

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PROTOTIPO DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PROCESOS DE TINTURADO DE EMPRESAS TEXTILES

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN “ELECTRÓNICA Y CONTROL”**

ALVEAR PEÑA PAULO JEFERSON

paulo.alvear@epn.edu.ec

OLIVO OROZCO ROBERTO FERNANDO

roberto.olivo@epn.edu.ec

DIRECTOR: DR. ING. GEOVANNY DANILO CHÁVEZ

danilo.chavez@epn.edu.ec

Quito, Junio 2018

AVAL

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Alvear Peña Paulo Jeferson y Olivo Orozco Roberto Fernando, bajo mi supervisión.

Dr. Ing. Geovanny Danilo Chávez

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Alvear Peña Paulo Jeferson y Olivo Orozco Roberto Fernando, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Alvear Peña Paulo Jeferson

Olivo Orozco Roberto Fernando

AGRADECIMIENTOS

PAULO JEFERSON ALVEAR PEÑA

Todo mi agradecimiento a Dios, que puso en mi camino a las todas las personas que ayudaron he hicieron posible que yo tenga éxito en este triunfo, a mis padres, mi esposa a mi hijo, los cuales fueron mi fuerza, al Doctor Danilo Chávez quien nos brindó su apoyo en todo este proyecto.

ROBERTO FERNANDO OLIVO OROZCO

Mi más amplio agradecimiento para el Doctor Danilo Chávez, y su adecuada dirección, aplicación de metodologías, apertura y respeto por nuestras ideas, ha hecho posible que, con sinergia y trabajo arduo, se cumpla la meta planteada.

DEDICATORIA

PAULO JEFERSON ALVEAR PEÑA

Dedico este proyecto a mis padres, mi esposa, mi hijo, mis hermanos y mi cuñado quienes han sido los que han estado brindándome su apoyo incondicional para seguir alcanzando una meta de tantas, los profesores, ingenieros de la Escuela Politécnica Nacional que supieron fomentar en mí, deseos de conocimiento y esfuerzo.

ROBERTO FERNANDO OLIVO OROZCO

Este proyecto de titulación está dedicado enteramente a mi Madre, quien creyó en mí totalmente y quien siempre me educó con amor, dedicación, haciendo que entregue la misma pasión en cada una de las metas que me proyecto; siempre estuvo impulsándome y fomentando en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida. Especial dedicatoria a mis hermanas, sencillamente son la base de mi vida y mil palabras no bastarían para describir cuanto cariño les tengo, la perseverancia fue su ejemplo; su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles y en los de felicidad los llevo presente. Finalmente, a mi padre que forjo mi carácter y determinación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AVAL	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT	VIII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos	1
1.2. Alcance	1
1.3. Marco Teórico	2
2. METODOLOGIA	23
2.1. Diseño Y Construcción Del Proceso De Tratamiento Por Métodos De Electrocoagulación.....	23
Arduino nano	68
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	72
3.1. Pruebas de programa en PLC e ingreso de parámetros.....	72
3.2. Simulación del convertor en Matlab	74
3.3. Pruebas para preparación de coagulante	77
3.4. Pruebas de medición inicial y final del pH.....	82
3.5. Análisis de pruebas del agua residual tratada	83
3.6. Medición de valores referenciales de voltaje y corriente.....	84
3.7. Pruebas de TDS.....	89
4. CONCLUSIONES	91
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
6. ANEXOS.....	96
ANEXO I. Manual de Operación	96

1.	SISTEMA PROTOTIPO TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.....	96
1.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL.....	96
1.2.	EQUIPAMIENTO.....	97
2.	ARRANQUE	100
3.	FILOSOFIA DE FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN.....	102
3.1.	Funcionamiento.....	102
3.2.	Dosificación de Coagulante.....	102
4.	PANEL DE CONTROL TCSE	104
5.	SOLUCION DE PROBLEMAS	112
	ANEXO II. Arquitectura del Sistema.....	114
	ANEXO III. Ensamblaje Tanque Electrocoagulación.....	115
	ANEXO VI. Ensamblaje Estructura	116
	ANEXO V. Ensamblaje Sistema Prototipo	117
	ANEXO VI. Circuitos Eléctricos de Control y Fuerza.....	118
	ANEXO VII. PI&D Sistema Prototipo.....	120
	ANEXO VIII. Fotografías Circuitos, Elaboración de Placas Electrónicas.....	121
	ANEXO IX. Pruebas de DQO Y DBO realizadas en Laboratorio.....	126

RESUMEN

En el presente documento se presenta, el diseño y la construcción, de un sistema prototipo para tratar aguas de residuo de etapas de tinturado de empresas textiles por el método electrocoagulación, utilizando el efecto electrolítico, electrónica, mecánica y control industrial.

El sistema inicia con el ingreso del agua de residuo, gracias a la acción de una primera bomba hidráulica, circula agua a tratar por la tubería, que tiene un diámetro de media pulgada, hacia el recipiente de homogeneización, a continuación un flujómetro detecta este movimiento del líquido y varía proporcionalmente una señal modulada por ancho de pulso, que comanda el conversor Buck, el cual a su vez entrega energía a los electrodos dispuestos dentro de la celda electrolítica, donde al circular corriente por la solución, desestabiliza las moléculas de los tintes realizándose el proceso de electrocoagulación.

Posteriormente el flujo es direccionado a un recipiente donde dosifica un floculante facilitando el filtrado, el cual empieza cuando la segunda bomba hidráulica envía el fluido de residuo con cierta presión hacia el filtro, donde se recogerán los flóculos formados anteriormente dejando el líquido con características para su evacuación sin causar daño al ambiente.

El proceso es configurado mediante controles electrónicos, interfaces, para establecer parámetros necesarios. Partes mecánicas, tarjetas electrónicas, circuitería eléctrica han sido elaborados como parte del sistema.

Las pruebas han sido efectuadas con muestras de agua de residuo de diferentes empresas textiles para evaluar el DBO y DQO del agua residual, después del tratamiento y verificar si estos son 120 y 240 mg/l respectivamente.

PALABRA CLAVE: prototipo, agua residual, electrocoagulación, electrónica, mecánica, control industrial.

ABSTRACT

Design and construction of a prototype system by waste water treatment of textile industry tincture process is presented in this document by electrocoagulation method and electrolytic effect, industrial control, electronic and mechanic.

The system begins with the feeding residual water by a first hydraulic pump action, it makes waste water flows by middle inch pipeline to homogenization container, then a flowmeter detects water movement and it proportionally changes a PWM signal and control Buck converter, which in turn, gives energy to electrodes arranged into electrolytic cell in which to circulates current through the solution, destabilizing the tincture molecules and getting electrocoagulation process.

Later, flow is directed to a container where it's dosed a flocculant liquid facilitating the filter process which starts when second hydraulic pump send residual water with pressure to filter, where flocs formed are recollected leaving the liquid ready to its evacuation without ambiently damages.

The system is configured by electronic controls and interfaces to stablishes needed parameters. Mechanic parts, electronic cards and electrical circuitry have been settled as part of the system.

The tests have been carried out with waste water samples coming from different textile companies to evaluate DBO and DQO levels of residual water, after treatment and to check if these are between 120 and 240 mg/l respectively.

KEYWORDS: prototype, waste water, electrocoagulation, electronic, mechanic, industrial control.

1. INTRODUCCIÓN

Se presenta una explicación breve y clara de los principios y fenómenos involucrados en un sistema para tratar aguas de residuo provenientes de etapas de tinturado de empresas textiles. Se inicia describiendo como se relacionan electricidad y química es decir lo que se conoce como electroquímica; continua con la definición de electrocoagulación, se detallan también características y parámetros del agua de residuo.

Se describen los aspectos de la celda electrolítica, se detallan generalidades sobre la dosis de polímeros. Se indica varios sistemas de filtración. Finalmente, la electrónica concerniente al convertidor de energía, el microcontrolador y los sensores de presión.

1.1. Objetivos

El objetivo general del presente estudio técnico es diseñar y construir un sistema prototipo para tratar aguas de residuo de etapas de tinturado de empresas textiles utilizando electrocoagulación.

Los objetivos específicos del estudio técnico son recopilar información acerca de la ordenanza municipal concerniente a la descarga y evacuación de efluentes, producto de procesos industriales. Implementar una etapa de homogenización, construir una cámara de reacción electrolítica, construir un mecanismo para dosificar floculante e instalar una etapa de filtrado. Diseñar e implementar la lógica de control del sistema. Hacer pruebas operativas del prototipo.

1.2. Alcance

En el presente estudio técnico se efectuarán actividades de campo y montaje de equipos para desarrollar un sistema prototipo para tratar aguas de residuo de etapas de tinturado de empresas textiles mediante el mecanismo de electrocoagulación. Se determinarán, parámetros y valores que se obtienen en un análisis químico del agua de desecho. Se describirá un proceso de tratamiento de aguas de residuo mediante electrocoagulación y las etapas que lo componen. Se diseñará e implementará un convertidor reductor DC-DC para energizar componentes electrónicos. Se implementará un método de electrocoagulación que disminuya los niveles de la demanda química de oxígeno DQO y demanda bioquímica de oxígeno DBO que se encontrasen fuera de norma para su desecho. Se implementará etapas de homogenización, electrocoagulación, floculación,

filtración y recepción de agua tratada para conformar el sistema prototipo. Se creará un programa lógico de control implementado en un PLC SIEMENS S7, que comande el sistema prototipo, controlando tiempos de operación en cada etapa, señales análogas de los sensores, señales digitales de dispositivos y que ejecute comandos sobre los elementos actuadores.

El prototipo funcionará con una entrada de no menos 0.4 litros/segundo.

1.3. Marco Teórico

Electroquímica.

Ernest Rutherford planteó en su modelo atómico, que la materia estaba conformada por partículas de característica eléctrica, en una distribución planetaria con su núcleo en el centro con carga positiva y rodeándolo en orbitas circulares estarían los electrones con carga negativa. Por lo tanto, se concluye de esa definición que hay una parte de la materia en estado electrolítico, con una carga eléctrica establecida por los iones presentes y en función de su polaridad se los conoce como cationes si su carga es positiva o aniones si su carga es negativa. [1]

“La electroquímica investiga las reacciones químicas y eléctricas que se dan entre un material conductor o semiconductor eléctrico y un medio de disolución iónico llamado electrolito”. [1]

En base a la ley de conservación de la energía se puede establecer que la energía eléctrica está en la capacidad de convertirse en energía química si se suministra al sistema un voltaje, para mover los iones positivos hacia los negativos. La referencia [2] muestra que la electroquímica se divide en dos partes una iónica y otra electródica.

Electroquímica Iónica.

Estudia la relación entre los sistemas químicos y eléctricos al incidir en un proceso determinado por iones y existen soluciones electrolíticas y sales fundidas. [1].

Soluciones electrolíticas.

Estas son todas aquellas soluciones en las que la sustancia que disuelve esta precisamente disuelta en el medio de disolución formando iones. Según la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Soluciones electrolíticas [1].

COMPUESTO	FÓRMULA	DISOLUCIÓN	IONES
Cloruro de sodio	NaCl	————→	$Na^+ + Cl^-$
Cloruro de potasio	KCl	————→	$K^+ + Cl^-$
Sulfato de sodio	Na ₂ So ₄	————→	$Na^+ + Na^+ + So_4^-$

Las interacciones iónicas de las soluciones electrolíticas son de dos tipos, la primera, ion – disolvente y la segunda ión – ión; El estudio de estas interacciones iónicas le pertenecen a P. Debye y E Hückel [3] donde se considera un ion está rodeado de una gran cantidad de iones de carga opuesta.

Sales fundidas (óxidos).

Las sales fundidas son compuestos iónicos, y se definen literalmente por su nombre, han sido sometidas a altas temperaturas y tienen una alta capacidad conductiva. [1]

Electroquímica electródica.

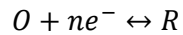
“Este tipo de electroquímica se enfoca en la interfaz entre un conductor electrónico y un conductor iónico y en la transferencia de cargas eléctricas que en cuya interacción de genera”. [2]

Se puede denominar de esta manera cuando una reacción electroquímica pura ocurre en una solución, sea ésta dentro de un sistema productor de sustancia, de energía o un sistema corrosivo.

Cinética electroquímica.

“Es el proceso que se desarrolla en una reacción electroquímica donde se encuentra el transporte de masa hacia la superficie del electrodo, la transferencia de electrones hacia la superficie del electrodo y las reacciones químicas que pueden ser previas o posteriores a la transferencia de carga”. [2]

En la referencia [2], la ecuación ordinaria de una reacción química es:



Ecuación 1.1. Reacción Química [2]

Siendo:

O la especie oxidada.

R la especie reducida.

ne^- es el número de electrones transferidos por mol.

La referencia [4] indica la necesidad de polarizar electrones para conseguir una reacción electroquímica, y la ecuación del flujo de corriente en el sistema es:

$$E_{eq} = E^o + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_o}{a_R}$$

Ecuación 1.2. Voltaje de equilibrio [4]

Siendo:

E_{eq} el voltaje de equilibrio.

E^o el voltaje estándar de reducción.

F la constante de Faraday.

T la temperatura absoluta.

R la constante universal de los gases.

a_o, a_R las actividades de las especies oxidadas y reducidas respectivamente.

$$\eta_{TOT} = \eta_{OHMIC} + \eta_{ACT} + \eta_{CONC}$$

Ecuación 1.3. Voltaje total [4]

La referencia [4] muestra el sobre potencial de concentración η_{CONC} o también llamado de transferencia de masa. El voltaje de activación η_{ACT} moverá los electrones. El sobre voltaje

de resistencia η_{OHMIC} se produce por una caída de voltaje, este parámetro puede variar por algunos factores según indica en la siguiente ecuación:

$$\eta_{OHMIC} = \frac{I \cdot d}{A \cdot k}$$

Ecuación 1.4. Potencial de resistencia [4]

Donde:

I es la corriente que atraviesa la celda [A]

d es la distancia entre electrodos [cm]

A es el área efectiva de los electrodos [m²]

k es la conductividad específica de la solución [mSm⁻¹]

Ley de Faraday.

En realidad, conocida como la ley de electrólisis de Faraday, de donde se desprenden a su vez tres leyes y la primera indica que la cantidad de masa que se desprende del electrodo depende de la corriente y del electrolito. [5].

$$w = \frac{i \cdot t \cdot M}{n \cdot F}$$

Ecuación 1.5. Cantidad de material del electrodo disuelto [5]

Donde:

w es la cantidad de material del electrodo disuelto (gr de metal cm⁻²).

i es la densidad de corriente (A cm⁻²).

t es el tiempo (s).

M es el peso molecular del electrodo.

n es el número de electrones en la reacción del óxido-reducción.

F es la constante de Faraday 96500 (C/mol).

En la segunda Ley de la electrolisis de Faraday se toma en cuenta la relación entre la cantidad de masa que se desprende de un electrodo y su peso equivalente, el cual no es más que su peso atómico dividido por su número de valencia.

Velocidad de una reacción electroquímica.

De la Ecuación 1.5 al multiplicar ambos miembros por el peso equivalente y dividido por el producto del área y el tiempo, se obtiene:

$$v = \frac{m}{At} = \frac{P_e I}{F A} = cte i$$

Ecuación 1.6. Velocidad de una reacción química [5]

La velocidad es proporcional a la densidad de corriente, la cual está expresada en A/m².

$$A = \frac{C}{s} \text{ luego } \frac{A}{m^2} = \frac{C}{s \cdot m^2}$$

Ecuación 1.7. Densidad de corriente [5]

Controles Cinéticos.

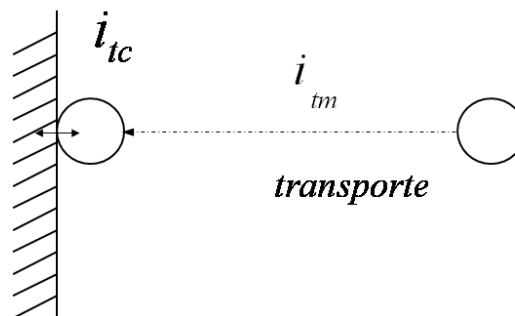


Figura 1.1. Control cinético. Presentación MI76A [6]

Para conseguir una reacción electroquímica se necesitan dos condiciones:

- Transferencia de Masa
- Transferencia de Carga

Transporte de masa.

Es el movimiento de masa dentro de la solución a la superficie del electrodo debido a voltaje eléctrico o químico. Los mecanismos que lo generan son: [6]

- Migración. – debido a la variación de un voltaje dentro de un campo eléctrico.
- Difusión. – movimiento de los iones por la variación de voltaje.
- Convección. – según el fluido en movimiento. Esta puede ser natural donde la fuerza motriz es la variación de densidad, o forzada cuyo movimiento es causado por un agente externo, por lo general un dispositivo mecánico.

La transferencia de carga.

Una celda electroquímica se basa en la teoría del potencial aplicado, donde se propone que el producto se genera por un estado intermedio y que la velocidad de descomposición determina con que velocidad se producirá una reacción. [5].

La referencia [6] muestra cuando la transferencia de carga gobierna la reacción, la velocidad depende principalmente de la corriente de intercambio y del sobre potencial, este comportamiento está regido por la ecuación de Butler-Volmer.

$$i = i^o \left\{ e^{\left[\left(1 - \alpha \frac{nF}{RT} \eta_{ACT} \right) \right]} - e^{\left[-\alpha \frac{nF}{RT} \eta_{ACT} \right]} \right\}$$

Ecuación 1.8. Butler-Volmer. [1]

La Ecuación 1.8 es un intercambio de corrientes en un electrolito generando una corriente total. [6]

Proceso de electrocoagulación.

La referencia [7] señala al proceso de electrocoagulación como la desestabilización de componentes químicos, suspendidos o disueltos y presentes en una solución, mediante la aplicación de energía eléctrica por medio de electrodos ánodo y cátodo logrando que los sólidos disueltos se agrupen por la interacción de los iones de cada electrodo provocando que las partículas se junten volviéndose pesadas, los cuales se sedimentarán.

La celda donde se efectúa la electrocoagulación está compuesta por electrodos los cuales son de sacrificio y pueden ser de hierro o aluminio inmersos en un dieléctrico y alimentando

con voltaje alterno o continuo. Los cuales son agentes coagulantes dependiendo del caso, así como se tiene en la industria el coagulante Policloruro de Aluminio. [7]

El material con el que generalmente se construye el ánodo, que puede ser hierro o aluminio, se disuelve produciendo hidróxidos metálicos poliméricos que son agentes coagulantes muy buenos. Posteriormente los flóculos aglutinados son removidos por sedimentación o filtración. [7]

Características de las aguas residuales.

La Referencia [8] se tienen aguas residuales municipales e industriales que pueden tener el mismo tratamiento para poder ser desechado. [8]

Los elementos, así como su cantidad cambia dependiendo del tipo de desecho industrial presente y de la dilución generada por el ingreso de agua subterránea que pasa hacia el drenaje público. [8].

Características Físicas.

Dentro de este tipo de características se tiene el contenido de sólidos totales, se la destaca por que engloba toda la materia en suspensión, la de fácil sedimentación, coloidal y disuelta. [8].

Sólidos Totales.

Se puede tener el total de sólidos disueltos elevando la temperatura del agua de 103° a 105° C en un tiempo de 60 minutos, cuando se haya evaporado por completo se tendrá todos los sólidos disueltos. [8].

Olores.

Los olores se producen por los gases que se emiten por la descomposición del agua de residuo siendo más tolerable que la emanación de olores del agua séptica. [8].

Temperatura.

Muchos procesos industriales producen aguas de desecho con altas temperaturas lo cual debe ser tomado en cuenta para su descarga por precautelar la vida marina. [8].

Color.

El color de las aguas de residuo varía dependiendo del nivel de sólidos y de materia orgánica que se encuentren en ella. [8].

Turbiedad.

Se determina la cantidad de luz que puede atravesar por el agua, al ser más turbia esta desvía y refracta una mayor cantidad de luz. [8].

Características Químicas.

Hay dos características químicas importantes de las aguas de residuo, una es el contenido de materia orgánica e inorgánica, y la segunda es la cantidad de gases presentes. [8].

Materia Orgánica.

Se determina la cantidad de material orgánico procedente principalmente de humanos, animales y procesos procedentes con material orgánico. [8].

Para poder determinar el grado de concentración del material orgánico, hay que analizar tres parámetros, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y carbono orgánico total (COT). [8].

La cromatografía de gases y espectroscopia de masa son ensayos más instrumentales que están relacionados para determinar concentraciones del segundo grupo. [8].

- Demanda Bioquímica de Oxígeno: es el oxígeno necesario para degradar la materia orgánica. [8].
- Le método se lo realiza en 5 días a una temperatura de 20° C, y en 20 días se puede encontrar la medida del DBO. [8].

Materia Inorgánica.

Esta depende más de la incorporación de los estratos geológicos que se disuelven en el agua como sales y minerales del suelo. [8]

Un aspecto importante para definir la calidad de agua natural y residual es el potencial hidrógeno (PH). La situación se complica cuando el PH varía en tratamientos biológicos y este valor se puede modificar en el efluente si es que no se lo modifica antes de la evacuación. [8].

Características Biológicas.

Las características por tomar en cuenta en los tratamientos biológicos son, los principales grupos de organismos tanto en aguas residuales como superficiales, organismos patógenos presentes, organismos indicadores de contaminación, procesos para determinar los organismos indicadores y los procesos que determinan la toxicidad de las aguas en tratamiento. [8].

Microorganismos.

En la siguiente tabla se muestra una clasificación de los organismos que se encuentran en aguas de desecho y superficiales, entre los cuales se encuentran varios tipos de eucariotas bacterias, arque bacterias. [8]

Tabla 1.2. Clasificación de los microorganismos.

Grupo	Estructura Celular	Caracterización	Miembros Representativos
Eucariotas	Eucariota, tiene un núcleo definitivo.	De tipo multicelular con un gran contraste entre las células y el tejido. De tipo unicelular, con muy poca o ninguna diferencia de tejidos.	Plantas de semilla. Musgos y helechos. Animales vertebrados e invertebrados. Protistas algas, hongos y protozoos.
Bacteria	Procariota, sin membrana nuclear.	De química celular similar a las eucariotas.	La generalidad de bacilos.
Arqueobacterias	Procariota sin membrana nuclear.	De química celular propia.	Metanógenos, halófilos termacidófilos.

El papel principal en la descomposición y estabilización de la materia orgánica lo cumplen las bacterias tanto en el ámbito natural como en las estaciones de tratamiento. [8]

Organismos Patógenos.

Algunos organismos patógenos provenientes de desechos humanos están presentes en aguas de residuo, los cuales posiblemente son portadores de alguna enfermedad. Estos organismos bacterianos eliminados por el hombre provocan afectación al aparato intestinal, fiebre, tifoidea y paratifoidea, disentería, diarreas y cólera. [8].

Celda electrolítica y reactores para sistemas de electrocoagulación.

Un reactor electrolítico es usado para descomponer sustancias ionizadas mediante la circulación de corriente eléctrica a través de elementos ionizados llamados electrolitos. Las celdas tienen dos electrodos uno con carga positiva y otro con carga negativa pudiendo ser de cualquier material conductor, como metales o semiconductores. El movimiento de los cationes disueltos será hacia el cátodo, mientras que los aniones se dirigirán al ánodo lógicamente. [9]

La clasificación en cuanto al tipo de celda varía y se puede mencionar los siguientes criterios.

Dirección del flujo de agua residual.

Las celdas mostradas en la figura. vertical y horizontal aprovechan el movimiento que se genera en la producción de oxígeno e hidrógeno en el ánodo y cátodo.

