el capítulo 3.
- El diseño e implementación de un control de velocidad para un motor de corriente continua de 12 HP de una maquina rebobinadora ha sido calibrado aproximadamente a un 80% de la capacidad del voltaje máximo del motor, así como el límite de corriente que ingresa al control, lo cual permite que el control mantenga una mayor estabilidad y durabilidad en su ciclo de vida.
- Debido a las limitaciones de presupuesto y tiempo, no se permitió agregar más equipos que podrían ayudar a estabilizar aún más la velocidad, como es un equipo de

realimentación de velocidad. Con este equipo se podría estabilizar la velocidad en un +- 1%.

- Se presentó el análisis de Costo – Beneficio al cliente y se le sugirió las recomendaciones de inversión, a lo que el cliente optó por el método más económico indicando que no eran necesarios tantos cambios e invertir más dinero de lo necesario.
- Se recomendó al cliente que la fábrica tuviera una energía de respaldo, con la finalidad de no perder todos los procesos ante una posible caída del fluido eléctrico por la empresa contratada para su energía eléctrica.
- Se debe considerar que lo conversado con el cliente con respecto al desarrollo del Proyecto y las decisiones tomadas como: Plan de Mantenimiento, Costo – Beneficio, Recomendaciones de Tecnología, etc. Debe ser escrito en un acta firmada por el cliente y el Ingeniero, como documento probatorio de las recomendaciones del Ingeniero Especialista.

## GLOSARIO

- Microcontrolador: circuito integrado que tiene la capacidad de programarse para ejecutar lo grabado en su memoria.
- Arduino: tarjeta electrónica con todos los elementos necesarios para adjuntarse a las entradas y salidas de un microcontrolador.
- Armadura: rotor del motor, parte giratoria.
- Control: Regulación de un aparato o sistema.
- Transformador de pulsos: dispositivo electrónico que produce pulsos eléctricos de gran velocidad y amplitud constante.
- Motores: Máquina que produce movimiento con el apoyo suficiente de otra fuente de energía.
- Rectificador: dispositivo que transforma una corriente alterna en corriente continua.
- Regulación: Acción y efecto de regular un aparato.
- Trifásico: corriente eléctrica compuesta por tres corrientes eléctricas alternas iguales, desfasadas entre sí en un tercio de período.
- Variador: sistema que permite controlar la velocidad de una maquinaria.
- Velocidad: Magnitud física que expresa el aumento o decremento del espacio recorrido de un objeto en la unidad de tiempo, y cuya unidad en el sistema internacional es el metro por segundo (m/s).
- Voltaje: se refiere a la cantidad de voltios que presenta un objeto alimentado por energía eléctrica.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Abán, H. (2021). <https://blog.laminasyaceros.com/blog/m%C3%A1quina-bobinadora-qu%C3%A9es#:~:text=La%20m%C3%A1quina%20bobina%20se%20encarga,un%20control%20n%C3%BAmero%20y%20computadora>.
- Arielco. (2020). <http://www.flickr.com/photos/38540187@N03/4156050399/>.
- Gómez Suarez, I. (2020). Mantenimiento electromecánico de motores eléctricos.
- <http://bionanouni.wdfiles.com/local--files/teaching-mt221c-d-horario-2012i/MT221-MotorDC.pdf>. (s.f.).
- Kraftmann. (2019). [https://www.motorex.com.pe/blog/cual-es-la-diferencia-entre-los-motores-electricos-ca-y-cc/#:~:text=MOTOR%20DE%20CORRIENTE%20CONTINUA%20\(CC\)&text=Este%20tipo%20de%20motor%20convierte,como%20consecuencia%20del%20campo%20magn%C3%A9tico](https://www.motorex.com.pe/blog/cual-es-la-diferencia-entre-los-motores-electricos-ca-y-cc/#:~:text=MOTOR%20DE%20CORRIENTE%20CONTINUA%20(CC)&text=Este%20tipo%20de%20motor%20convierte,como%20consecuencia%20del%20campo%20magn%C3%A9tico).
- Martin. (2016). Motores Eléctricos.
- Mootio-components. (2017). <http://www.mootio-components.com/blog/es/regulacion-velocidad-motor-corriente-continua/>.
- ProgrammerClick. (2018). <https://programmerclick.com/article/13741885454/>.