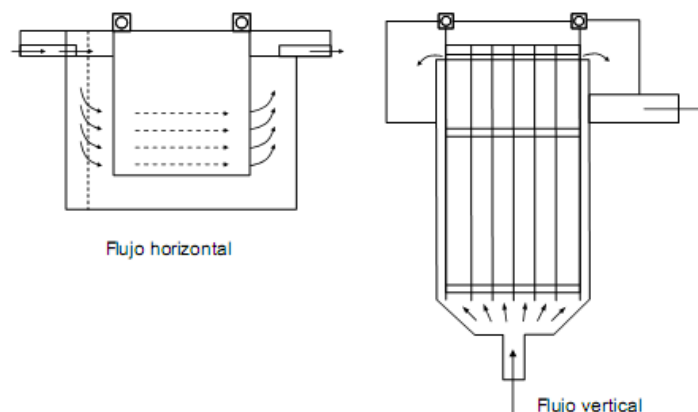


Figura 1.2. Unidades de electrocoagulación. Electrochemical Technologies in Wastewater Treatment. [9]

Modo de circulación.

Existen celdas de un solo canal y multicanal. Teniendo una sencillez de la disposición, se debe tener en cuenta hacer circular por el electrodo un caudal reducido. [9]

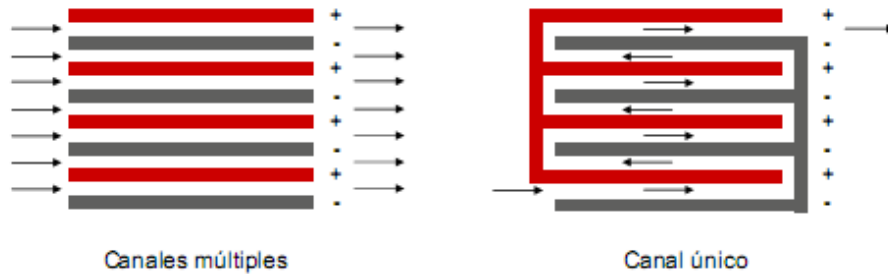


Figura 1.3. Tipos de topologías de canales múltiples y de canal único. Tratamiento de aguas residuales. [9]

Tipo de conexión eléctrica.

Hay dos configuraciones de uno y dos polos, la segunda es el voltaje es alto y corriente baja, únicamente se necesita conectar los electrodos alimentadores, el inconveniente en esta disposición es que entre los alimentadores hay un gran voltaje generando corriente que circula por la solución y provoca pérdidas que reducen la producción y la vida útil de las placas. [9]

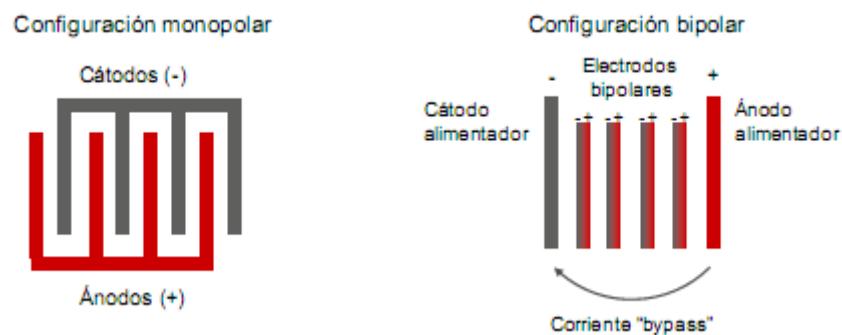


Figura 1.4. Disposición de electrodos monopolar y bipolar. Tratamiento de aguas residuales. Leiva Karina. [9]

Finalidad de la celda.

En esta clasificación se tiene desde la simple adición de coagulantes hasta el movimiento de contaminantes. Está también el uso de oxígeno O₂ e hidrógeno H en el ánodo y el cátodo. [9]

Dosificación de químicos.

Bombas dosificadoras.

Disponible en el mercado existe una cantidad de bombas dosificadoras con diferentes métodos de las cuales se puede nombrar a las de membrana, de pistón, peristáltica. Tomando en cuenta la aplicación y exactitud de la forma de dosificación y fluido a dosificar, o en base a su composición, interna o externa determina su uso, pudiéndose aplicar con fluidos viscosos, corrosivos o ácidos, habiendo una amplia disponibilidad en marcas y proveedores.

Floculantes.

La floculación es una fase donde las partículas se agrupan formando flóculos, de un peso específico distinto al del agua los cuales, flotarán o se hundirán. Para formar estos flóculos se necesita incluir floculantes, los que generalmente son de origen mineral, existen también y en menor cantidad polímeros, pero con mayores ventajas. [10]

Floculantes para piscinas

Para este se utiliza policloruro de aluminio, el cual se encuentra en estado líquido, que es de muy fácil dilución en fluidos. [10].

Floculante de polímeros PAC (policloruro de aluminio)

El Policloruro de aluminio o hidrocloreuro de aluminio, clorhidróxido de aluminio o PAC por sus siglas en inglés, es una solución de aspecto claro y ligeramente turbio, libre de material extraño o sedimento [10].

Los requerimientos específicos de un policloruro de aluminio son:

- Para el tratamiento de las aguas residuales, debe estar entre un 18% y 25%.
- Para tratamiento un agua de río el nivel de la base del policloruro de aluminio debe estar entre 45% y 95%.
- La solución debe tener una turbidez menor de 40 NTU.

Floculantes Sintéticos.

Los floculantes sintéticos tienen el propósito de sustituir de forma total o parcial a los coagulantes clásicos de tipo mineral. Son efectivos en un amplio rango de pH sin modificarlo, reduciendo así la dosis necesaria de los reactivos alcalinos que colaboran en el proceso de coagulación. Se reduce también la producción de lodos, mejorando la siguiente etapa la de deshidratación y mejora el color del efluente transparentándolo más [10].

Filtrado de aguas residuales.

Tratamiento terciario.

El filtrado da una etapa final aumentando la calidad del efluente al valor requerido antes de que éste sea desechado al ambiente. En una planta de tratamiento es posible el uso de más de un proceso terciario. El “pulir el efluente” es una expresión usada cuando se aplica la desinfección en el proceso final [11].

Filtración.

Para poder retener todos los sólidos disueltos en el agua, se hace pasar por medios filtrantes como gravas y materiales con porosidad para poder ser filtrada. El tipo de medio filtrante es muy variado, siendo común el uso de tierra de diatomeas. La aplicación de un método de coagulación y floculación por presión o gravedad es usual [11].

Filtración por gravedad.

En este tipo de filtración, el fluido circula verticalmente y en descenso al filtro llega el agua a velocidad moderada según sea la inclinación de bajada, siendo tanques cilíndricos o cúbicos, aquí se produce la adhesión y atracción eliminando partículas mucho menores al espacio de las gravas en el filtro o módulos especiales para sedimentación del filtro [11].

Filtración por presión.

En este tipo de filtración se utiliza contenedores, que son tanques cilíndricos, en los cuales contienen diferentes tipos de material filtrante o gravas de distinto tamaño, pudiendo ser

una filtración lenta o rápida con filtros de lecho profundo, en dichos casos se utiliza bombas de hidráulicas para la impulsión del agua a través del filtro a una presión constante [11].

El Tratamiento de los fangos.

Los residuos obtenidos del proceso de tratamiento de agua residual deben ser tratados de manera eficaz y segura. Estos residuos o lodos pueden contaminar de manera abrupta con organismos orgánicos e inorgánicos tóxicos como metales pesados [11].

Con todos los residuos obtenidos se puede aplicar tratamiento para disminuir su volumen con un proceso de secado para poder ser incinerado. [11].

Tipos de filtros.

Filtros rotativos.

Este filtro es muy utilizado en la industria cuenta con un rodillo y un tamiz inmerso en el fluido a filtrar con su movimiento rotatorio, cierne el líquido a ser tratado quedando depositado en su fondo una plancha de lodos el cual será extraído para su eliminación.

Filtro prensa para el tratamiento de lodos.

Este tipo de filtros funcionan con una presión de 73 a 218 psi, debiendo ser robustos en su construcción, este tipo de filtros es ampliamente utilizado pero debido a su costo inicial se lo utiliza para aplicaciones en las cuales se requiera una filtración de alta presión.

Esta construido con cámaras, establecidas por chapas verticales, mediante un sistema hidráulico se aplica presión al fluido que pasa por mallas las cuales retiene los sólidos y forman una pasta que luego es depositada en la parte posterior del filtro para luego poder ser retirada y eliminada.

Convertor “BUCK” estructura y funcionamiento.

El objetivo de operación se basa en tener en la salida o carga una reducción del voltaje comparada con la entrada, mediante la frecuencia de apertura y cierre de un elemento conmutador. [12]

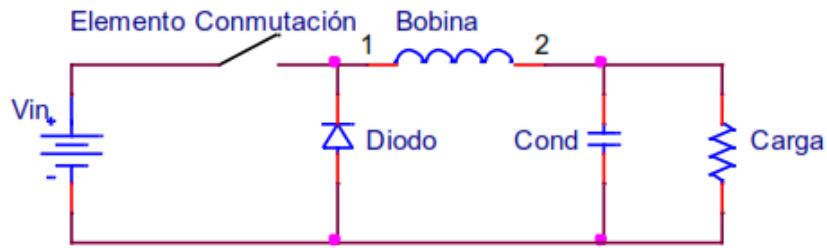


Figura 1.5. Topología reductora o Buck. [12]

En la Figura 1.6 se observa la “topología ON” del convertor, cuando está cerrado el interruptor y la corriente fluye directamente hacia la carga. [12]

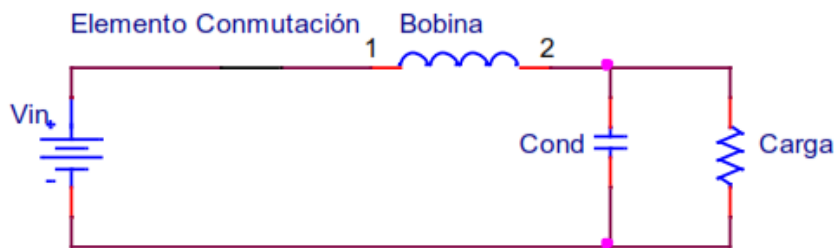


Figura 1.6. Topología On. [12]

En la Figura 1.7 Con el interruptor abierto la corriente circula de la fuente a la carga. [12]

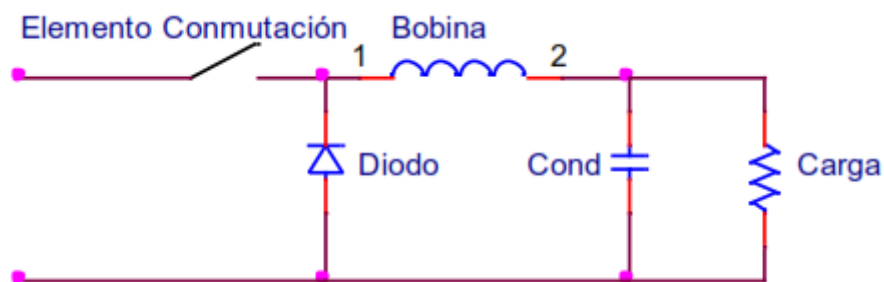


Figura 1.7. Topología Off. [12]

En la referencia [12], en conducción, la ecuación es:

$$\Delta I_{Lon} = \int_0^{ton} dI_L = \int_0^{ton} \frac{V_L}{L} dt = \frac{(V_i - V_o) \cdot ton}{L}$$

Ecuación 1.9. Incremento de la corriente en un inductor. [12]

Y el decremento de corriente es:

$$\Delta I_{Lon} = \int_0^{t_{off}} dI_L = \int_0^{t_{off}} \frac{V_L}{L} dt = -\frac{V_0 \cdot t_{off}}{L}$$

Ecuación 1.10. Decremento de corriente en un inductor. [12]

En la referencia [12], si el convertidor trabaja en régimen estable se obtiene la siguiente ecuación:

$$\Delta I_{Lon} + \Delta I_{Loft} = 0$$

Ecuación 1.11. Corriente principio y corriente final. [12]

Al sustituir las ecuaciones 1.10 y 1.11 en 1.12

$$\frac{(V_i - V_0) \cdot t_{on}}{L} - \frac{V_0 \cdot t_{off}}{L} = 0$$

Ecuación 1.12. Reemplazo de fórmulas. [12]

Si se simplifica la expresión anterior se obtiene:

$$V_{out} = D \cdot V_{in}$$

Ecuación 1.13. Ciclo de trabajo. [12]

Donde D es el ciclo de trabajo:

$$D = \frac{t_{on}}{T}$$

Ecuación 1.14. Ciclo de trabajo por periodo. [12]

Asumiendo el modo de régimen permanente, se obtiene:

$$L = (V_i - V_0) \cdot \frac{V_0}{V_i} \cdot \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{X \cdot I_0}$$

Ecuación 1.15. Inductancia según frecuencia. [12]

Siendo f la frecuencia de conmutación del convertidor y X el rizado de salida. El corriente pico, que atraviesa el inductor se puede determinar mediante:

$$I_{pico} = I_0 + \frac{\Delta I_L}{2}$$

Ecuación 1.16. Corriente pico. [12]

Y el rizado en la bobina será igual a:

$$\Delta I_L = X \cdot I_0 = (V_i - V_0) \cdot \frac{V_0}{V_i} \cdot \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{L}$$

Ecuación 1.17. Rizado de la bobina. [12]

El valor del condensador con diferente rizado se obtiene con la expresión: [12]

$$C = \frac{(1 - D)}{8 \cdot L \cdot f^2 \cdot \xi}$$

Ecuación 1.18. Valor de Capacitor. [12]

La resistencia parasita será: [12]:

$$R_{ES} = \frac{\Delta V_0}{\Delta I_L}$$

Ecuación 1.19. Resistencia parásita. [12]

El valor del diodo dependerá de la disipación de potencia, y será calculada por: [12]

$$P_D = \left(1 - \frac{V_0}{V_i}\right) \cdot I_0 \cdot V_D$$

Ecuación 1.20. Potencia de disipación. [12]

Las pérdidas en conmutación se pueden calcular mediante la expresión: [12]

$$P_{CONMUT.} = \frac{V_{DS} \cdot I_D}{2 \cdot T} \cdot (T_{ON} + T_{OFF})$$

Ecuación 1.21. Pérdidas de conmutación. [12]

En la cual TON y TOFF son los tiempos de activación y de desactivación en la conmutación. En el estado de conducción las pérdidas pueden ser obtenidas mediante: [12]

$$P_{CONDUCC.} = \frac{1}{T} \cdot (I_D^2 \cdot r_{DS(ON)} + t_{ON})$$

Ecuación 1.22. Pérdidas de conducción. [12]

Microcontrolador PIC 16F877A

La referencia [13] la serie PIC 16F87X de la Figura 1.8 disponen de memoria RAM y EPROM.

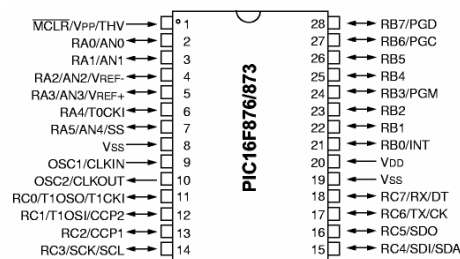


Figura 1.8. PIC 16f876A. Manual Pic 16f87XI. [13]

Todos lo PIC 18F87XX poseen convertor análogo digital A/D.

Memoria de Programa.

La memoria tipo FLASH es donde se guarda por un periodo de tiempo momentáneo para realizar funciones que no requieren ser almacenadas. [13]

Memoria de Datos RAM.

La RAM estática está formada de 4 bancos con 128 bytes cada uno. Se tiene diferentes programas y datos para poder realizar diversas operaciones [13].

Para seleccionar el banco al que se desea acceder en la RAM se emplean los bits 6 y 5 del Registro de Estado RP1 y RP0 respectivamente, según la Tabla 1.3 [13]:

Tabla 1.3. Códigos. [13]

BANCO	RP1	RP0
0	0	0
1	0	1
2	1	0
3	1	1

Control de velocidad y principio de funcionamiento.

En la industria los variadores de frecuencia son ampliamente utilizado, ya que actúan sobre la velocidad rotacional de un motor mediante el control de su frecuencia.

La referencia [14] muestra que los variadores de frecuencia funcionan variando la frecuencia teniendo en cuenta y el número de polos en el estator, de acuerdo con:

$$RPM = \frac{60 \times f}{p}$$

Ecuación 1.23. Velocidad de motor. [14]

Donde

RPM es el número de revoluciones por minuto

f es la frecuencia de la fuente AC

p es el número de polos

La velocidad depende del número de polos, y siendo motores sincrónicos y asincrónicos, también dependen de la frecuencia que varía de acuerdo al lugar 50 y 60 Hz, variando la frecuencia se puede variar la velocidad del motor. [14]

Un variador consiste en elementos de conmutación sólido, con los cuales se puede variar la frecuencia en relación con el voltaje sin perder el torque, teniendo variadores que tienen compensación automática de torque. [14]

Sensor de presión presostato.

El presostato también es conocido como interruptor de presión. Es un elemento que conecta y desconecta un circuito eléctrico según la presión de un líquido. [15]

Operación.

Se dispone de un pistón con resorte que cambian de posición accionados por la presión existente en la tubería, el pistón se moverá si la presión ejercida es mayor a la fuerza del muelle. [15]

Con un tornillo se calibrar a que presión se accionará el mecanismo, Figura 1.9.



Figura 1.9. Partes internas de un Presostato. [15]

Tipos.

Dependiendo el diseño que en general tiene el mismo principio y según la fuerza de compresión del muelle, se tienen los siguientes. [15]

- Presostato diferencial: opera de acuerdo a un rango de presiones, alta-baja, usualmente ajustable, que permite abrir o cerrar un circuito eléctrico para accionar un motor eléctrico.
- Alta diferencial: al superar la presión calibrada para el compresor, el ajuste puede ser de forma manual o automático.
- Baja diferencial: al bajar la presión a un nivel inferior de lo estipulado para el compresor, el ajuste puede ser del mismo modo manual o automático.

Usos.

Los usos son muy variados, por ejemplo: [15]

- La alarma (luz roja indicadora) de falta de presión de aceite de un vehículo está conexasionada a un presostato.
- Para controlar el funcionamiento de encendido de bombas por medio de la presión de sistema.



Figura 1.10. Presostatos. [15]

2. METODOLOGIA

2.1. Diseño Y Construcción Del Proceso De Tratamiento Por Métodos De Electrocoagulación

El diseño propuesto tiene como referencia el diagrama de bloques presentado en la Figura 2.1, donde se describe cada etapa por la que el agua residual fluirá, desde la alimentación de agua cruda, hasta el depósito de agua tratada el objetivo principal será, bajar los niveles de DBO y DQO para su posterior descarga al ambiente.

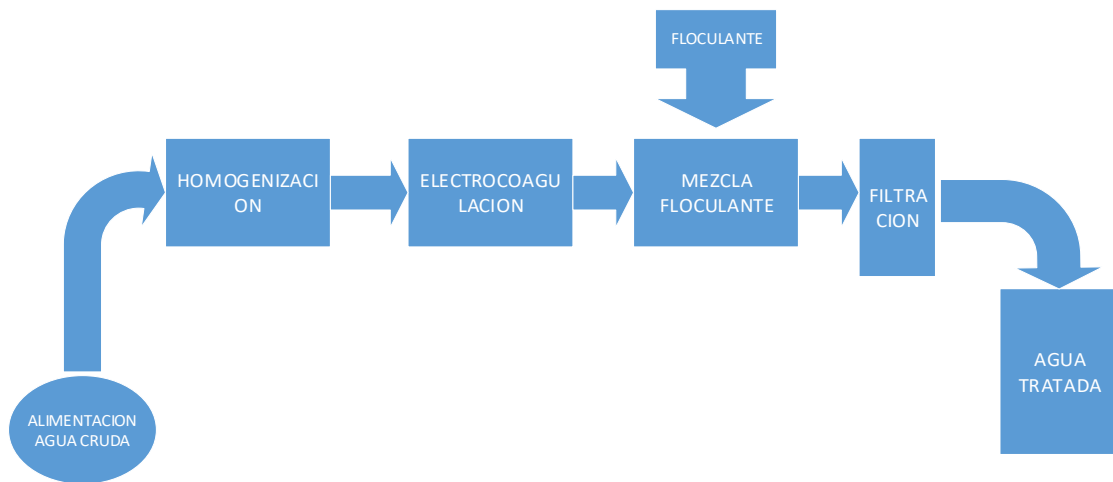


Figura 2.1. Diagrama de bloques del proceso de electrocoagulación.

La arquitectura que permite el manejo y control del sistema prototipo de electrocoagulación para tratamiento de aguas residuales de procesos de tinturado de empresas textiles es el que se muestra en el anexo B.

Sistema de Ingreso del Agua Residual al Proceso y Elección de la Bomba de Alimentación de Agua Residual.

Para la elección de la bomba de agua, el proyecto tiene en su primera etapa un tanque cúbico con un volumen utilizable de 5,27 litros teniendo un tiempo efectivo mínimo de llenado de 14 segundos para que la homogeneización se realice, resultando un caudal de 0.37 (l/s), 22,2 (l/m) o 5.86 (gpm), a una presión de 20 (psi), en la Figura 2.2 se muestra la bomba elegida, y más abajo su curva característica.



Figura 2.2. Bomba Thebe 1 HP. [16]

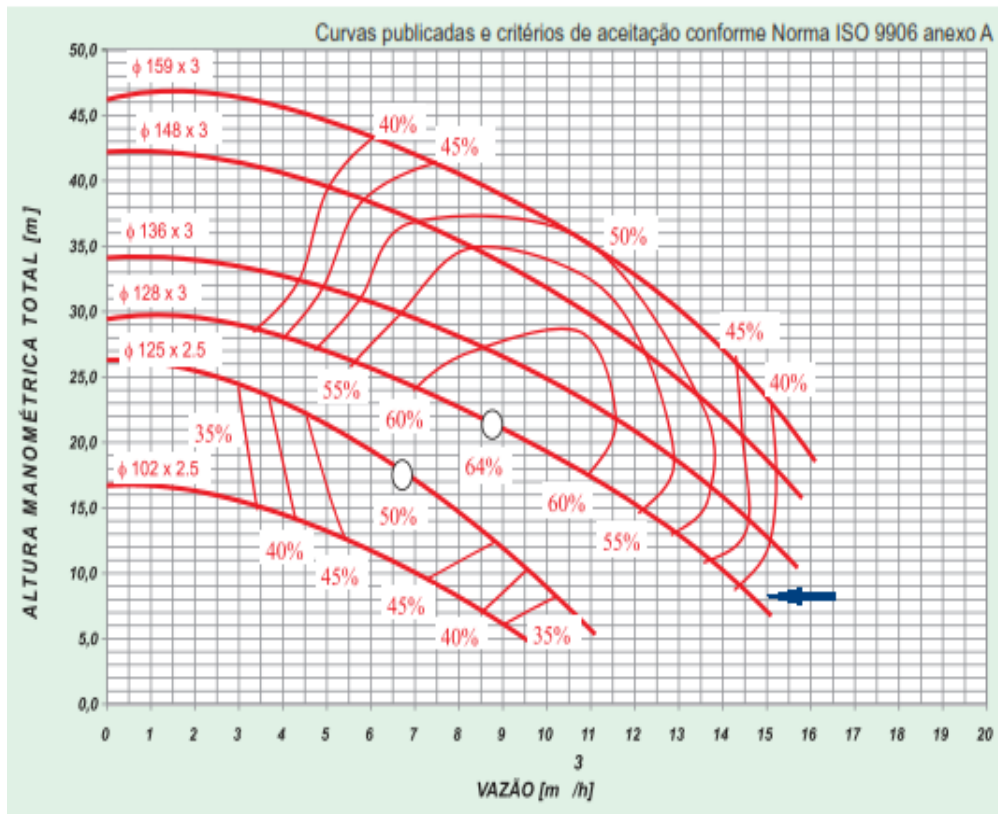


Figura 2.3. Curva de funcionamento bombas Thebe [16]

A Bombas com alongamento e intermediário 3500 RPM - 60 Hz

MODELO	CV	ESTÁGIO	ROTOR (mm)	SUÇÃO B.S.	RECALQUE B.S.	ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL EM METROS (mc.á.)																					ALTURA MÁXIMA								
						5	6	8	10	12	15	17	18	19	20	22	23	24	25	26	28	30	32	34	35	36		38	40	44	45	46			
						VAZÃO - METROS CÚBICOS POR HORA																													
TH-16 (**)/THA-16	½	1	102 x 2,5	1½"	1"	9,8	9,1	8,1	7,0	5,8	3,6	0																							18,7
TH-16 (**)/THA-16	¾	1	125 x 2,5	1½"	1"	11,0	10,6	10,3	9,7	9,0	7,9	7,3	6,7	6,3	5,7	4,6	4,0	3,3	2,4	1,0	0														27,0
TH-16 (**)/THA-16	1,0	1	128 x 3	1½"	1"	15,0	14,8	14,0	13,3	12,9	11,2	10,7	10,3	9,7	8,8	8,0	7,4	6,6	6,0	4,1	0														30,0
TH-16 (**)/THA-16	1,5	1	136 x 3	1½"	1"		16,0	15,5	15,0	14,5	13,3	12,9	12,4	12,1	11,2	10,8	10,2	9,6	8,1	7,7	6,0	3,5	0												34,0
TH-16 (**)/THA-16	2,0	1	148 x 3	1½"	1"			16,5	16,0	15,4	15,0	14,7	14,5	14,3	13,8	13,4	13,2	12,9	12,5	11,8	11,1	10,3	9,4	8,6	8,0	6,5	4,0	0						43,0	
TH-16 (**)/THA-16	3,0	1	159 x 3	1½"	1"						16,0	15,8	15,3	15,0	14,7	14,4	14,2	13,6	12,8	12,2	11,4	11,0	10,6	9,7	8,5	5,6	4,4	2,0						47,0	

(**) Opcional Sucção 1" x Recalque 1"

Figura 2.4. Características bomba Thebe [16]

Según las curvas en la Figura 2.3 y características de la Figura 2.4, se observa varios modelos que pueden satisfacer el caudal y presión requeridas se toma la bomba modelo TH-16 de 1HP la cual podrá ser regulada mediante un variador de frecuencia con el cual se variará el caudal para efectos de pruebas de funcionamiento requeridas en el proyecto.

Según datos técnicos que se encuentran en la placa de características sobre la carcasa del motor se tiene:

$$I_{protección} = I_{motor} \times 1,25$$

Ecuación 2.1 Valor de corriente para protección del motor [17, 18]

$$I_{protección} = 3,08 A \times 1,25$$

$$I_{protección} = 3,85 A$$

El breaker estándar por utilizar es de 4 A, como se dispone de un variador de frecuencia no existirán picos de corriente al arranque, el variador dispone de protección para sobrecarga.

Control de Velocidad.

Para controlar que el caudal que se requiere, circule por todo el sistema, y garantice un mejor proceso en las diferentes etapas, un variador de velocidad actuará sobre la bomba de alimentación de agua cruda, ya que en la homogenización el caudal debe ser menor en

la entrada para resultados óptimos; así también en el proceso de filtrado se necesita una velocidad de filtración determinada, la cual se obtiene de la relación entre el caudal y el área de filtración, que según cada fabricante impone su valor, siendo casi estándar un rango entre 10 y 15 (gpm/ft²), mientras menor sea la velocidad dentro del rango establecido, el filtro retendrá mejor los sólidos suspendidos en el agua.

Para poder variar el caudal de una bomba se necesita variar la velocidad del motor, y se realiza con variadores de velocidad. Para el efecto se utiliza uno de tipo monofásico y así conseguir el control de velocidad de la bomba y por consiguiente el caudal.



Figura 2.5. Variador de Velocidad 1HP monofásico. [18]

Construcción del proceso de homogenización.

Debido a que DBO es la demanda Biológica y el DQO es la demanda Química de Oxígeno necesario para degradar la materia Orgánica, con un proceso de homogenización el agua residual es oxigenada, permitiendo que el proceso de electrocoagulación pueda remover con más facilidad el material orgánico y por consiguiente baje el DBO y DQO.

Elección del motor para el proceso de oxigenación.

En este proceso se necesita oxigenar el agua residual, para lo cual se utilizará un motor con una hélice en su eje, que tenga un alto torque, ya que debe mover el volumen de agua; un motor-reductor, como se observa en la Figura 2.6, y en la Tabla 2.1 características eléctricas, se ajustan al propósito, ya que no se requiere velocidad sino torque, pues su reductor mecánico proporciona el par y velocidad adecuados.



Figura 2.6. Fotografía del motor con motor reductor incorporado.

Tabla 2.1. Características del motor utilizado.

CARACTERISTICAS	VALOR
Potencia salida	¼ HP
Voltaje	115 V
Corriente	1,85 A
Eficiencia	0,82
Velocidad Motor	3600 rpm
Velocidad Reductor	600 rpm
Frecuencia	60 Hz

Según datos técnicos que se encuentran en la placa de características detallados en la Tabla 2.1 del motor se tiene:

$$I_{protección} = I_{motor} \times 1,25$$

Ecuación 2.2 Valor de Corriente para protección eléctrica de motor

$$I_{protección} = 1,85 A \times 1,25$$

$$I_{protección} = 2,32 A$$

El breaker estándar es de 4 A.

Construcción de la celda electrolítica.

El diseño de la celda electrolítica toma en cuenta parámetros, tales como distancia entre electrodos, material del electrodo de sacrificio, la configuración de la celda electrolítica,

parámetros eléctricos como voltaje, corriente, fuente de energía, tipo de energía, dimensiones y número de electrodos.

Para obtener la máxima eficiencia además se considera los siguientes aspectos:

- Minimizar el sobre potencial entre electrodos causado por la resistencia de la solución y la acumulación de burbujas en la superficie de los electrodos.
- Maximiza la transferencia de masa entre electrodos.

El transporte de masa se puede incrementar aumentando la turbulencia de la solución en el reactor o cuba de electrocoagulación. Alrededor de los electrodos se forma burbujas gaseosas de hidrógeno y oxígeno, éstas son de forma esférica y a medida que se acumulan la resistencia de los electrodos aumenta, resultando en un aumento de la energía necesaria para lograr una remoción óptima; se puede acoplar un sistema de vibración para minimizar este efecto indeseado.

El diseño de la cuba de electrocoagulación divide tres zonas claras, una de flotación, zona de reacciones y zona de sedimentación. La proporción de volumen entre estas zonas está ilustrada en la Figura 2.7.

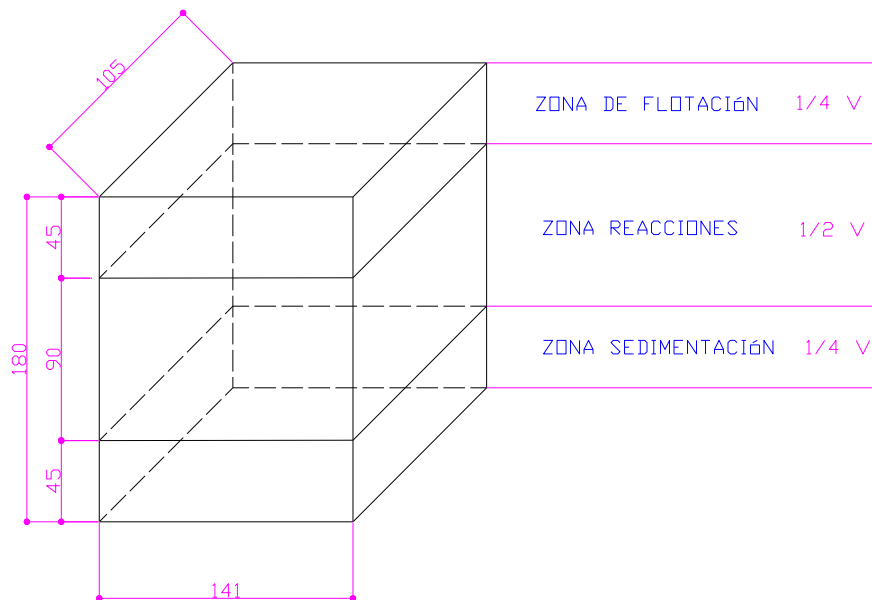


Figura 2.7. División de zonas, de la celda de electrocoagulación. [19]

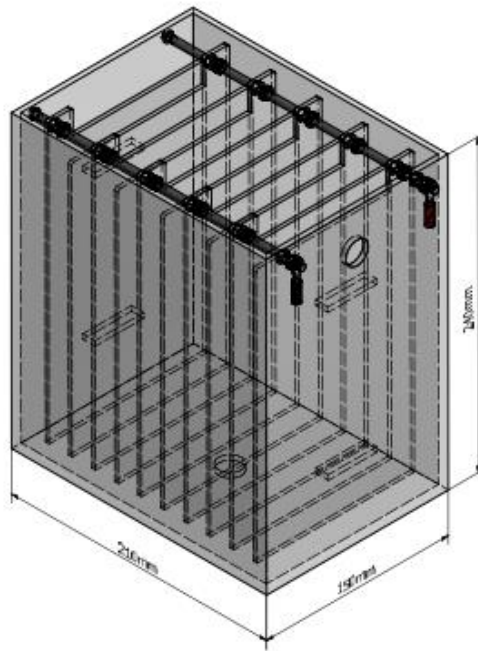


Figura 2.8. Dimensiones del tanque de electrocoagulación.

El tanque de electrocoagulación tiene una capacidad de $5.048,38 \text{ cm}^3 = 5,48 \text{ lt}$ y la división de la celda se hizo en tres partes, donde las más pequeñas, un cuarto de volumen cada una, son destinadas para el alojamiento de los lodos que se formarán producto de la actividad electrolítica en el interior de la zona de electrocoagulación que tiene el volumen mayor un medio de la capacidad total. Este alojamiento de lodos se efectuará por dos procesos uno de flotación provocado por la acumulación de burbujas moviendo el lodo hacia la superficie y de sedimentación por agrupamiento de las moléculas aumentando el peso y el efecto de la gravedad la llevaran al fondo. En la zona de reacciones, se tiene teóricamente el volumen de solución neto tratado.

Construcción de las placas electrodos de sacrificio.

La construcción de estas placas está indiscutiblemente ligada a las dimensiones físicas de la celda de electrocoagulación, forma, espesor, alto y ancho.

Otro aspecto es el material de fabricación, y dentro de esta selección hay que identificar lo siguiente:

- Disponibilidad.
- Materiales relativamente baratos.

- Información técnica.

Para obtener un promedio de operación de disolución de material óptimo es necesario el uso de electrodos con la mayor superficie de contacto posible.

Cálculos Empíricos.

Existe una relación experimental para determinar el número de electrodos a disponer dentro de una celda previamente establecida de acuerdo a la siguiente relación.

$$\# \text{ Electrodo} = \frac{(\text{ancho de celda}) - 2(\text{distancia electrodos a cara lateral})}{(\text{distancia máx. entre electrodos} + \text{espesor de placa})}$$

Ecuación 2.3. Número de electrodos o placas necesarias [17]

El ancho de celda está definido por las dimensiones de la cuba propiamente dicha.

La distancia de electrodos a cara lateral; está definida por la separación entre las caras laterales de la celda y los bordes de la placa tal como se puede observar en la Figura 2.9.

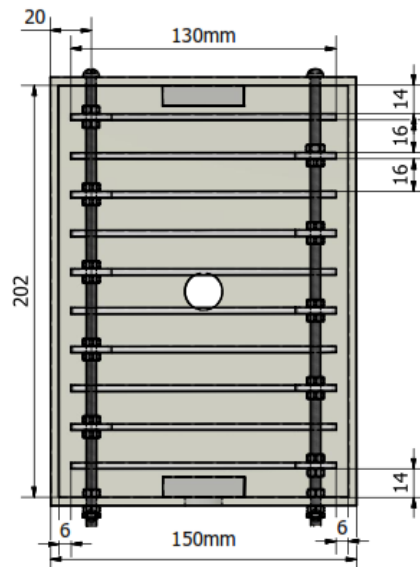


Figura 2.9. Separación de las placas electródicas, placas de sacrificio.

Ejemplo:

$$\# \text{ Electrodo} = \frac{(202) - 2(15)}{(16 + 3)}$$

Electrodo = 9,0526 ≈ 10 para tener números pares de electrodos

En la (poner figura) se puede observar que la distancia entre los electrodos tiene una medida de 16 (mm), pero en el cálculo está 15 (mm), esto obedece a que la distancia de separación de la placa en su cara frontal hacia la celda o tanque tiene una distancia de 14 (mm). [19]

Para establecer la distancia máxima entre electrodos existen algunos estudios y pruebas empíricas, para determinar la distancia óptima entre los electrodos. [19]

El espesor de placa está definido principalmente por el tiempo de vida útil de las placas, se evalúa cuan óptima es la transferencia de masa. También se define por la turbiedad de la solución. Se puede mencionar la disponibilidad del material, para no encarecer el costo de las placas elaborando a la medida, es bueno verificar lo que ofrece el mercado. [19]

Diseño del Conversor.

Para este proyecto se utilizará un convertidor Buck DC/DC, para conseguir un voltaje de 24 VDC y corriente de hasta 20 A en la salida o carga.

Con un voltaje de alimentación máximo de 33,9V en la entrada del convertidor y se obtendrá una tensión a la salida de 24V y una corriente máxima que circule por la carga de 15A como condiciones iniciales, el ciclo de trabajo que tendrá dicho convertidor se obtiene a partir de la Ecuación 1.13

$$D = 0,71 \rightarrow 71\%$$

Ecuación 2.4. Ciclo de Trabajo [12]

Con el ciclo de trabajo y una frecuencia de conmutación de 25kHz.se obtiene el valor de la inductancia con Ecuación 1.15

$$L = 373,81 \mu H$$

Ecuación 2.5. Valor de inductancia. [12]

Se toma 820 uH, que es una inductancia normalizada a continuación se calcula el rizado constatando si satisface el requerido con Ecuación 1.17.

$$X = (33,9 - 24) \cdot \frac{24}{33,9} \cdot \frac{1}{25000} \cdot \frac{1}{820 \times 10^{-6} \cdot 15} = 0,023 = 2,3\%$$

Ecuación 2.6. Rizado requerido. [12]

Como se observa el valor obtenido se ajusta perfectamente a un valor de rizado de corriente adecuado, ya que se encuentra por debajo del 5%.

Para el cálculo del condensador se emplea la Ecuación 1.18 y se supone un rizado de tensión de salida máximo del 0,5%, con lo que se obtiene que:

$$C = 14,146 \mu F$$

Ecuación 2.7. Capacitancia. [12]

Al igual que en el caso de la inductancia el valor obtenido para el condensador tampoco se ajusta a un valor comercial, por lo que, si se adapta a un valor estándar, el valor que se obtiene es de 22 uF.

$$E = \frac{1 - 0,71}{8 \cdot 820 \mu H \cdot (25 \text{ kHz})^2 \cdot 22 \mu F} = 0,003 \rightarrow 0,3\%$$

Ecuación 2.8. Nuevo rizado. [12]

De la Ecuación 2.8 se tiene que el máximo valor que puede tomar la función es independiente del ángulo de disparo. El voltaje máximo es un valor constante, por lo que la inductancia es la que define el rizado de la corriente.

Diseño de la inductancia equivalente.

Para obtener un rizado máximo a partir de la definición de la Figura 2.10 se calcula la corriente eficaz que debe circular por el inductor de potencia.

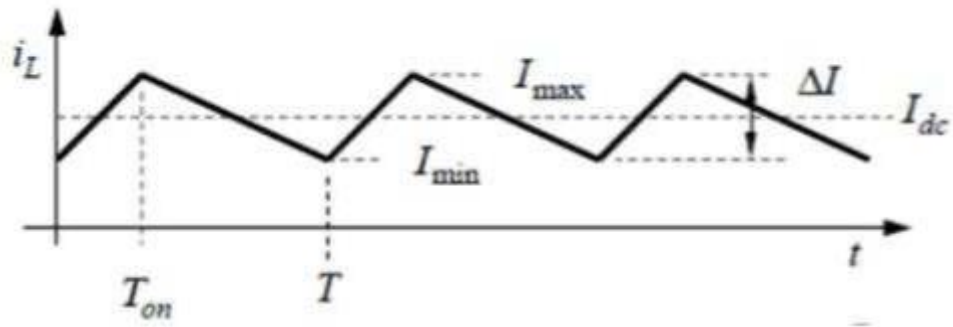


Figura 2.10. Corriente sobre el inductor de Potencia [20].

$$I_{rms}^2 = I_{dc}^2 \frac{1}{12} \Delta I^2$$

Ecuación 2.9. Corriente RMS. [20]

$$I_{rms}^2 = (15A)^2 \frac{1}{12} (1A)^2$$

$$I_{rms} = 4,33 A$$

En la Figura 2.11 se detallan los parámetros importantes del conductor que se va a utilizar para la construcción de las bobinas.

$$\frac{I_{rms}}{A_{bw}} \leq J_{max}$$

Ecuación 2.10. Densidad de corriente. [20]

$$d_{bw} > \sqrt{\frac{4 I_{rms}}{\pi J_{max}}}$$

Ecuación 2.11. Diámetro del alambre. [20]

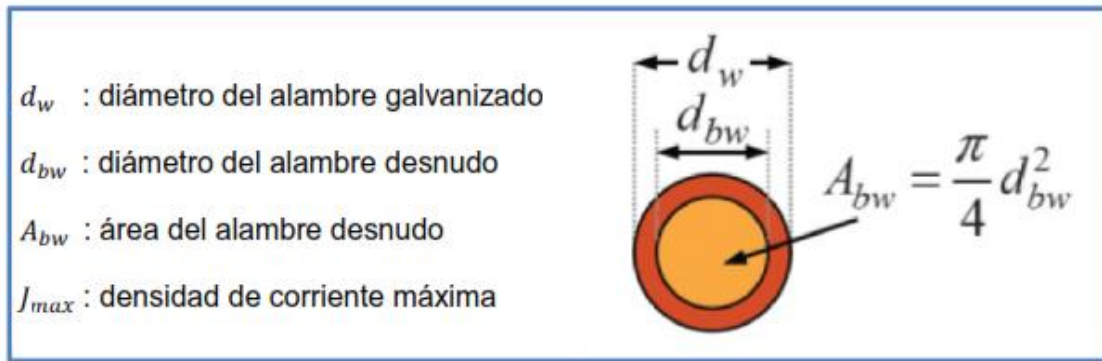


Figura 2.11. Descripción del conductor. [20].

Para el diseño del inductor se tiene:

- Densidad de corriente de $5 \frac{A}{mm^2}$. Reemplazando en la Ecuación 2.11 se obtiene. [18]

$$d_{bw} > \sqrt{\frac{4(4,33)}{5\pi \frac{A}{mm^2}}}$$

$$d_{bw} > 1.05mm$$

Obtenido el diámetro seleccionamos el cable 18 AWG [19].

Cálculo de número de vuelta con toroide y la selección de la geometría del núcleo

La restricción de la corriente eficaz con respecto al flujo máximo se realiza para asegurar que el conductor seleccionado sea capaz de soportar la corriente dimensionada para el flujo estimado. [18]

$$\frac{I_{rms}}{A_{bw}} \leq J_{max}$$

Ecuación 2.12. Flujo máximo. [18]

Reemplazando el área del conductor

$$\frac{4I_{rms}}{\pi d_{bw}^2} \leq J_{max}$$

Ecuación 2.13. Reemplazo de área en ecuación 2.12. [18]

$$\frac{4(4,33)}{\pi(1,05)^2} \leq J_{max}$$

$$5 \leq J_{max}$$

La densidad de corriente máximo estimado tiene un valor de $5 \frac{A}{mm^2}$ por lo que la restricción de la corriente eficaz se satisface.

La geometría del núcleo se dimensiona para obtener el valor deseado de inductancia con el menor tamaño posible sin saturar el núcleo.

De la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se escoge el núcleo tipo Toroide debido a su bajo costo en el bobinado, la facilidad para la construcción y ensamblaje en conjunto con una buena disipación de calor.

Con la Ecuación 2.14, se realiza el cálculo para determinar el número de espiras que se enrollaran en el núcleo toroide Figura 2.12, y obtener la inductancia requerida para el proyecto.

Tabla 2.2. Cuadro comparativo de Distintos Tipos de Núcleos [20].

	Toroide	Formas			Núcleos de bote			
		E	EC ETD EER	ER Planar	PO	Núcleo de Bote	DS RM	EP
Costo de núcleo	Muy bajo	Bajo	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto	Medio
Costo de bobina	Ninguno	Bajo	Medio	Ninguno	Alto	Bajo	Bajo	Alto
Costo de devanado	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Flexibilidad de devanado	Justo	Excelente	Excelente	Pobre	Bueno	Bueno	Excelente	Bueno
Dificultad de ensamblaje	Simple	Simple	Simple	Medio	Moderado	Simple	Moderado	Moderado
Flexibilidad de montaje	Pobre	Justo	Justo	Pobre	Justo	Bueno	Bueno	Bueno

Disipación de calor	Bueno	Bueno	Bueno	Excelente	Bueno	Pobre	Excelente	Pobre
Blindaje	Excelente	Pobre	Pobre	Pobre	Bueno	Excelente	Bueno	Excelente

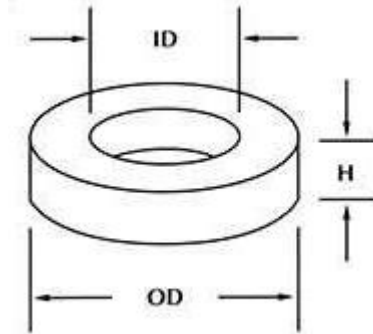


Figura 2.12. Núcleo Toroide [20]

$$NE = \frac{\pi \cdot DI}{DH}$$

Ecuación 2.14. Número de espiras. [20]

NE es el número de espiras.

DI es el diámetro interior

DH es el diámetro del hilo

$$NE = \frac{\pi \cdot 4,8}{1,22}$$

$$NE = 21,6 \approx 22$$

Cálculo disipador de un transistor.

Existen dos componentes en el convertidor Buck que puede que necesiten disipadores de calor, estos componentes son el diodo 1N 5822 y el transistor IRF1404. [18].

Para determinar la necesidad de un disipador, se realiza el siguiente cálculo.

Para los dos elementos se considerarán dos aspectos importantes.

- Entre el componente y el disipador se utiliza una silicona termo-conductora que facilita la transmisión de calor, y que tiene una resistencia térmica de $1 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$
- La temperatura ambiente se considera 25°C

La expresión Ecuación 2.15 que se utiliza es semejante a la expresión de la ley de ohm.

$$T_j - T_a = P \cdot R_{th_{total}}$$

Ecuación 2.15. Disipación de temperatura. [18]

T_j Es la temperatura máxima de la unión del elemento semiconductor.