Obtenido de <https://programmerclick.com/article/13741885454/>

- Ramírez-Betancourt. (2017). <https://www.redalyc.org/journal/404/40458316005/html/>.
- Ruiz. (2020). Electrónica de Potencia.
- Sabogal, J., & Vargas, G. (2013). Control automático de velocidad para un motor dc mediante procesamiento de imágenes.
- <https://www.electronicafacil.top/motor/control-velocidad-motor-dc/control-de-la-velocidad-del-motor-de-corriente-continua-shunt-serie-y-compuesto/>
- Chapman, S.J. (2012). Máquinas Eléctricas. Ciudad de México: McGraw-Hill.
- De Ángelo, C.H. (2004). Control para máquinas de CA de imanes permanentes con FEM arbitraria, sin sensores mecánicos. La plata: Universidad Nacional de La Plata.
- Franklin, G.F., Powell, J.D., y Emami-Naeini, A. (2010). Feedback control of dynamic systems. Nueva York: PEARSON.
- Khalil, H.K. (2014). Nonlinear systems. Third Edition. Nueva York: Pearson Education Limited.
- <http://bionanouni.wdfiles.com/local--files/teaching-mt221c-d-horario-2012i/MT221-MotorDC.pdf>, s.f.
- [https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2009/2/EL42C/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=247064](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2009/2/EL42C/1/material_docente/bajar?id_material=247064)
- <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10255/3/T524.pdf>
- <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448127641.pdf>
- <https://pdfcookie.com/documents/control-de-armadura-maquina-dc-5lq3q8m4y5v7>
- Electrónica de Potencia - Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones. Muham-mad H. Rashid, Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., 1993.

- “Electrónica de Potencia”, J. A. Pomilio, Universidad Estadual de Campinas, SP - Brasil.
- <http://bionanouni.wdfiles.com/local--files/teaching-mt221c-d-horario-2012i/MT221-MotorDC.pdf>
- <http://iee.fing.edu.uy/ense/asign/elpot1/motordc.pdf>

## **BIBLIOGRAFIA DE FIGURAS**

- <http://bionanouni.wdfiles.com/local--files/teaching-mt221c-d-horario-2012i/MT221-MotorDC.pdf>, s.f.
- Arielco. (2020). <http://www.flickr.com/photos/38540187@N03/4156050399/>.
- Ruiz. (2020). Electrónica de Potencia.
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Estructura\\_de\\_descomposici%C3%B3n\\_del\\_trabajo#/media/Archivo:Product-oriented\\_work\\_breakdown\\_structure\\_of\\_an\\_aircraft\\_system.png](https://es.wikipedia.org/wiki/Estructura_de_descomposici%C3%B3n_del_trabajo#/media/Archivo:Product-oriented_work_breakdown_structure_of_an_aircraft_system.png), s.f.

## ANEXOS



Lima 24 de agosto de 2021

C-105

Yo **Mario Gonzalo Espinoza Egoavil**, Gerente General de la Empresa **AVANCEL S.R.L.**, con Ruc: **20431596742**, autorizo al Sr. **César Ricardo De La Vega Mendoza**, identificado con DNI: **44841279**, a hacer uso del proyecto "*Control de velocidad de un motor de corriente continua de 15HP por variación de voltaje de armadura con detector de fase invertida y con un sistema de incremento y decremento de voltaje a través de un potenciómetro electrónico*", el cual fue elaborado en nuestra empresa.

Se otorga el presente documento para los fines que el interesado considere pertinentes.

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink is written over a blue circular stamp. The stamp contains the text 'AVANCEL SRL' at the top, 'MARIO GONZALO ESPINOZA EGOAVIL' in the middle, and 'GERENTE GENERAL' at the bottom.