T_a Es la temperatura ambiente.

P Es la potencia a disipar por el componente

$R_{th_{total}}$ Es la resistencia térmica total del componente.

Para saber si el componente necesita disipador se ha calculado T_j y luego se compara este valor con la temperatura máxima de la unión del componente.

Si T_j es mayor, igual o es un poco inferior a la temperatura máxima de la unión, entonces el componente necesita disipador.

Para el cálculo de la resistencia térmica disipador-ambiente $R_{th_{d-a}}$ se calcula con la siguiente formula:

$$R_{th_{d-a}} = \frac{T_j - T_a}{Pd} - (R_{th_{j-c}} + R_{th_{c-d}})$$

Ecuación 2.16. Resistencia térmica disipador-ambiente. [20]

Calculo de T_j para el diodo

La hoja técnica del componente nos proporciona la resistencia térmica, entre la juntura y el ambiente $R_{th_{j-a}} = 28 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$.

La temperatura en la unión es de 80°C existe un buen margen y no es necesario implementar un disipador.

Calculo de T_j para el transistor

Igual que se ha realizado con el diodo lo primero que se ha buscado son los datos del fabricante en la hoja técnica. Y se obtiene lo siguiente:

La temperatura de la unión $T_j = 175^\circ\text{C} \times 0,7 = 122,5^\circ\text{C}$, la resistencia entre la unión y la carcasa $R_{th_{j-c}} = 0,45 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$, la resistencia térmica entre la carcasa y el disipador $R_{th_{c-d}} = 0,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$, la potencia máxima del transistor son 333W a 25°C. [23]

El consumo que se estima en el transistor es de 40 W. se calcula:

$$R_{th_{d-a}} = \frac{(175 \times 0,7) - 22}{40} - \left(0,45 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} + 0,50 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \right)$$

$$R_{th_{d-a}} = 1,56 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

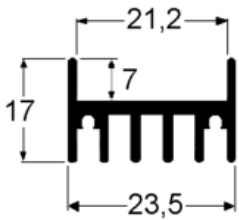
Material: Aluminio 6063	Largo mm	Ancho mm	Alto mm	Resistencia Térmica			Ref.
				Convección Natural	Conv. forzada		
					2 m/seg.	5 m/seg.	
	25,0	23,5	17,0	17,6°C/W(3,4W)	6,7°C/W	4,2°C/W	H2317
	30,0	23,5	17,0	14,7°C/W(4,1W)	6,3°C/W	4,0°C/W	
	37,5	40,0	20,0	8,9°C/W(6,7W)	3,5°C/W	2,2°C/W	
	50,0	40,0	20,0	7,5°C/W(7,8W)	2,9°C/W	1,8°C/W	
	75,0	40,0	20,0	6,2°C/W(9,7W)	2,4°C/W	1,5°C/W	
	100,0	40,0	20,0	5,4°C/W(11,1W)	2,1°C/W	1,3°C/W	

Figura 2.13. Resistencia térmica disipador H2317 [23]

Según la Figura 2.13 se tomó el disipador con resistencia térmica de 1,5°C/W con convección forzada usando un ventilador para enviar el aire a través del disipador, según el cálculo se obtuvo una resistencia térmica igual a 1,56°C/W se toma un disipador con una resistencia terminal menor para asegurar la disipación del calor en el transistor o mosfet.

Para mejorar la disipación se coloca una base de aluminio para absorber el calor circundante que pueda existir a su alrededor.

Diseño y construcción de placas y circuitos y cálculo mínimo de las pistas

Para calcular el ancho de una pista electrónica se necesita conocer tres datos:

- La corriente máxima que puede circular por la pista.
- El incremento máximo permitido de temperatura que puede soportar esa pista.
- El grosor de la pista.

Se diseña un circuito para que funcione a una temperatura ambiente de 50°C y nunca sobrepase 60°C, el incremento máximo de temperatura permitido debe ser 10°C. [24]

El grosor de la pista depende del material de la pista. Normalmente el grosor estándar de una pista 35, 70 y 105 micras.

Las fórmulas para el cálculo del ancho de pista son las siguientes:

$$Ancho = \frac{Area}{L \cdot 1,378}$$

Ecuación 2.17. Ancho pista. [24]

$$Area = \left[\frac{I}{k1 \cdot \Delta T^{k2}} \right]^{\frac{1}{k3}}$$

Ecuación 2.18. Área de pista. [24]

$$Ancho = \frac{\left[\frac{I}{k1 \cdot \Delta T^{k2}} \right]^{\frac{1}{k3}}}{L \cdot 1,378}$$

Ecuación 2.19. Sustitución de ecuación 2.18 en 2.17. [24]

L = 1

1 onza/pie² es 35 micras

2 onza/pie² es 70 micras

3 onza/pie2 es 105 micras

$$I = \frac{V_o}{R} = \frac{24}{2K} = 0,012 \approx 0,01A$$

Ecuación 2.20. Corriente máxima por placa. [24]

$\Delta T = 10^\circ C$ incremento sobre la temperatura ambiente

k1 = 0,0647 Constante pista externa

k2 = 0,4281 Constante pista externa

k3 = 0,6732 Constante pista externa

$$\text{Ancho} = \frac{\left[\frac{I}{k_1 \cdot \Delta T^{k_2}} \right]^{\frac{1}{k_3}}}{L \cdot 1,378} = \frac{\left[\frac{0,01}{0,0647 \cdot 10^{0,4281}} \right]^{\frac{1}{0,6732}}}{1 \cdot 1,378} = 0,0104 \text{mils}^2$$

Las unidades son milésimas de pulgadas.

1 pulgada² = 6,45 cm²

1 m² = 10000 cm²

Si se hace la conversión se obtiene el ancho en metros cuadrados.

$$\frac{0,0104 \text{ mils}^2}{1000000 \text{ mils}^2} \cdot \frac{1 \text{ pulgada}^2}{1 \text{ pulgada}^2} \cdot \frac{6,45 \text{ cm}^2}{10000 \text{ cm}^2} \cdot 1 \text{m}^2 = 6,71 \times 10^{-12} \text{m}^2$$

Ecuación 2.21. Conversiones. [24]

Mediante la fórmula del área del rectángulo, y al conocer el grosor se puede aislar el ancho mínimo de las pistas.

$$A = b \cdot h$$

Ecuación 2.22. Área del rectángulo. [24]

A = 6,71 x 10⁻¹²

Área obtenida (m²)

$$h = 35 \times 10^{-6}$$

Grosor (m)

$$b = \frac{A}{h} = \frac{6,71 \times 10^{-12}}{35 \times 10^{-6}} = 1,92 \times 10^{-7}m$$

El grosor mínimo de las pistas ha de ser de 0.000192mm. En este proyecto no existe ninguna pista más estrecha que 0.8mm. No existen pistas con ángulos de 90°; cuando se precisa efectuar un giro en una pista, se lo realiza con dos ángulos de 135°. Los puntos de soldadura están realizados en círculos cuyo diámetro es al menos el doble.

Generación PWM.

La señal de control que comanda la entrega de energía DC en la salida de voltaje del conversor Buck es una señal modulada por ancho de pulso PWM. Esta se obtiene con un sistema micro-procesado, utilizando el PIC 16F876A por ser altamente comercial, reemplazable, de bajo costo, familiaridad con el lenguaje de programación.

Control de la dosificación del polímero.

En la etapa 3 del proceso del tratamiento de agua de residuo, se añade un polímero, el cual tiene la función de agrupar las partículas de lodo que se generaron en el proceso anterior, dando lugar a que estas partículas sean más grandes y sean retenidas en el proceso posterior, el de filtrado; en este proceso se requiere, que el polímero sea dosificado gradualmente, según el caudal que se tenga, ya que el pH del agua puede ser ácido o básico dependiendo de la dosificación, también se necesita que el polímero sea distribuido o mezclado con toda el agua tratada, para lo cual se requiere un dosificador automático y un mezclador permanente conocido como mixer.

Determinación de Cantidad de Floculante.

Prueba de Jarras.

Esta prueba se realiza para determinar la cantidad exacta del químico floculante PAC policloruro de aluminio al 19% a ser dosificado. Esta prueba consiste en ir añadiendo PAC

en distintas concentraciones en muestras de agua resultante de la electrocoagulación Figura 2.14, la cantidad de muestras a probar se determina por la cantidad de concentraciones a realizar.

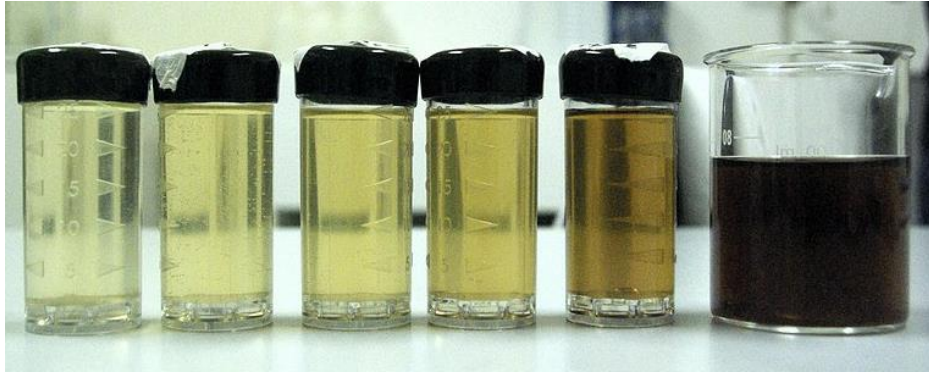


Figura 2.14. Prueba de Jarras. [25]

Analizador de Carga.

Para saber con más precisión, exactitud y en un tiempo mucho más reducido que en la prueba de jarras, que dosis de floculante debe inyectarse al agua procedente del proceso de electrocoagulación, se utiliza un analizador de cargas marca Chemtrac CCA3100 Figura 2.15.



Figura 2.15. Analizador de Cargas Chemtrac CCA-3100 [26]

El objetivo del analizador de cargas es medir la carga del agua, ya que cuando esta tiene sólidos disueltos, que en su mayoría son sales de ion negativos, todas estas partículas coloidales en el agua estarán repeliéndose unas a otras por tener la misma carga negativa,

impidiendo que se precipiten, el analizador de cargas mide la carga negativa y con el uso de un coagulante se la neutraliza, observando este valor en el analizador cuando desde un valor negativo pasa a cero y posterior a un valor positivo, esto significa que esa cantidad de coagulante dosificado para neutralizar la carga es el indicado para dicha agua de residuo a ser tratada.

Diseño del dosificador del polímero.

El polímero, es el químico floculante PAC (policloruro de aluminio 19%) éste es utilizado en floculación para procesos de filtración en tratamientos de purificación de efluentes, es de fácil obtención, y se lo encuentra en estado líquido de color ámbar o ámbar coloreado.

Para este proyecto se considerado la posibilidad de simular que el polímero está por agotarse, y para fines didácticos se ha elegido un sensor el cual tiene un interruptor, además se ha pensado en la posibilidad de que el operador o técnico de mantenimiento, pueda visualizar que el polímero esta por agotarse antes que se genere la alarma en el tablero de control.

Para implementaciones a gran escala en industrias, ya no se requerirá que el sensor tenga la opción de simular que el polímero está por agotarse, pero, la visualización de este caso es una buena opción; en el mercado existen un sin número de dosificadores de líquidos los cuales pueden ser utilizados para este proceso, según sea el requerimiento de las industrias.

En este proyecto, se ha considerado construir el dosificador con un recipiente cuadrado de plástico transparente Figura 2.16.

A continuación, se realiza el cálculo para obtener la cantidad de polímero coagulante PAC, su cantidad de dilución y caudal de dosificación.

$$Q = 15 \frac{l}{min} = 3.96 \text{ gpm}$$

$$dosiQuim_{100\%} \left[\frac{kg}{dia} \right] = Q \left[\frac{lt}{dia} \right] \times Dosis \left[\frac{kg}{lt} \right]$$

Ecuación 2.23. Dosificación de químico. [27]

$$dosiQuim_{100\%} = 3.96 \text{ gpm} \times \frac{3.785 \text{ lt}}{1 \text{ gal}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ dia}} \times \frac{10 \text{ mg}}{l} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000000 \text{ mg}}$$

$$dosifQuim_{100\%} = 0.22 \frac{Kg}{d}$$

$$dosifQuim_{19\%} = 0.22 \frac{Kg}{d} * \frac{1}{0.19}$$

Ecuación 2.24. Dosificación al 19%. [27]

$$dosifQuim_{19\%} = 1.14 \frac{Kg}{d}$$

$$densidad_{Al_2(OH)_3Cl\ 19\%} = 1.36 \frac{Kg}{l}$$

Ecuación 2.25. Densidad Policloruro de Aluminio al 19%. [27]

$$Dosific_{Al_2(OH)_3Cl\ 19\%} = \frac{1.14\ l}{1.36\ d}$$

Ecuación 2.26. Dosificación por día. [27]

$$Dosific_{Al_2(OH)_3Cl\ 19\%} = 0.84 \frac{l}{d} = 0.00058 \frac{l}{min} = 0.58 \frac{ml}{min}$$

Se necesita dosificar:

$$Dosific_{Al_2(OH)_3Cl\ 19\%} = 0.58 \frac{ml}{min} \approx 0.6 \frac{ml}{min}$$

Ya que este caudal es muy pequeño para poderlo dosificar se multiplica por 100

$$Dosific_{Al_2(OH)_3Cl\ 19\%} = 0.6 \frac{ml}{min} \times 100 = 60 \frac{ml}{min} = 1 \frac{ml}{seg}$$

Con un caudal mayor y cuantificable, se puede dosificar una gota por segundo, controlando la apertura de la electroválvula en ese intervalo de tiempo.

Para preparar la solución o mezcla se tiene que al día se dosifica:

$$Dosific_{Al_2(OH)_3Cl\ 19\%} = 0.84 \frac{l}{d}$$

Con un volumen

$$Vol_{Al_2(OH)_3Cl\ 19\%} = 0.84\ l \times 100 = 84\ l$$

Ecuación 2.27. Volumen. [27]

A continuación, se obtiene un volumen de solución de 84 litros

Es decir, 0.84 litros de PAC y 83.16 litros de agua osmotizada o pura

En el proyecto se necesita 1 litro de mezcla, para lo cual:

$$\frac{84 \text{ l}_{\text{solucion}}}{1 \text{ l}_{\text{solucion}}} = \frac{0.84 \text{ l}_{\text{Al}_2(\text{OH})_3\text{Cl } 19\%}}{X}$$

Ecuación 2.28. regla de tres. [27]

$$Vol_{\text{Al}_2(\text{OH})_3\text{Cl } 19\%} = 0.01 \text{ l}_{\text{Al}_2(\text{OH})_3\text{Cl } 19\%} = 10 \text{ ml}_{\text{Al}_2(\text{OH})_3\text{Cl } 19\%}$$

Se tendría que realizar la mezcla con 17 ml de PAC y 9.83 litros de agua pura

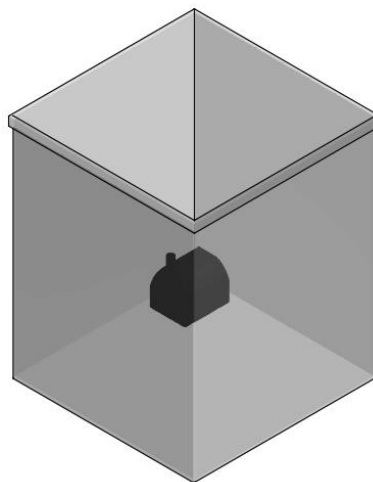


Figura 2.16. Recipiente utilizado para dosificación de Floculante líquido

La dosificación automática se la realiza mediante una bomba para fuentes de agua, comandada por el PLC, en el que se programó temporizadores y depende del caudal de ingreso, para una correcta dosificación.

Mezclador.

Para el mezclador se utilizará un motor similar al elegido en el proceso de homogenización, se requiere mezclar el mismo volumen de agua, se oxigenará aún más el agua tratada, se

mezclará el floculante se unirán las partículas pequeñas, incrementando se tamaño y con esto serán fáciles de filtrar.

Implementación de un sistema de filtrado y elección del filtro para el sistema.

Para este proyecto, se determina utilizar un filtro de sedimentos con una carcasa 23.8"x5.13" (56.8cmx13cm) Figura 2.17 y con un cartucho interno de sedimentos de polipropileno soplado de 20"x2.5" de 5 micras Figura 2.19, ya que el caudal que va a circular es de 3.96 gpm, el cartucho de sedimentos maneja un caudal de 5gpm máximo según Tabla 2.3, como la exigencia del proceso, no es de nivel industrial, se puede garantizar un buen filtrado del fluido tratado, se realiza una conexión de filtros en paralelo Figura 2.18, para tener uno en funcionamiento y otro de reserva hasta que se produzca un taponamiento y el sistema realice el cambio automático de la dirección del fluido hacia el filtro de reserva que está limpio, permitiendo intervenir en el cambio de filtro sin que el proceso se detenga. En la tubería de ingreso a los filtros se ha dispuesto una válvula, para simular el taponamiento, incrementar la presión y verificar el cambio de filtro que realiza el PLC.



Figura 2.17. Carcasa 23.8"x 5.13" para filtro de sedimentos [28]

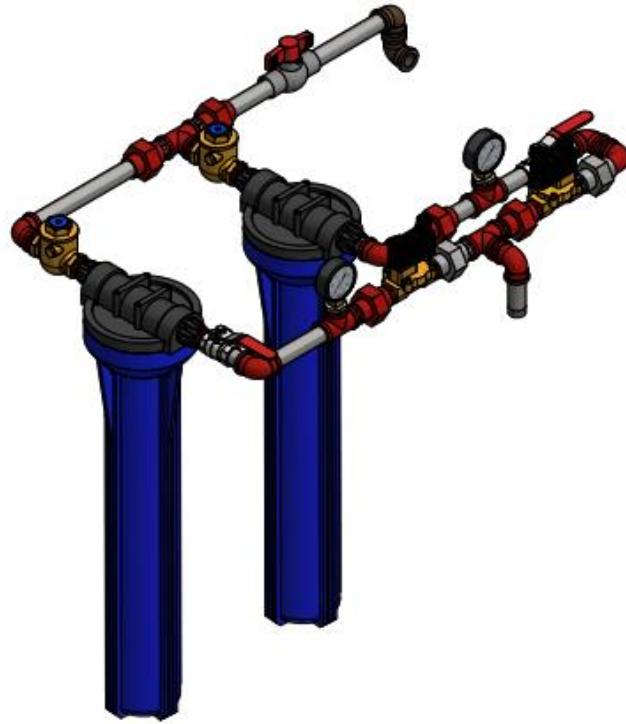


Figura 2.18. Filtros en paralelo

El cartucho de sedimentos de polipropileno soplado tiene una capacidad de filtrado de 5 micras esto quiere decir que no captará partículas menores de ese tamaño.



Figura 2.19. Cartucho de sedimentos de polipropileno soplado 5 micras [29]

Tabla 2.3. Características del cartucho de sedimentos [29]

Presión máxima de trabajo	Caudal máximo recomendado	Caída de Presión
7 kg/cm ² (99 psi)	19 lpm (5 gpm)	<2 psi *

Elección de la bomba de agua para el sistema de filtrado.

Para la elección de la moto-bomba, se deben tomar en cuenta algunos aspectos como el sistema de filtrado, el rango de filtración, la posibilidad de retro-lavado del filtro. Hay que analizar a cuantos galones por minuto el filtro tiene el mejor tiempo de contacto con el agua para realizar su objetivo y hasta que presión se puede aplicar al mismo, todos estos datos están dados por el fabricante. Para este proceso se necesita un caudal de 3.6 gpm a una presión de 20-30 psi, ya que a caudales mayores los cartuchos de filtración no cumplirán su función de retener los sólidos disueltos en el agua, y como se requiere variar la velocidad para asegurar que el caudal sea el adecuado se escoge la misma bomba de 1HP Figura 2.2 que tiene la posibilidad de controlar su velocidad mediante un variador de frecuencia.

Elección del sensor para nivel de líquidos.

Para este proyecto se utilizó un interruptor magnético de nivel tipo boya Figura 2.20, por su bajo costo, su facilidad de montaje y porque puede enviar una señal digital para control, un contacto seco que indicar la existencia de fluido.



Figura 2.20. Sensor magnético de nivel tipo boya. [30]

Caudalímetro

Según el caudal requerido de 15 litros por minuto, calculado anteriormente, se eligió el caudalímetro FLOW25L0 Figura 2.21, mismo que está en el rango de operación, según la Tabla 2.4.



Figura 2.21. Caudalímetro [31]

Tabla 2.4 Pulsos Vs Caudal de fluido [31]

PULSOS POR SEGUNDO	CAUDAL
3.5 ± 1.0 pps	1.5 Litros/min. (0,39 gpm)
26.1 ± 3.0 pps	6.0 Litros/min. (1,59 gpm)
57.8 ± 5.0 pps	15.0 Litros/min. (3,96 gpm)
76.2 ± 7.0 pps	20.0 Litros/min. (5,28 gpm)

Elección del interruptor de presión.

Cuando se requiere realizar el cambio de filtros ante la saturación de uno de ellos el interruptor de presión, Figura 2.22, detectará el incremento de presión calibrado en 40 psi como valor máximo en la entrada del filtro, este método se utiliza normalmente en plantas de tratamiento de agua, cuando se quiere enviar a realizar un retro-lavado automático de los sistemas de ultrafiltración cuando sus membranas ya tienen incrustación de sedimentos, y cuando el filtro así lo permite.



Figura 2.22. Interruptor de Presión SQUARD [32]

Construcción de estructura metálica

Una vez determinadas todas las etapas que conforman el sistema, se construye la estructura metálica que servirá de soporte para todos los equipos y dispositivos del proceso, se tiene 4 etapas las cuales son:

- Homogenización (Oxigenación de la solución a tratar).
- Electrocoagulación (Proceso de Electrolisis).
- Dosificación de Floculante y Mezclado (Mixer)
- Filtración y Almacenamiento de agua tratada.

La construcción de la estructura se realizó en forma de cascada para aprovechar la caída libre del agua por acción de la gravedad, Figura 2.23.

Se realizó un plano en el software inventor, para luego construirlo según el plano en un taller metalmecánico, y según las especificaciones de construcción de esfuerzo y rigidez que debía soportar la estructura con las cubas llenas de agua.

Se propuso dejar la primera cuba a 160 cm e ir bajando de altura 40 cm aproximadamente para cada etapa, es decir la segunda cuba se colocará a 120cm, la tercera cuba a 80 cm y la última a 40 cm.

Las dimensiones de toda la estructura se detallan en el anexo IV.

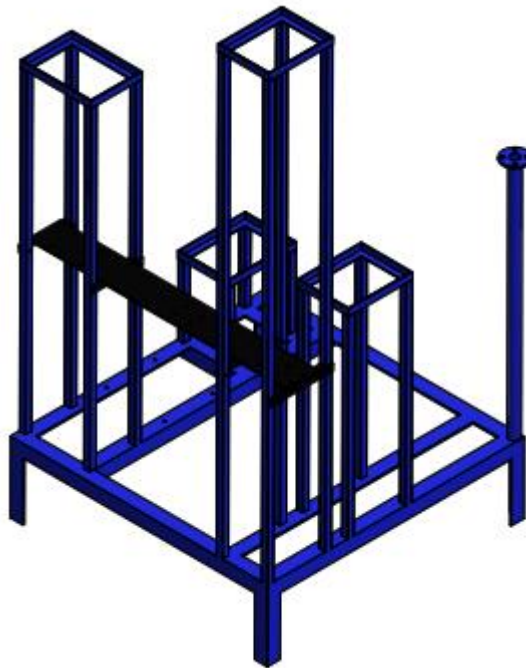


Figura 2.23. Estructura Metálica

Diseño del sistema prototipo de electrocoagulación.

Se requiere un PLC económico y que cumpla con las necesidades del proyecto, ya que sólo se utilizarán entradas y salidas digitales, se elige el S7-200 de Siemens, el cual tiene las características mencionadas.

Asignación de entradas/salidas.

Tabla 2.5. Asignación de entradas y salidas.

ELEMENTO	PROPÓSITO	N° ENTRAD	N° SALIDAS	OPT. ENT/SALI PLC
Paro de emergencia (S1)	Detener todo el sistema para reinicio	1		I0.0
Pulsador de Inicio (S2)	Inicio del proceso	1		I0.1

Pulsador de Paro (S3)	Detener el proceso	1		I0.2
Sensor de nivel alto (LSH-1)	Detectar nivel alto de fluido en tanque TK-001	1		I0.3
Sensor de nivel alto (LSH-2)	Detectar nivel alto de fluido en tanque TKE-002	1		I0.4
Sensor de nivel alto (LSH-3)	Detectar nivel alto de fluido en tanque TK-003	1		I0.5
Switch de Presión (PS1)	Detectar presión alta entrada de filtros	1		I0.6
Sensor de nivel bajo (LSL-2)	Detectar nivel bajo de fluido en tanque TK-005	1		I0.7
Señal Q bajo de Conversor DC-DC	Señal caudal bajo de ingreso	1		I1.0
Señal Q mínimo de Conversor DC-DC	Señal caudal mínimo del ingreso	1		I1.1
Sensor de nivel bajo (LSL-1)	Detectar nivel bajo de fluido en tanque TKW-001	1		I1.2
Sensor de nivel alto (LHS-4)	Detectar nivel alto de fluido en tanque TK-004	1		I1.3
Relé K1 para Bomba Booster alimentación P-001 y para Luz Piloto (verde) LB1	Alimentación de fluido al sistema		1	O0.0
Relé K9 para Moto reductor mezclador	Oxigenar el agua cruda		1	O1.0

M-001 (homogenización)				
Relé K2 para Válvula motorizada (MV-1)	Apertura y cierre fluido		1	O0.1
Relé K3 para Válvula motorizada (MV-2)	Apertura y cierre fluido		1	O0.2
Relé K4 para Bomba Booster filtración P-002	Alimentación de fluido filtros		1	O0.3
Relé K5 para Luz Piloto (roja) LB2	Aviso sistema parado		1	O0.4
Relé K6 para Luz Piloto (azul) LB3	Aviso floculando bajo		1	O0.5
Relé K7 para Electro-válvula (SV- 3)	Apertura y cierre fluido		1	O0.6
Relé K8 para Electro-válvula (SV-4) y para Electro-válvula (SV-5)	Apertura y cierre fluido		1	O0.7
Relé K10 para Moto reductor mezclador M-002 (floculante)	Mezclar polímero floculante		1	O1.1
	TOTAL	12	10	12E/12S

Características del PLC.

De acuerdo a la Tabla 2.5, el sistema prototipo de electrocoagulación requiere 12 entradas y 10 salidas. El PLC Simatic S7-200 CPU 224 tiene las siguientes especificaciones técnicas:

- Fuente de poder de 110 a 230V
- 24V dc digital I/O

- Fácil conexión mediante conectores tipo “D”
- Memoria EEPROM incorporada.
- Entradas conmutadas
- LED's indicadores de estado
- 14 entradas digitales
- 10 salidas digitales

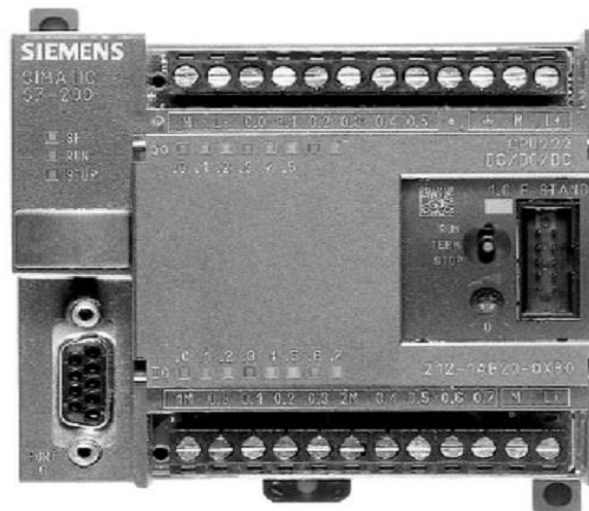


Figura 2.24 PLC Simatic S7-200 CPU 224

Diagrama de flujo Sistema de Electrocoagulación.

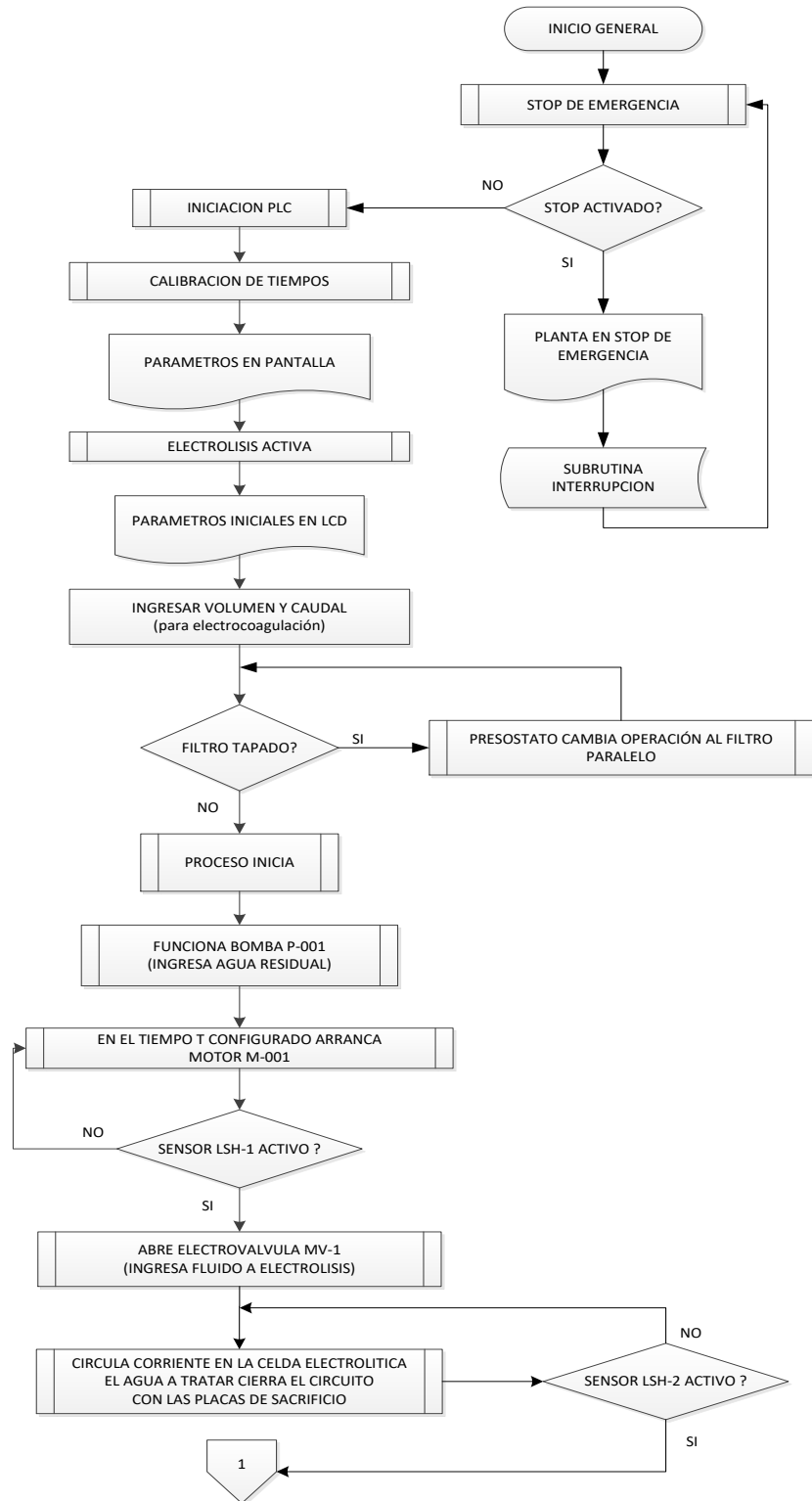


Figura 2.25. Procesamiento de la planta. Parte I.

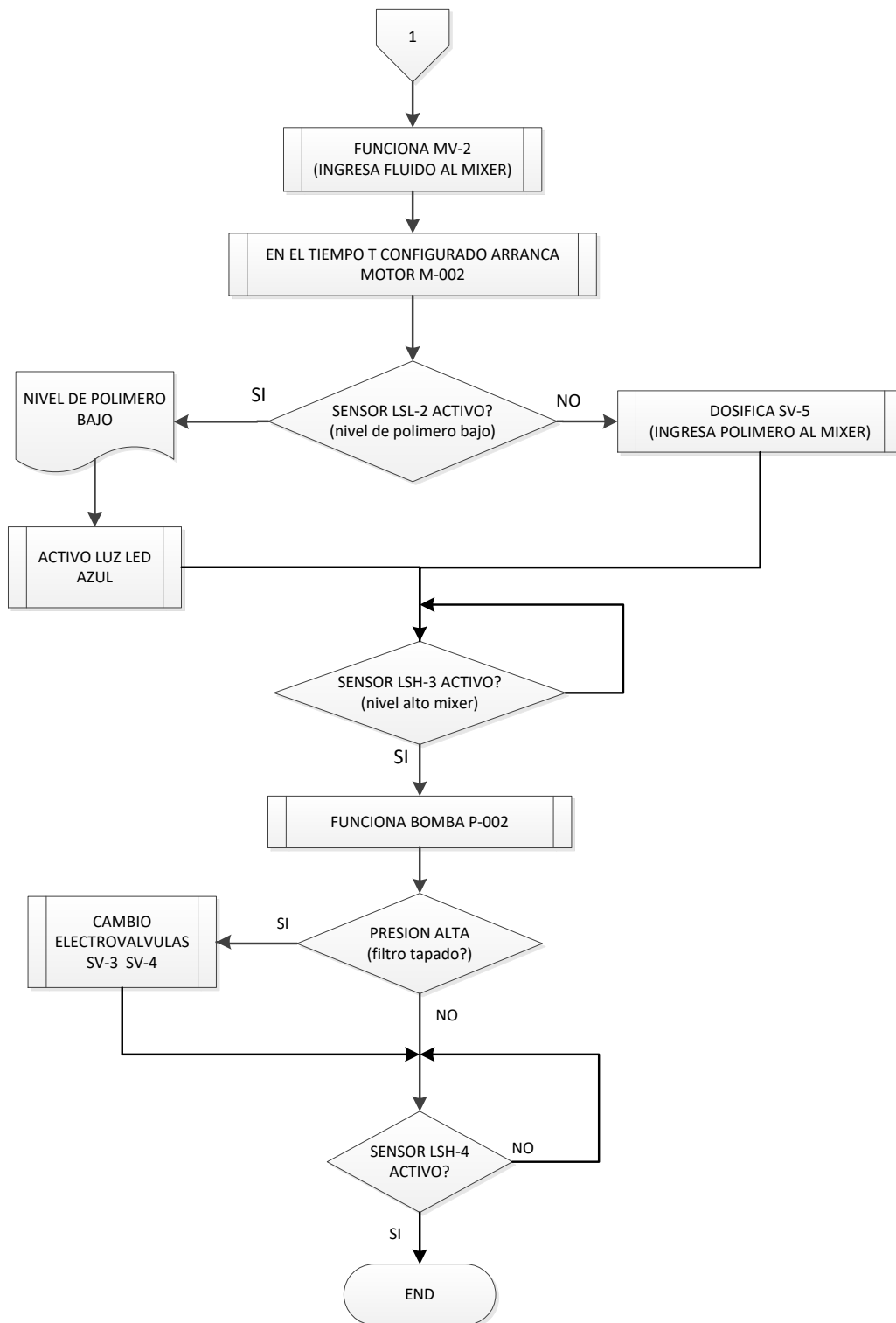


Figura 2.26. Procesamiento de la planta. Parte II.

Lógica del proceso completo de electrocoagulación.

De acuerdo a la Figura 2.25 cuando el proceso va a ser iniciado por primera vez, la bomba P-001 para el ingreso del agua residual se pone en funcionamiento y el motor reductor M-001 del tanque de homogenización funcionará después del tiempo programado en el subproceso “calibración de tiempos”, el cual agita el fluido para oxigenar el agua residual gradualmente, mientras se llena el tanque TK-001.

Cuando el sensor LSH-1 detecta el nivel alto del fluido, envía la orden poniendo en funcionamiento la válvula motorizada MV-1, para alimentar el tanque TKE-002 en donde empieza a realizar la electrocoagulación; cuando el sensor LSH-2 de nivel detecta el fluido, activa la válvula motorizada MV-2 como se ve en la Figura 2.26, el motor reductor M2 funcionará después del tiempo programado.

Después del tiempo establecido, el dosificador DP-001 empieza a funcionar, si el sensor de nivel bajo de polímero LSL-2 no es activado, caso contrario muestra en pantalla una alarma y enciende un led azul, indicando que debe llenarse nuevamente de polímero el recipiente TK-005.

En el instante, que el sensor LSH-3 de nivel alto de la celda del mezclador la bomba centrífuga P-002 se enciende y envía el agua residual a través de los filtros, de aquí en adelante todo el proceso es continuo.

El presostato PSH-1 detectará la presión de salida de la etapa de filtrado, mientras el filtro gradualmente se vaya obstruyendo por acumulación de sedimentos, esta presión crecerá hasta el valor calibrado, momento en el cual el presostato enviará la señal al PLC para que este a su vez intercambie las electroválvulas SV3 y SV4 alternadamente en cada detección del presostato; ese momento será el adecuado para cambio de filtro o mantenimiento.

Cuando el sensor de nivel alto LSH-4 del tanque TK-004 es activado, envía su señal al PLC para que se detenga todo el proceso.

Selección del pic y distribución de pines.

El procesador PIC16F876A tiene 28 pines, en distribución SO, de los que se han utilizado puertos digitales, a los cuales se han conectado circuitos, periférico de entrada/salida, señal de sensores, pantallas LCD.

La Tabla 2.6 indica el nombre técnico según la hoja de datos, una descripción breve, el tipo de pin, si actúa como entrada o salida y la característica digital o analógica.

Tabla 2.6. Pines utilizados para la implementación de la programación del microprocesador.

#PIN	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	ENTRADA	SALIDA	DESIGNACIÓN
1	MCLR	Reset del microcontrolador	DIGITAL		
2	RA0				
6	RA4		DIGITAL		Inicia la electrocoagulación
9	OSC1	Oscilador de cuarzo1			Permite establecer la frecuencia a la que trabajará el PIC
10	OSC2	Oscilador de cuarzo2			Permite establecer la frecuencia a la que trabajará el PIC
11	RC0	Pin 0 puerto C		DIGITAL	Informa Caudal normal al PLC
12	RC1	Pin 1 puerto C		DIGITAL	Informa Caudal bajo al PLC
13	RC2	Pin 2 puerto C		DIGITAL	Genera el PWM1
14	RC3	Pin 3 puerto C		DIGITAL	Muestra Caudal bajo en la pantalla LED
15	RC4	Pin 4 puerto C	DIGITAL		Ingresa la señal del pulsador de incremento

16	RC5	Pin 5 puerto C	DIGITAL		Ingresa la señal del pulsador de decremento
17	RC6	Pin 6 puerto C	DIGITAL		Prueba
18	RC7	Pin 7 puerto C	DIGITAL		Ingresa la señal del caudalímetro
21	RB0	Pin 0 puerto B	DIGITAL		Ingresa la señal del pulsador de Enter
22	RB1	Pin 1 puerto B		DIGITAL	RS_LCD
23	RB2	Pin 2 puerto B		DIGITAL	E_LCD
25	RB4	Pin 4 puerto B		DIGITAL	D4 LCD
26	RB5	Pin 5 puerto B		DIGITAL	D5 LCD
27	RB6	Pin 6 puerto B		DIGITAL	D6 LCD
28	RB7	Pin 7 puerto B		DIGITAL	D7 LCD

Explicación de la lógica implementada en el programa del PIC.

Se genera un PWM el cual controla la alimentación de voltaje que el convertor BUCK entrega a la celda de electrocoagulación, el PWM a su vez es regulado por la señal del caudalímetro siendo directamente proporcional al caudal de ingreso al sistema y el caudal es relativamente el mismo en todo el proceso, según al caudal del sistema también se obtiene una relación de dosificación del floculante que debe ser inyectada al agua tratada para obtener una mejor formación de flóculos los cuales podrán ser retenidos en el proceso de filtración, esta relación se tiene para un Caudal Bajo el cual indicará que el dosificador inyectará menos floculante, el cual se programa al inicio del proceso y un Caudal Mínimo con el que se ingresa el valor del caudal en el cual la válvula solenoide dosificará según el cálculo obtenido en el apartado 2.6.1.2, estos dos parámetros enviarán una señal al PLC con las cuales se controlará la apertura de la válvula para dosificar según sea el caudal del proceso.

Diagrama de Flujo de programa del Microcontrolador.

La lógica de control para la generación de la señal PWM está ligada a la señal emitida por el flujómetro que se encuentra en la tubería de alimentación de agua residual a ser tratada por el sistema prototipo; y está detallada en los siguientes diagramas de flujo, de manera gráfica la programación, modos de operación, forma de adquirir datos, grabar, procesar valores y presentar información en pantalla.

En la Figura 2.27 el diagrama de flujo inicia con la definición de parámetros, variables y etiquetas adecuadas, caudal bajo, mínimo o normal, mensajes en pantalla, dato proveniente del flujómetro, inicio de electrocoagulación, etc. A continuación, se establecen los parámetros para la modulación de la señal de control del conversor buck que entrega energía a la celda de electrocoagulación, con una frecuencia de 25kHz, y ubica en cero todas las salidas incluyendo aquellas provenientes del PLC donde se parametrizan el caudal mínimo y bajo mediante el uso de la interfaz TD 200, poniendo así en modo de espera a esta etapa del sistema.

A continuación, se establece el procedimiento para leer la información de la señal analógica de flujo, proveniente del dispositivo instalado en la tubería de alimentación de agua residual y convertirla en una señal digital para su posterior procesamiento y acondicionamiento. Se presenta el valor de caudal bajo y mínimo expresado en litros por minuto, el valor que tiene la señal PWM que ingresa al elemento interruptor del conversor reductor y el valor de voltaje que se entrega a la celda de electrocoagulación.

Finalmente, en el flujograma de la Figura 2.27 se establece un lazo de control dando la opción para establecer el valor de caudal bajo y conectando con la subrutina de ingreso de parámetro uno o regresando al inicio para mantener la modulación por ancho de pulso constantemente controlando el conversor buck.

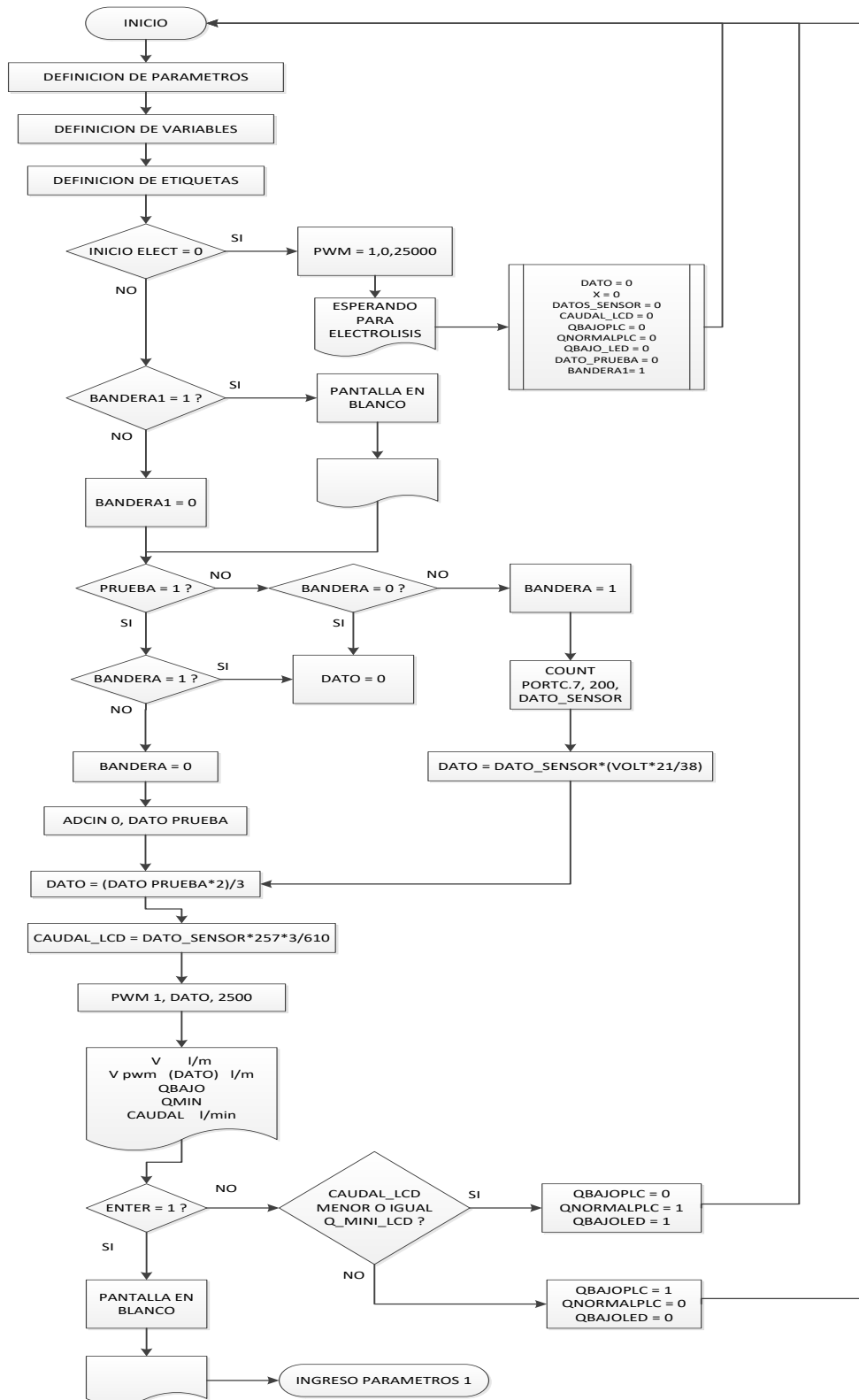


Figura 2.27. Control pwm conversor Buck.

La Figura 2.28 muestra el manejo del teclado de configuración al momento de presionar la tecla “enter” para establecer los parámetros iniciales de caudal bajo, mínimo, y voltaje de la celda de electrocoagulación.

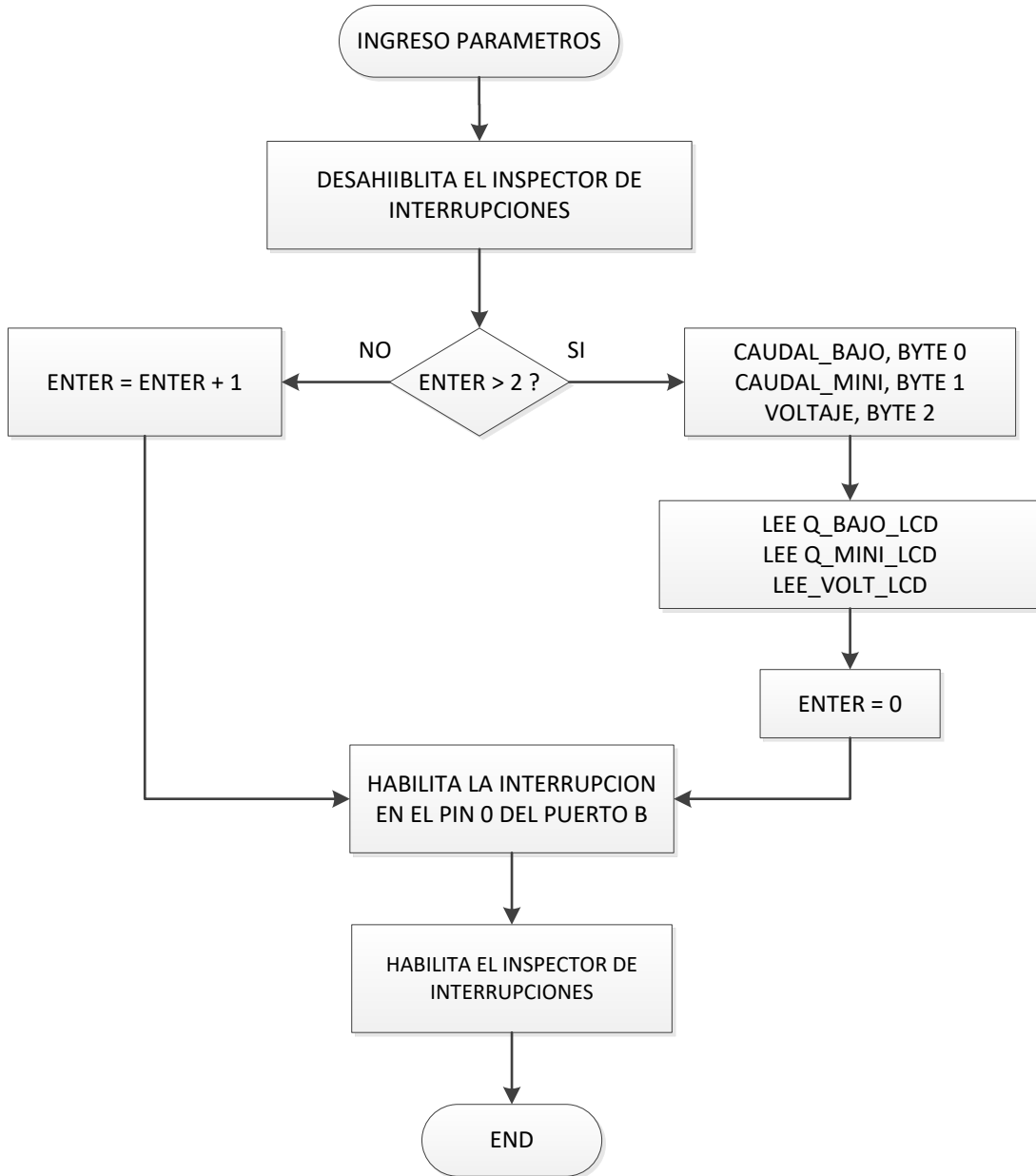


Figura 2.28. Configuración de parámetros.

El diagrama de flujo de la Figura 2.29 describe la subrutina de ingreso de parámetros uno y los cambios que se dan al presionar las diferentes teclas para establecer el caudal bajo y a su vez se conecta con algoritmos para incremento o decremento de valores,

denominadas “sumar” y “restar”, finalmente puede pasar al siguiente ingreso de parámetros dependiendo de si se presiona la tecla “enter” dos veces.

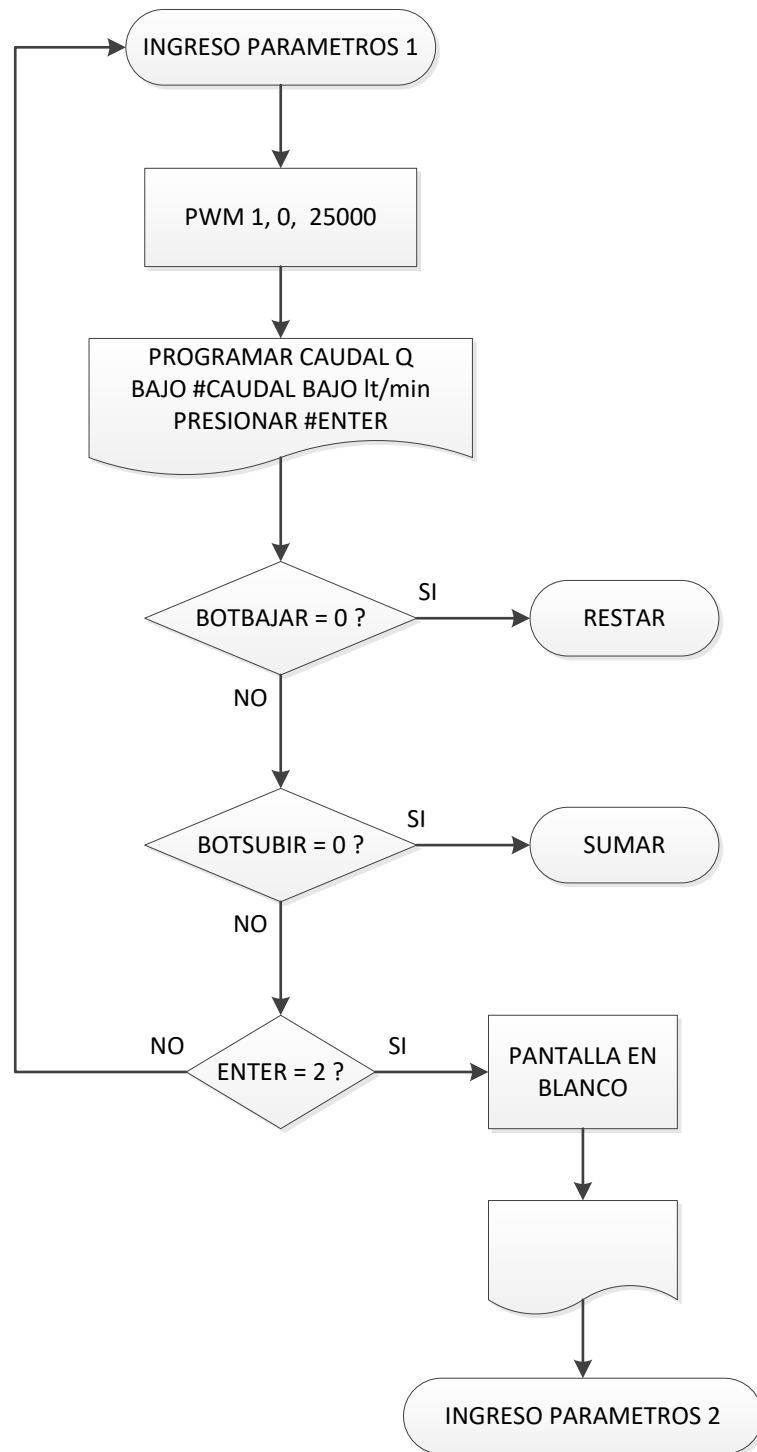


Figura 2.29. Configuración caudal bajo.

El diagrama de flujo de la Figura 2.30 describe la subrutina de ingreso de parámetros dos y los cambios que se dan al presionar las diferentes teclas para establecer el caudal mínimo y a su vez se conecta con algoritmos para incremento o decremento de valores, denominadas “sumar” y “restar”, finalmente pasa al siguiente ingreso de parámetros.

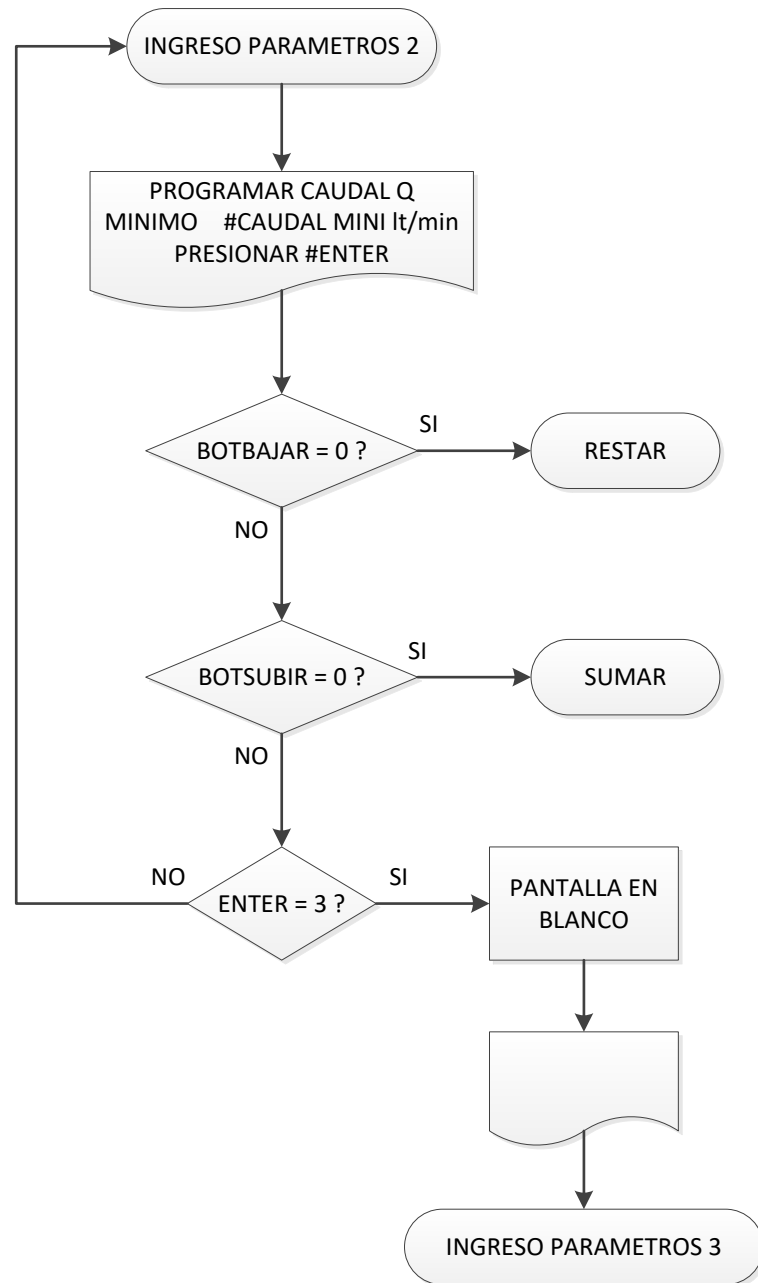


Figura 2.30. Configuración caudal mínimo.

El diagrama de flujo de la Figura 2.31 describe la subrutina de ingreso de parámetros tres y los cambios que se dan al presionar las diferentes teclas para establecer el voltaje que

se entrega a la cuba de electrocoagulación y a su vez se conecta con algoritmos para incremento o decremento de valores, denominadas “sumar” y “restar”, y depende de si se presiona la tecla “enter” para regresar al inicio del programa o a volver a configurar el voltaje.

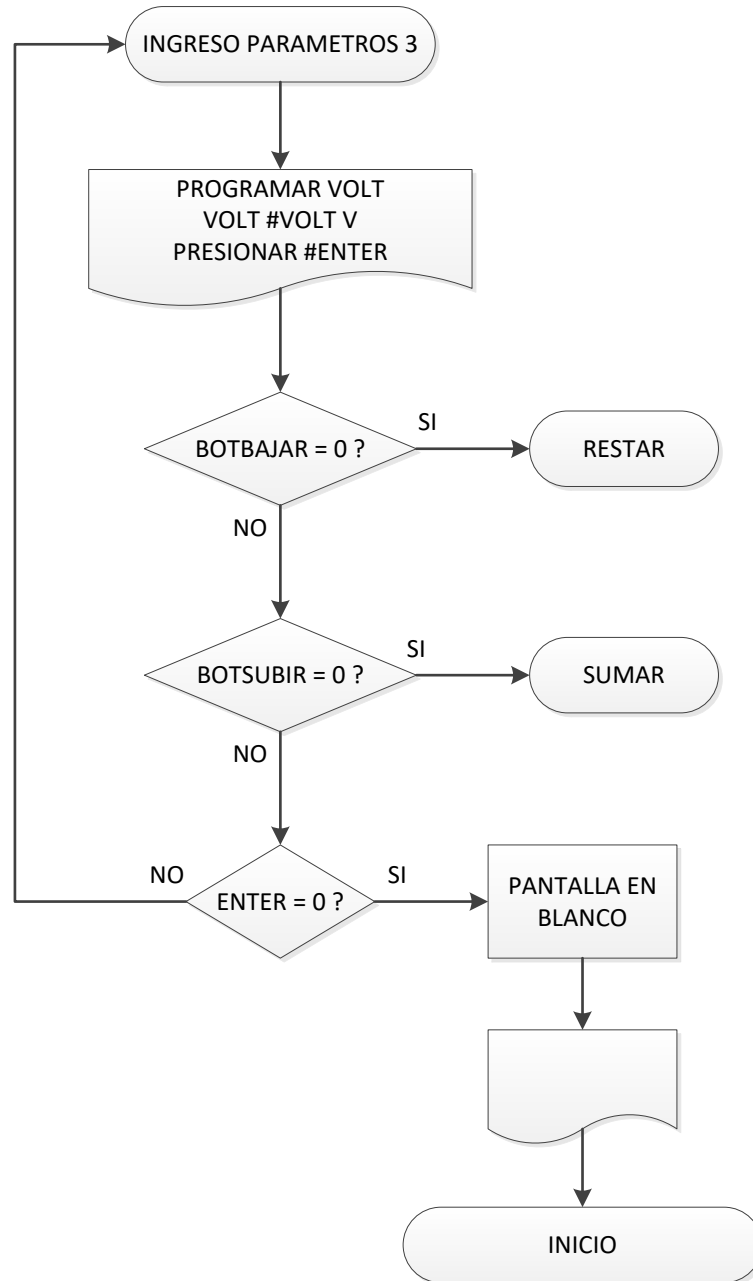


Figura 2.31. Configuración de voltaje.

El decremento de valores está descrito en el flujograma de la Figura 2.32, donde se garantiza el ingreso de información con una subrutina para evitar el rebote de los

pulsadores físicos, este algoritmo trabaja al momento de definir el caudal bajo, mínimo y voltaje.

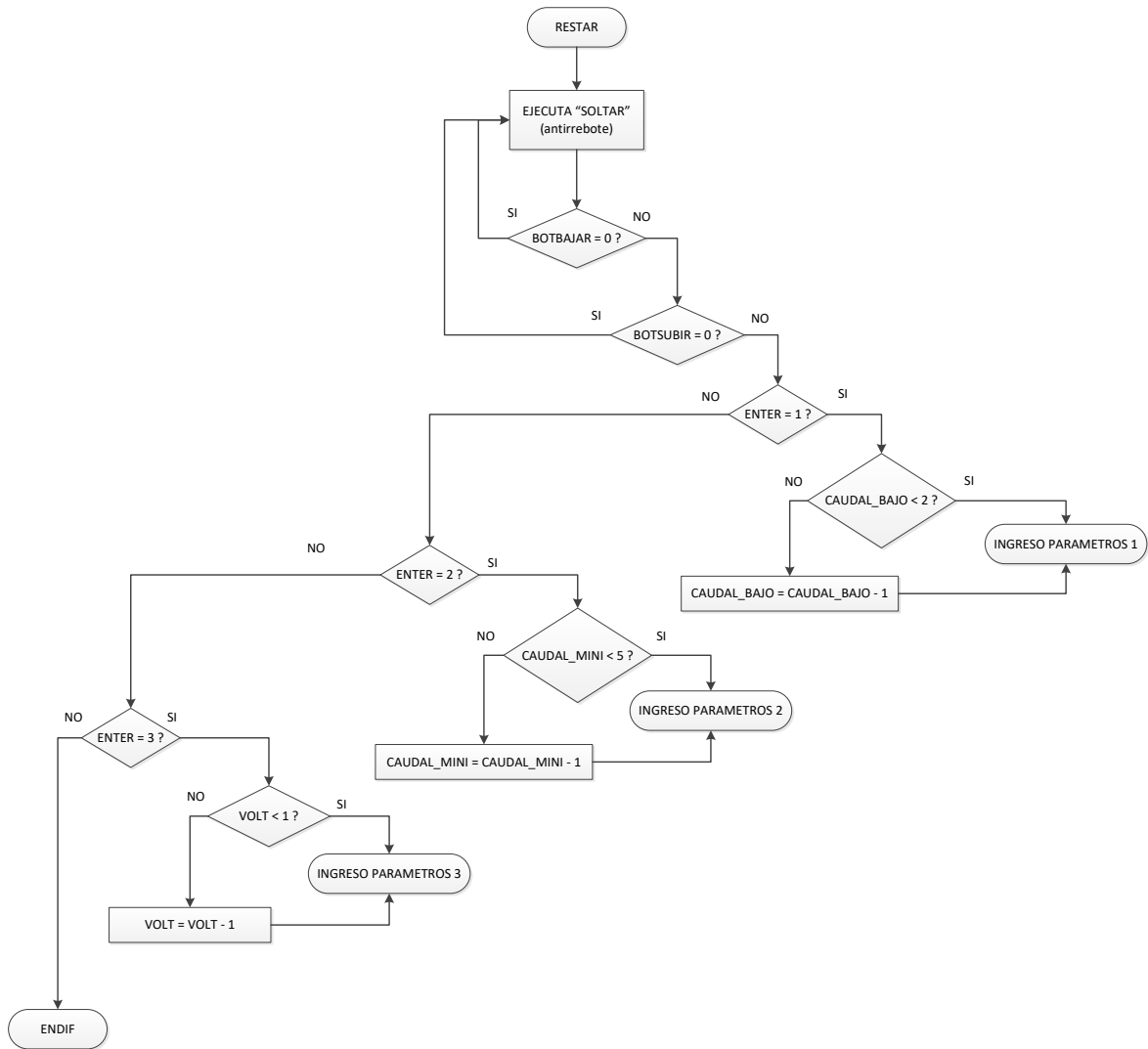


Figura 2.32. Algoritmo decremento de parámetros.

El incremento de valores se describe en la Figura 2.33 y la lógica de operación es exactamente el anterior flujograma, con la subrutina anti-rebote para que el ingreso de información sea adecuado, ejecutándose al momento de configurar el caudal bajo mínimo y el voltaje de la celda electrolítica.

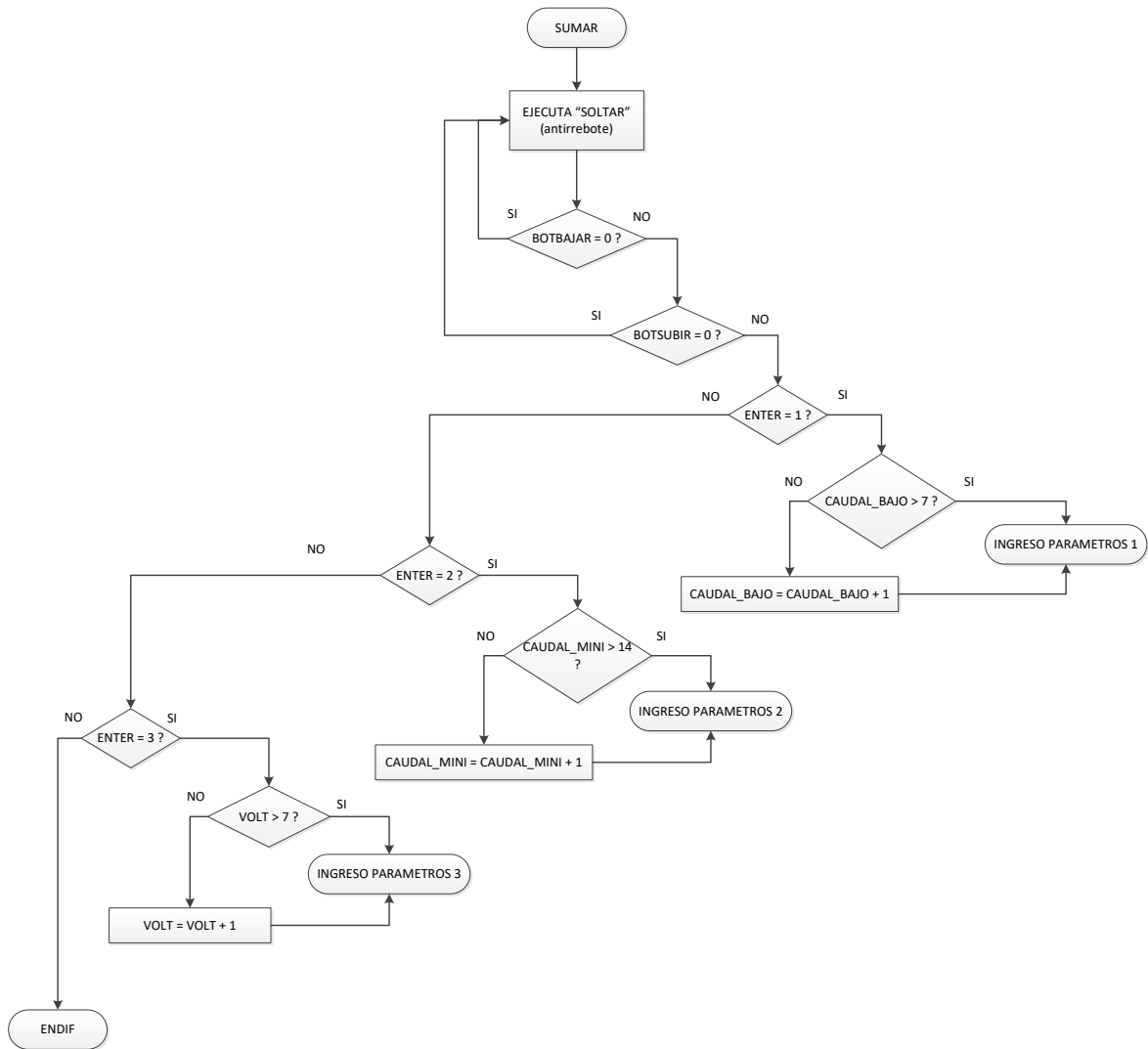


Figura 2.33. Algoritmo incremento de parámetros.

Visualización y medición de voltaje y corriente.

Se realiza mediciones de dos de las variables eléctricas presentes en la celda electrolítica, voltaje y corriente, para lo cual un multímetro básico toma las señales, permanece conectado mostrando en tiempo real y de forma continua los valores expresados en volts y amperios respectivamente.

El multímetro se lo diseñó para un voltaje de 24V y corriente de 20A, con rangos de protección, tanto por software como por hardware, siendo 50V y 30A máximos que el multímetro maneja, pero no tiene la función de “autoset”, por lo que se debe cambiar físicamente elementos para la lectura de voltaje y se debe cambiar líneas de programa para la lectura de corriente.

Lectura de voltaje.

Basado únicamente en un divisor de voltaje, para acondicionar la señal que entrega el conversor estático a un valor de 5V la cual se conecta al microprocesador para su manejo y presentación en una pantalla LCD de dos líneas por dieciséis caracteres.

Lectura de corriente.

La señal ingresa directamente al sensor de corriente ACS712ELCTR-30A-T, el cual tiene una sensibilidad de sesenta y seis milivoltios por cada amperio. Trabaja por efecto hall, es decir transforma un campo magnético producto de la circulación de corriente por un cable de cobre en el interior del sensor, convirtiendo este campo en un voltaje variable. A mayor corriente mayor voltaje a la salida del sensor. Tiene menor sensibilidad que el sensor de la misma familia a 5A.

Arduino nano.

Es un pequeño, completo y amigable tablero de circuitos basado en ATmega328 en su versión 3.X. Carece de un conector de energía DC, y trabaja con un clave mini USB.

Tabla 2.7. Especificaciones técnicas Arduino Nano

Microcontrolador	ATmega328
Arquitectura	AVR
Voltaje de operación	5 V
Memoria flash	32 KB de la que 2 KB es usada para el arranque
SRAM	2 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
Pines análogos I/O	8
EEPROM	1 KB
Corriente DC por cada pin de I/O	40 mA (I/O Pins)
Voltaje de entrada	7-12 V
Pines digitales de I/O	22
Salida PWM	6
Consumo de potencia	19 mA
Tamaño de PCB	18 x 45 mm.
Peso	7 gr.
Código de producto	A000005

Distribución de pines.

En el Arduino Nano, perfecto para aplicaciones pequeñas, cada uno de los catorce pines digitales, pueden ser usados como entrada o como salida y controlado con funciones como el modo del pin, escritura digital, lectura digital. Cada pin puede proveer o recibir un máximo

de 40mA y tiene una resistencia de entrada de 20 a 50 kilo ohmios, adicionalmente, algunos pines tienen funciones especializadas.

El Nano tiene ocho entradas analógicas, las cuales proveen una resolución de 10 bits. Por defecto miden desde tierra hasta 5 voltios. Los pines 6 y 7 no pueden ser usados como pines digitales.

Tabla 2.8. Pines utilizados para la implementación del medidor de voltaje y corriente.

# PIN	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	ENTRADA	SALIDA	DESIGNACIÓN
23	A0	Primer pin del puerto analógico	ANALÓG O		Pin de entrada señal corriente
24	A1	Segundo pin del puerto analógico	ANÁLOG O		Pin de entrada señal de voltaje
32	D2	Segundo pin puerto D		DIGITAL	Pin de salida a LCD
1	D3	Tercer pin puerto D		DIGITAL	Pin de salida a LCD
2	D4	Cuarto pin puerto D		DIGITAL	Pin de salida a LCD
9	D5	Quinto pin puerto D		DIGITAL	Pin de salida a LCD
10	D6	Sexto pin puerto D		DIGITAL	Pin de salida a LCD
11	D7	Séptimo pin puerto D		DIGITAL	Pin de salida a LCD
4/6	Vcc	Voltaje de polarización			Muestra Caudal bajo en la pantalla LED
3/5	GND	Tierra, referencia.			

19	GND1				Referencia.
29	RESET	Pin 6 puerto C	DIGITAL		Reset manual o automático
8	Tosc2	Oscilador de cuarzo 2			
7	Tosc1	Oscilador de cuarzo 1			

Diagrama de flujo.

En la Figura 2.34 se muestra el flujograma que determina la medición de corriente y voltaje de la celda electrolítica. Se inicia definiendo ciertos parámetros como la sensibilidad de corriente y las resistencias del divisor de voltaje, también se detallan variables que almacenaran los valores medidos y procesados. Las mediciones se presentan en una pantalla LCD para su lectura. A continuación, se ejecutan los procesos de manera paralela, para el voltaje, se lee el puerto analógico y el valor que ingresa por el pin A1 es almacenado en una variable, a ésta se aplica la fórmula de acondicionamiento, este proceso es ejecutado cíclicamente para evitar errores ante cambios en la señal medida. Por último, es presentado el valor después de ejecutar el cálculo de divisor de voltaje.

En la medición de corriente se lee el puerto analógico y el valor que ingresa por el pin A0 es acondicionado y aplicado la sensibilidad de acuerdo con el sensor con el que se está trabajando, finalmente se imprime el valor calculado de corriente.

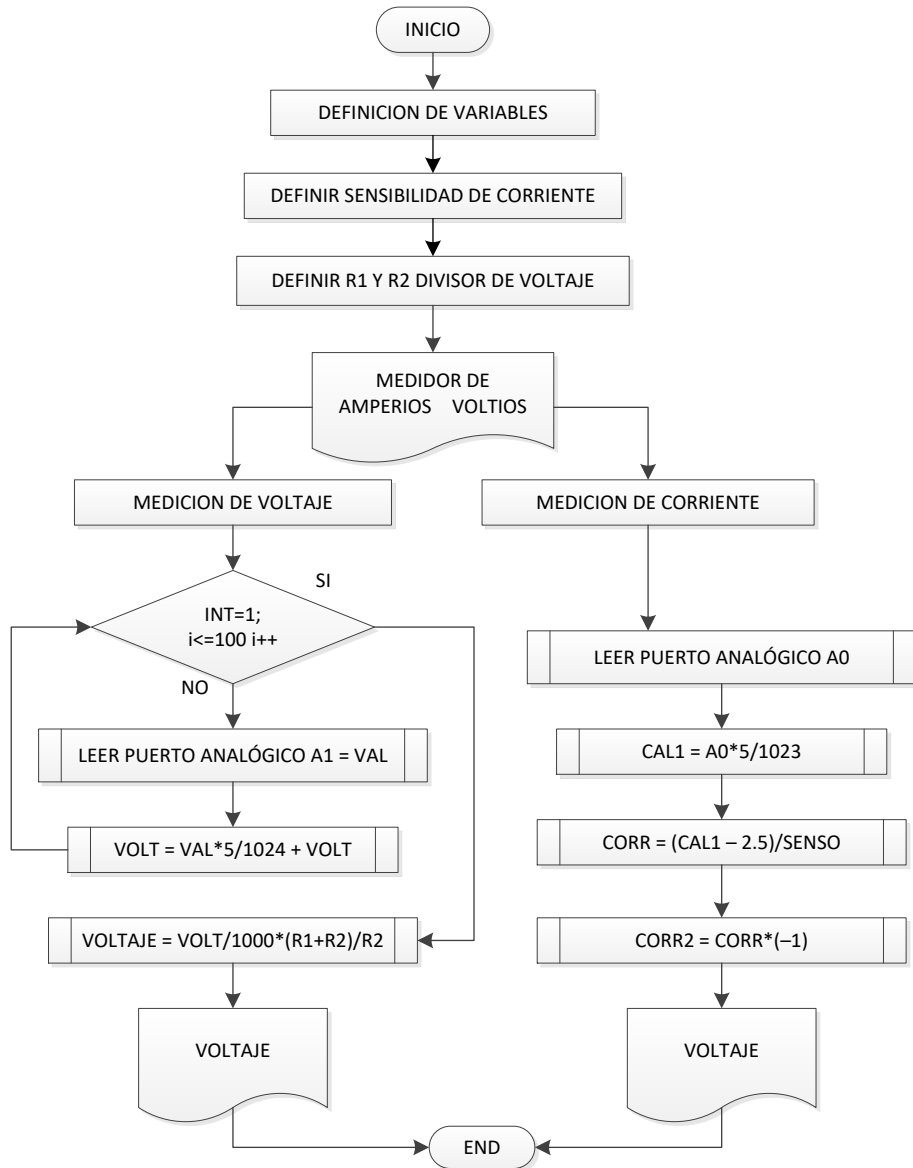


Figura 2.34. Medición de voltaje y corriente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Pruebas de programa en PLC e ingreso de parámetros

Tabla 3.1. Parámetros para inicio de proceso

Parámetros	Descripción	Valor
T. ON MOTOR HOMO:	Tiempo encendido motor homogenización	2 seg
T. ON MOTOR MIXER:	Tiempo encendido motor homogenización	2 seg
T. OF CAUDAL BAJO:	Tiempo apagado de dosificación de floculante en caudal bajo	4 seg
T. ON CAUDAL BAJO:	Tiempo encendido de dosificación de floculante en caudal bajo	2 seg
T. OF CAUDAL MINI:	Tiempo apagado de dosificación de floculante en caudal mínimo	2 seg
T. ON CAUDAL MINI:	Tiempo encendido de dosificación de floculante en caudal mínimo	2 seg



Figura 3.1 Mensaje en pantalla de inicio de proceso.

Para iniciar el proceso se debe programar el tiempo en el que actuarán algunos de los elementos como los motores mezcladores y la válvula dosificadora de coagulante.

Para el motor agitador del tanque de homogenización se programa un tiempo de 2 segundos, con el cual el motor se encenderá después que la bomba principal P-001 empieza a funcionar, también se programa el tiempo en que se encenderá el motor del mezclador como se muestra en la Figura 3.2 después que el sensor de nivel alto del tanque

TKE-002 detecta el fluido, estos tiempos y tienen el objetivo de encender las bombas cuando el fluido haya llegado al tanque, pudiendo ser cambiados según lo que el operario crea conveniente.



Figura 3.2. Tiempos establecidos para encendido de motores.

Seguido deben programarse los tiempos de apertura de la electroválvula para la dosificación del coagulante, se debe dosificar a un caudal de 1ml/s, por lo tanto, debemos lograr que dosifique a una gota por segundo, por lo cual con un segundo de apertura y un segundo de cierre se obtiene una dosificación aproximada.



Figura 3.3 Configuración tiempos de dosificación caudal mínimo.



Figura 3.4. Configuración de tiempos de dosificación caudal bajo

3.2. Simulación del conversor en Matlab

Se verifican si los elementos calculados cumplen con los parámetros y funciones requeridos mediante el uso de la simulación en MATLAB simulink como se observa en la Figura 3.5.

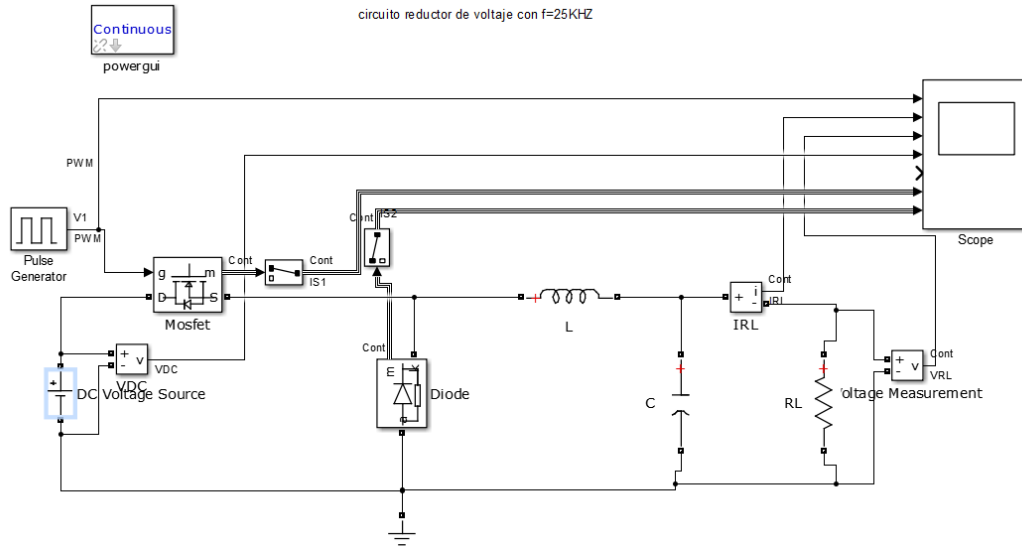


Figura 3.5. Circuito conversor Buck.

Se realiza la simulación con los siguientes valores:

Voltaje VDC = 15 VDC

Inductancia IRL= 820 μ H

Capacitancia C= 2200 μ F

Resistencia RL = 2 Ω

Se observa las formas de ondas obtenidas en la simulación, con los parámetros ingresados con un valor de Carga 2 Ω .

Se observa que la corriente IRL de la carga es de 3.4 A Figura 4.6, con la resistencia impuesta de 2 Ω , y un voltaje de 6.92 VDC Figura 3.7

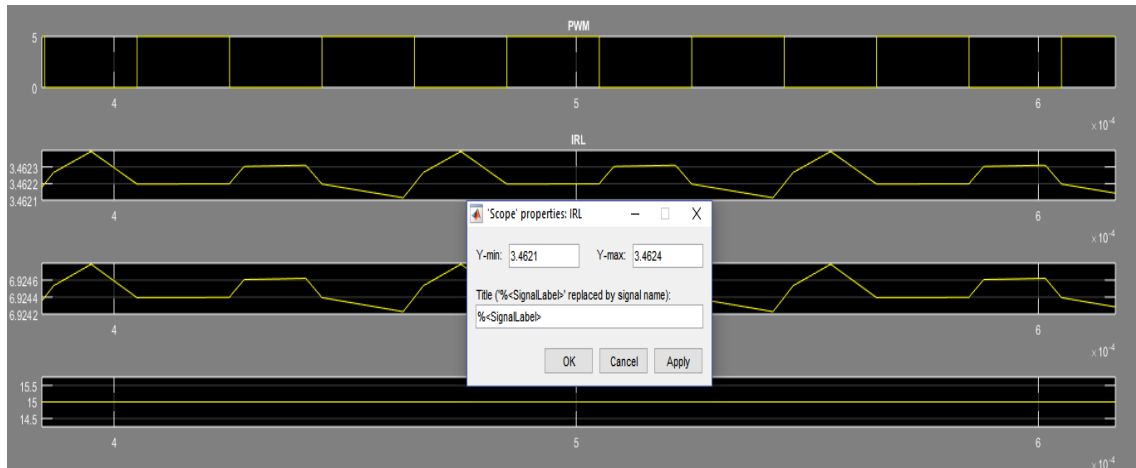


Figura 3.6. Formas de onda corriente IRL= 3.4 A.

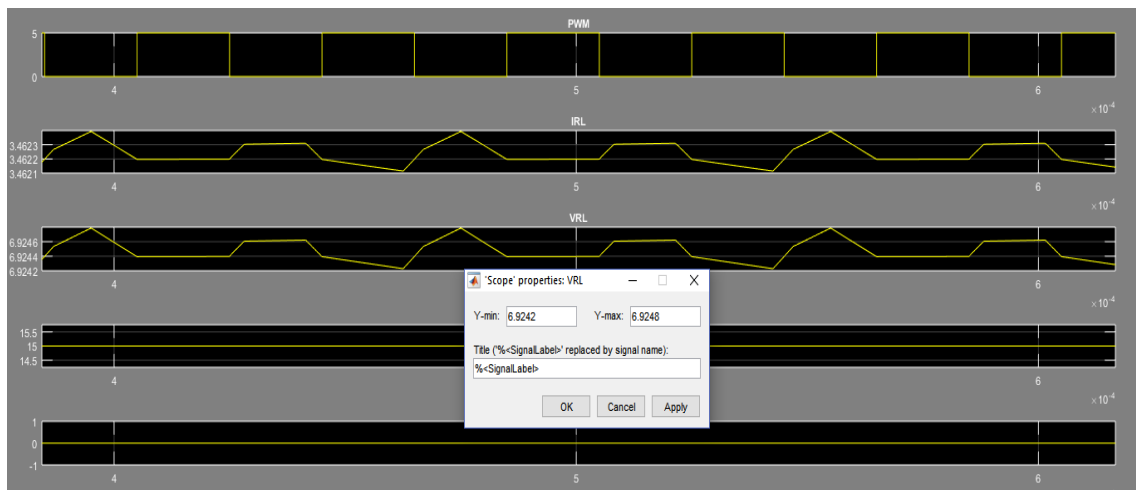


Figura 3.7. Formas de onda voltaje VRL = 6,92 VDC.

Variando el valor de la carga a 0.5Ω se obtienen las formas de onda Figura 3.8 y Figura 3.9, notándose que la corriente IRL se eleva a 12.89 A con un voltaje de 6.44 VDC.

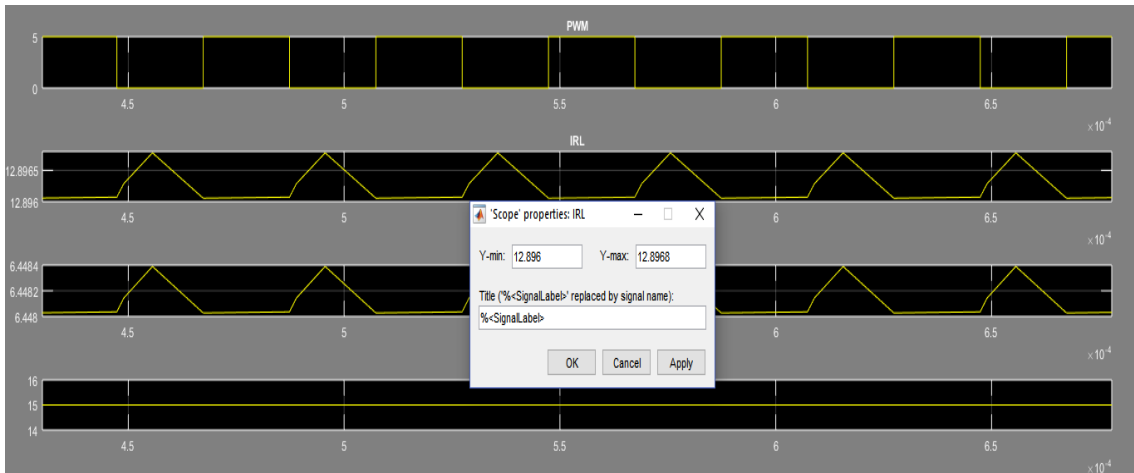


Figura 3.8. forma de onda corriente IRL=12,89 A.

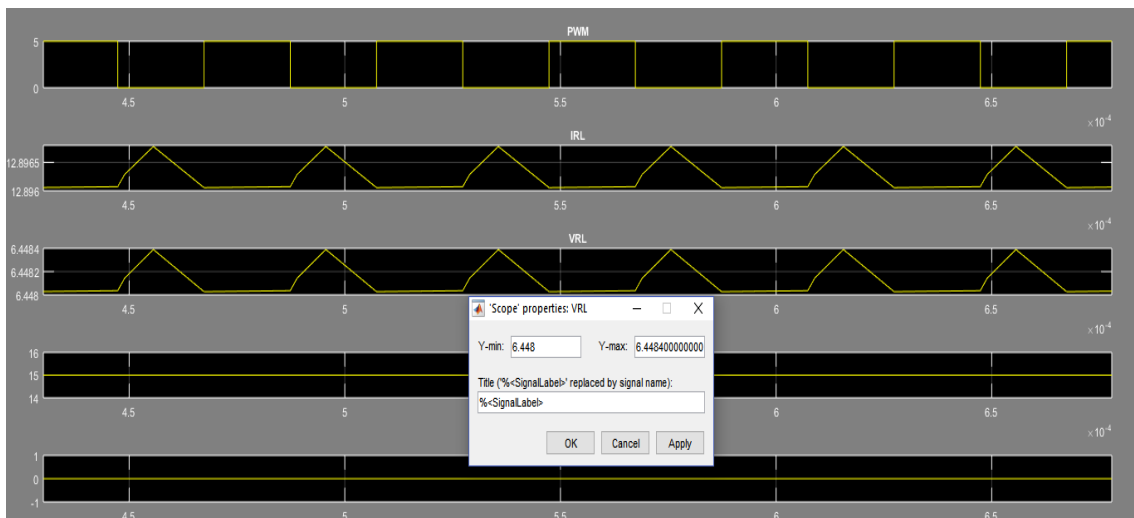


Figura 3.9. Forma de onda voltaje VRL=6,44 VDC.

Si se varía el valor de la carga a 0.2Ω se observa que la corriente IRL se eleva a 28.34 A con un voltaje de 5.67 VDC Figura 3.10 y Figura 3.11, este proceso se realiza para simular diferentes aguas residuales y conocer la respuesta del convertor a estas variaciones.

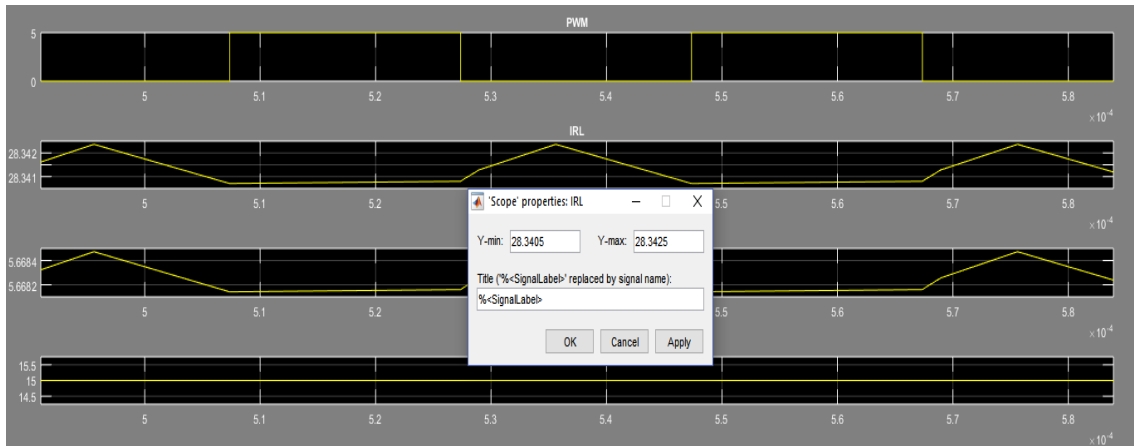


Figura 3.10. Forma de onda corriente IRL = 28,34 A

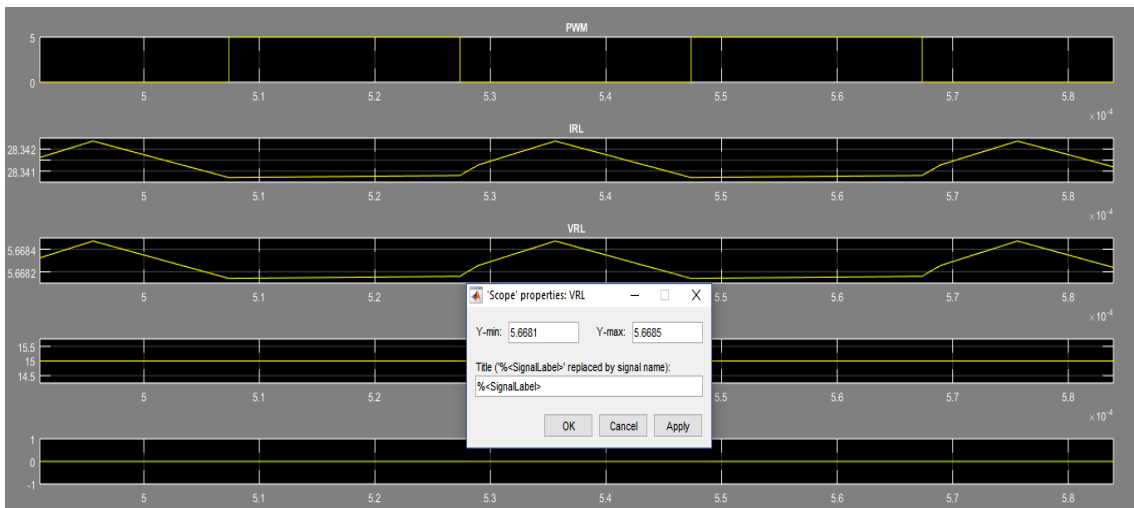


Figura 3.11. Forma de onda voltaje VRL= 5,67 VDC

Cuando la resistencia baja la corriente se eleva y el voltaje cae, se realiza estas simulaciones bajando la resistencia para simular que la conductividad incrementa, ya que la conductividad del agua aumenta por el nivel de TDS (sólidos disueltos totales) cuyo valor es difícil de ser medido, para esto se utiliza la medida de la conductividad del agua para poder realizar una relación y poder obtener un valor de TDS.

3.3. Pruebas para preparación de coagulante

Para preparar el coagulante, se vierte 100ml de PAC Figura 3.12 y luego se completa con agua osmotizada hasta tener un litro de esta mezcla que tendrá una dilución de PAC a 10 ppm Figura 3.13.



Figura 3.12. Coagulante PAC 100ml



Figura 3.13. Floculante PAC a 10 ppm

Se coloca 2 litros de agua residual tratada en la jarra, posterior se ubica la jarra con agua en el analizador de carga, a continuación se coloca la jarra en el agitador magnético y dentro de la jarra una cápsula magnética, se enciende el agitador magnético y empieza a girar la cápsula magnética, se coloca también un medidor de pH para observar el valor en el que se encuentra, teniendo al iniciar la prueba un pH de 8,4 Figura 3.14, se procede a dosificar a una solución ácida en este caso se inyecta ácido acético (vinagre) para lograr que el pH baje hasta 6,7 Figura 3.15, para lograr que todo el químico coagulante que se adiciona sirva para neutralizar la carga y que no se consuma con el efecto buffer o tampón

del agua a valores de pH más altos; cuando ya se obtiene el valor que se necesita el cual es pH 6,7; se baja el pistón del equipo, el líquido queda ubicado a la mitad del orificio en el pistón, se puede realizar la prueba en el analizador de carga; se coloca la jarra dentro del analizador de carga y se baja el pistón hasta que el agua llega a la mitad de orificio en el pistón, se enciende el equipo y el pistón empieza a funcionar, al observar la pantalla, ésta se encuentra con una lectura de -0,02 Figura 3.16, se presiona el botón de ganancia para poder tener una lectura manejable, entonces la lectura cambia a -0,08 Figura 3.17; se procede a dosificar con una jeringa de 10 ml una solución de PAC a 10 ppm, pasando por -0,00 Figura 3.18, hasta que la lectura llegue a 0,00 Figura 3.19 es decir que se neutraliza, entonces según la cantidad que se utilizó con la medida de la jeringa de PAC, es lo que se tiene que dosificar para que los sólidos disueltos en el agua se floculen, formen partículas más grandes y se puedan retener de manera más eficiente en los procesos de filtración posteriores.



Figura 3.14. Agua residual electro coagulada pH 8.4



Figura 3.15. Agua electro coagulada con pH 6.7



Figura 3.16. Lectura de carga con ganancia baja



Figura 3.17. Lectura de carga con Ganancia alta



Figura 3.18. Lectura carga negativa



Figura 3.19. Lectura carga neutra

3.4. Pruebas de medición inicial y final del pH

Se midió el pH con un medidor marca HANNA INSTRUMENTS, el pH inicial es de 7.7 del agua después de proceso el pH se mantiene o tiene poca variación dependiendo también de la dosificación de coagulante ya que éste puede variar el valor del pH.

Se observa el valor de pH de agua cruda en la Figura 3.20 es de 7,7 y no tiene variación con el pH del agua tratada con un pH de 7,7 en la Figura 3.21.



Figura 3.20. Medición de pH agua residual sin tratar



Figura 3.21. Medición de pH agua residual tratada

3.5. Análisis de pruebas del agua residual tratada

Análisis de las pruebas del DQO obtenido en el proceso

A continuación, se presenta los valores de DQO (Demanda Química de Oxígeno) del agua residual obtenida de varias empresas en la Tabla 3.2, y se puede observar que después de realizar todo el proceso de electrocoagulación y filtración el DQO baja significativamente, quedando dentro de la norma ambiental del municipio para poder ser desechada sin causar daño al medio ambiente, en Anexos se tiene los análisis de agua realizados en el laboratorio certificado LASSA.

Tabla 3.2. Análisis comparativo de tres muestras de DQO en el agua

EMPRESA	DQO agua cruda	DQO agua tratada	DQO permitida por DMQ
LAVAMATIC	1792.00 mg/l	160.00 mg/l	240.00 mg/l
SOLMATIC	1927.00 mg/l	168.50 mg/l	240.00 mg/l
RAPICLEAN	1986.00 mg/l	169.20 mg/l	240.00 mg/l

Análisis de las pruebas del DQO obtenido en el proceso

A continuación, se muestran los valores de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) del agua residual obtenida de varias empresas en la Tabla 3.3, y se puede observar que después de realizar todo el proceso de electrocoagulación y filtración el DBO baja significativamente, quedando dentro de la norma ambiental del municipio para poder ser desechada sin causar daño al medio ambiente.

Tabla 3.3 Análisis comparativo de tres muestras de DBO en el agua

EMPRESA	DBO agua cruda	DBO agua tratada	DBO permitida por DMQ
LAVAMATIC	690.00 mg/l	69.80 mg/l	120.00 mg/l
SOLMATIC	780.00 mg/l	70.60 mg/l	120.00 mg/l
RAPICLEAN	881.00 mg/l	71.00 mg/l	120.00 mg/l

3.6. Medición de valores referenciales de voltaje y corriente

A continuación, se presenta en la Tabla 3.4 valores de voltaje y corriente medidos con caudales relativamente constantes y muestras de agua residual obtenidas de diferentes empresas.

Tabla 3.4 Medición de voltaje y corriente

EMPRESA	Caudal (l/min)	Voltaje (V)	Corriente (A)
LAVAMATIC	10	8.23	16.2
SOLMATIC	11	6.12	17.1

RAPICLEAN	9	4.60	20.1
-----------	---	------	------

Se realizó pruebas a diferentes caudales para observar el comportamiento de la corriente y voltaje aplicado a las placas de sacrificio se obtiene para una frecuencia del variador $f=15.7$ Hz Figura 3.22 se obtiene un Caudal $Q=14$ l/min y una corriente $I=20.1$ con agua residual obtenida de una empresa de tinturado de ropa.



Figura 3.22. Prueba N°1 de Frecuencia = 15.7 Hz

En la Figura 3.23, se muestran los parámetros de calibración, para la prueba N°1. El caudal bajo, mínimo, el valor de voltaje máximo que entregará el convertidor.



Figura 3.23. Prueba N°1 con $Q = 14$ l/min

En la Figura 3.24 se observa el valor de corriente que está circulando por los electrodos de sacrificio y la solución a tratar en la prueba N°1.



Figura 3.24. Prueba N°1 Amperaje = 20.1 A.

En la Figura 3.25 se indica el voltaje medido entre los polos positivo y negativo de la celda de electrocoagulación.



Figura 3.25. Prueba N°1 Voltaje = 6,31 VDC

Se efectuaron pruebas a la misma agua residual que de la prueba N°1 pero con diferentes frecuencias, obteniéndose los valores de caudal, voltaje y amperaje que observan en las siguientes figuras:



Figura 3.26. Prueba N°2 Frecuencia = 15.1 Hz.

La Figura 3.27 se muestra la pantalla con los parámetros seleccionados para la prueba N°2.



Figura 3.27. Prueba N°2 Q = 11 l/min.

En la Figura 3.28 se observa el valor de corriente de la prueba N°2.



Figura 3.28. Prueba N°2 Amperaje = 18.3 A.

El valor de voltaje respectivo de la prueba N°2 es el que se puede ver en la Figura 3.29.



Figura 3.29. Prueba N°2 Voltaje = 4.33 VDC.

Se realiza la prueba N°3 con una frecuencia en la bomba de alimentación de agua residual igual a 14.9 Hz tal como se indica en la Figura 3.30



Figura 3.30. Prueba N°3 Frecuencia = 14.9 Hz.

Los parámetros de calibración para la tercera prueba se visualizan en la Figura 3.31.



Figura 3.31. Prueba N°3 Q = 10 l/min.

La Figura 3.32 indica el valor de corriente que circula por las placas de sacrificio para la prueba N°3.



Figura 3.32. Prueba N°3 Amperaje = 16.2 A.

El valor de voltaje de la prueba N°3 es indicado en la Figura 3.33.



Figura 3.33. Prueba N°3 Voltaje = 3.9 VDC.

3.7. Pruebas de TDS

Se realizó mediciones del Total de Sólidos Disueltos (TDS) con un medidor de EC (Conducción Eléctrica), TDS y Temperatura marca HM DIGITAL, con los cuales también se pudo confirmar la cantidad de reducción de TDS que se obtiene con el sistema de electrocoagulación, en la Figura 3.34, agua residual se observa el valor de TDS = 489 ppm x 10 = 4890 ppm y en la Figura 3.35 de agua tratada se observa una medida de TDS = 394 ppm, teniendo así una reducción de los TDS de 4496 ppm.



Figura 3.34. Medición TDS agua residual

En la Figura 3.35 se observa el uso del medidor de solidos disueltos totales o TDS por sus siglas una vez que ha sido tratada el agua residual, con un valor como el indicado se puede desechar el agua sin impacto.



Figura 3.35. Medición TDS agua tratada

4. CONCLUSIONES

- Se puede concluir que el nivel de remoción de TDS se obtiene aplicando una cantidad de corriente más alta al agua residual, pero esto depende del voltaje aplicado y del grado de conductividad de la solución a tratar.
- Con el proceso de electrocoagulación se logra agrupar todas las partículas coloidales que se encuentran en el agua formando flóculos de mayor tamaño los cuales se sedimentan formando lodos y pueden ser retirados posteriormente por un sistema de filtrado.
- Con el método de Jarras para obtener la dosis de floculante se obtiene una dosis aproximada y con mayor tiempo de proceso para obtener las dosis adecuadas, que con la utilización del Medidor de Cargas el cual es más exacto y se lo realiza en menor tiempo.
- Del presente trabajo se puede concluir que los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio dependen directamente de la concentración de tintes en la solución, esto a su vez determina la cantidad de corriente o energía que se debe aplicar a la celda de electrocoagulación.
- En el conexionado del circuito de fuerza de la celda de electrocoagulación, se añadió una resistencia de potencia la misma que tiene como finalidad el acople de impedancias entre el convertidor propiamente dicho y las placas de la celda que al contacto con la solución a tratar llega a ser la carga que recibe el voltaje convertido.
- Se recomienda tener una correcta distribución de las masas o referencia a tierra en sistemas de control, para evitar ruidos e interferencias no deseadas.
- Es recomendable utilizar válvulas de apertura total, cuando se trabaja con fluidos sometidos a presión atmosférica o caída libre, para garantizar un flujo de caudal adecuado.
- Cuando se trabaja con convertidores de potencia se deben colocar filtros para evitar que afecte el ruido a los demás elementos del circuito o para evitar introducir armónicos en las demás tarjetas electrónicas.
- Para aplicaciones industriales, se recomienda utilizar la caída libre de fluido únicamente hasta el proceso de homogenización, para las siguientes etapas es necesario incluir un sistema hidroneumático de bombeo.

- Es recomendable no excederse en el caudal de filtración de sedimentos, lo cuales son otorgados por el fabricante en sus hojas técnicas.
- Se podría considerar un mejor control PID utilizando medidores de TDS en el agua producto el cual podría controlar el control de entrega de energía a la cámara de electrocoagulación.
- Se recomienda como mejora utilizar filtros de mayor capacidad con característica de retro-lavado sea manual o automático para mejorar la calidad del agua.
- Si fuese necesario obtener mayor pureza del agua se recomienda adicionar un proceso de cuatro etapas al final de la planta prototipo, siendo clarificación, sedimentación, remoción de orgánicos y ablandamiento, también se puede considerar equipos de osmosis inversa y ozonificación haciendo de esta agua residual apta para el consumo humano.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] «Electrochemical Fundamentals,» [En línea]. Available: <http://chen.chemistry.ucsc.edu/fundamentals.pdf>. [Último acceso: 2017].
- [2] J. O. Bockris, Electroquímica Moderna, Barcelona: Reverté, S.A., 2003.
- [3] «Potencial de una celda. Ecuación de Nernst - uv,» [En línea]. Available: http://www.uv.es/Tunon/Master_Ing_Bio/tema_5.pdf.
- [4] U. d. Sevilla, «Ley de Faraday (GIE),» 25 mayo 2017. [En línea]. Available: [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ley_de_Faraday_\(GIE\)](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ley_de_Faraday_(GIE)).
- [5] C. Alonso, «UAM,» 2010. [En línea]. Available: https://www.uam.es/docencia/revero00/docs/cinetica_electroquimica.ppt.
- [6] «Condorchem Evitech,» 2015. [En línea]. Available: <http://blog.condorchem.com/electrocoagulacion-aguas-residuales/ç>.
- [7] CIDTA, «cidta.usal.es,» [En línea]. Available: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>. [Último acceso: 2016].
- [8] E. Castaños, «lidiakonlaquimica,» 2015. [En línea]. Available: <https://lidiakonlaquimica.wordpress.com/tag/celda-electrolitica/>.
- [9] B. X, «INTEREMPRESAS,» 30 03 2011. [En línea]. Available: <http://www.interempresas.net/Agua/Articulos/50231-Los-polimeros-floculan-mejor.html>. [Último acceso: 2016].
- [10] EICM, «Filtración Archivo - OCW UPCT,» 4 Julio 2011. [En línea]. Available: http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6023/mod_resource/content/1/Tema_08_FILTRACION.pdf. [Último acceso: 20 Enero 2017].
- [11] A. López y M. Sánchez. [En línea]. Available: http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/14222/Memoria_PFC2.pdf?sequence=1. [Último acceso: 2016].

- [12] S. Martín, «ISET,» 2016. [En línea]. Available: http://www.iset57.edu.ar/micro1/files/manuales/MANUAL_PIC877_garcia.pdf. [Último acceso: 2017].
- [13] «Wikipedia,» 2017. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia. [Último acceso: 2017].
- [14] THEBE, «CATALOGO GENERAL 2009 CURVAS,» THEBE, 12 SETIEMBRE 2009. [En línea]. Available: http://www.supermercadodapiscina.com.br/img/produtos/767_pdf.pdf. [Último acceso: 3 JUNIO 2017].
- [15] I. O. E. R. ESTEVES, «INGENIERIA ELECTRICA: PROYECTOS Y DISEÑOS,» 2018. [En línea]. Available: <http://ingenieroovidio.blogspot.com/2011/05/calculo-de-alimentadores-y-protecciones.html>. [Último acceso: 15 Agosto 2017].
- [16] R. U. EAFIT, «Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria lactea,» 15 Septiembre 2007. [En línea]. Available: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiTzcbmurYAhVOC6wKHePbDckQFgg5MAI&url=http%3A%2F%2Fpublicaciones.eafit.edu.co%2Findex.php%2Frevista-universidad-eafit%2Farticle%2Fdownload%2F764%2F672%2F&usg=AOvVaw0>. [Último acceso: 15 Agosto 2017].
- [17] C. I. Pavón, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE CONVERTOR DUAL CON CORRIENTE CIRCULANTE PARA EL LABORATORIO DE CONVERTORES ESTÁTICOS,» Univ. EPN, Quito, Ecuador, 2012.
- [18] Cetelsa, «Alambres Magneto,» Colombia.
- [19] Magnetics.Tnc, «"FERRITE CORCOMPARATIVE GEOMETRY CONSIDERATION",» Kowloon, Hong Kong, 2011.
- [20] DISIPA, «CATALOGO 2.0 - Web93: Acceso Panel Web,» España.
- [21] M. A. R. B. José González Calabuig, Circuito impresos: Teoría, diseño y montaje, Paraninfo.

- [22] J. D. Frank R. Spellmn, Wastewater Treatment Plant Operations Made Easy, Lamcaster, Pennsylvania: DEStech Plublications, 2003.
- [23] R. m. tarea, «Las soluciones tampón,» 27 mayo 2014. [En línea]. Available: <http://resueltamitareadefarmacia.blogspot.com/2014/05/las-soluciones-tampon.html>. [Último acceso: 3 junio 2017].
- [24] «Fisicanet,» [En línea]. Available: http://www.fisicanet.com.ar/quimica/electrolisis/ap01_electrolisis.php. [Último acceso: 15 October 2016].
- [25] G. Chen, «HKTDC,» 2008. [En línea]. Available: http://www.hktdc.com/resources/fair/1011/ecoexpoasia/s/3045/1271986191205_Guohua.pdf.
- [26] F. Navarro, «SLIDESHARE,» 2007. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/miriamxita/251-tratamientodeaguasresidualesindustriales>.

6. ANEXOS

ANEXO I. Manual de Operación

1. SISTEMA PROTOTIPO TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL.

El sistema prototipo de electrocoagulación para tratamiento de agua residuales de procesos de tinturado de empresas textiles, ha sido equipado para reducir los niveles de DBO y DQO a valores que estén dentro del rango que la ordenanza municipal establece. Sus etapas, homogenización, tratamiento por electrocoagulación, dosificación y filtración aseguran la remoción de turbidez (color), altos valores de DBO y DQO, con una operación práctica y automatizada.

Es importante, sin embargo, que el responsable de vigilar la operación de la planta se encuentre familiarizado con el funcionamiento de todas las etapas de proceso, de manera que pueda calibrar los parámetros de programación a necesidad del agua a tratar.

A continuación, se detalla de forma general el funcionamiento de cada uno de los equipos que conforman la Planta de Tratamiento de Agua Residual instalada.

Tabla 1.1. Datos de proyecto

PROYECTO	DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PROTOTIPO DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PROCESOS DE TINTURADO DE EMPRESAS TEXTILES,
TIPO DE EQUIPO	SISTEMA PROTOTIPO DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL
CAUDAL PRODUCIDO	3,6 GPM
AGUA A TRATAR	RESIDUAL PROCESO DE TINTURADO

El proceso es el siguiente (ver P&ID anexo)

1. Alimentación de Agua Residual.
2. Homogenización
3. Electrocoagulación
4. Dosificación de Coagulante
5. Filtración

En el siguiente capítulo se detallan estos procesos

1.2. EQUIPAMIENTO

Bombas impulsión agua tratada

Tabla 1.2. Características bombas THEBE

ETIQUETA (TAG)	P-001 / P-002
MARCA	THEBE
MODELO	TH-16
PROCEDENCIA	BRASIL
TIPO	CENTRIFUGA
POTENCIA	1 HP
CAUDAL DISEÑO	3 GPM – 25 gpm @ 50 PSI
REQUERIMIENTO ENERGÍA	220/440 VAC - 60 Hz - 3 Ph
Ø SUCCION / DESCARGA	1 ½ “
CANTIDAD	2

Homogenización

Tabla 1.3. Características moto reductor

ETIQUETA (TAG)	M-001
POTENCIA	1/4 HP
RPM MOTOR	3600

RPM REDUCTOR	600
VOLTAJE	115 VAC

Electrocoagulación

Tabla 1.4. Características electrocoagulador

ETIQUETA (TAG)	TKE-002
PROCEDENCIA	ECUADOR
TIPO	DC REGULADA
CAUDAL	3.6 gpm
DIMENSIONES	24cmX21cmX15cm
PRESION DE TRABAJO	ATMOSFERICA
MATERIAL CONSTRUCCION	ACRILICO
ØENTRADA/SALIDA/ DRENAJE	1/2 " / 1/2" / 1/2"
CANTIDAD	1

Mezcla de Coagulante

Motor mezclador

Tabla 1.5. Características moto reductor

ETIQUETA (TAG)	M-002
POTENCIA	1/4 HP
RPM MOTOR	3600
RPM REDUCTOR	600
VOLTAJE	115 VAC

Bomba inyección de coagulante

Tabla 1.6. Características bomba dosificadora

ETIQUETA (TAG)	DP-003
MARCA	SUNTERRA
MODELO	109006
PROCEDENCIA	USA

TIPO	SUMERGIBLE
CAUDAL	283 l/h @ 30.48 cm
QUIMICO INYECTAR	A FLOCULANTE
REQUERIMIENTO ENERGÍA	120 VAC / 60 Hz
Ø SUCCION / DESCARGA	REJILLA INFERIOR / 3/8"
CANTIDAD	1

Filtros

Tabla 1.7. Filtros

ETIQUETA (TAG)	SED-001 / SED-002
MARCA	PENTEK
MODELO	BLIG BLUE
PROCEDENCIA	USA
TIPO	MANUAL
CANTIDAD	2

2. ARRANQUE

Para el arranque de la planta se deben confirmar las posiciones de las válvulas como se muestra en la Tabla 2.1, revisar P&DI Anexo.

Tabla 2.1. Posiciones de válvulas en funcionamiento normal

VALVULA	ABIERTA	CERRADA
VE-101	•	
MV-1		•
MV-2		•
SV-3	•	
SV-4		•
SV-5		•
VE-102	•	
VE-103	•	
VE-106	•	

1. Verificar que el nivel en el tanque de coagulante sea suficiente.
2. Verificar que no existan obstrucciones en la entrada de la bomba de dosificación.
3. Verificar si todas las uniones y accesorios se encuentran debidamente sujetas y ajustadas.
4. Verificar que las bombas de alimentación P-001 y de filtrado P-002 estén cebadas, caso contrario realizar el cebado de las mismas
5. Conectar los breakers del tablero TCSE, primero energizar los circuitos de control y a continuación los circuitos de fuerza.
6. Realizar la calibración de los parámetros iniciales en la pantalla TD200.
7. Realizar la calibración de caudales bajo, mínimo y voltaje máximo que va a entregar el convertidor, mediante los controles electrónicos y la pantalla LDC, numerales 4 y 5 de la
8. Programar los variadores de frecuencia para bomba P-001 en 15 Hz y P-002 en 20 Hz
9. Pulsar el botón (verde) de marcha en el tablero TCSE ubicado en la estructura del sistema.

NOTA: Toda la planta y el sistema hidroneumático al estar en función automática están gobernados por sensores de nivel en la homogenización, electrocoagulación, mezcla de coagulante y almacenamiento de agua tratada.

3. FILOSOFIA DE FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN

3.1. Funcionamiento

Cuando el proceso va a ser iniciado por primera vez, la bomba P-001 se pone en funcionamiento para el ingreso del agua residual y el motor-reductor M-001 del tanque de homogenización funcionará después del tiempo establecido en el arranque. Este motor M-001 agita el fluido para oxigenar el agua residual gradualmente, mientras se llena el tanque TK-001.

Cuando el sensor LSH-1 detecta el nivel alto del fluido, se activa el relé, poniendo en funcionamiento la válvula motorizada MV-1, para alimentar el tanque TKE-002 en donde empieza a realizar la electrocoagulación, cuando el sensor LSH-2 de nivel detecta el fluido, activa la válvula motorizada VM-2, el motor-reductor M2 funcionara después del tiempo programado, poniendo en funcionamiento el dosificador del polímero bomba cuya dosificación es programada de tiempos de dosificación establecidos en la pantalla TD 200.

En el instante, que el sensor LSH-3 de nivel alto de la celda del mezclador, detecta el fluido la bomba centrífuga P-002 se enciende y envía el agua residual a través de los filtros, de aquí en adelante todo el proceso es continuo.

El presostato PSH-1 censará la presión de salida de la etapa de filtrado, mientras el filtro gradualmente se vaya obstruyendo por acumulación de sedimentos, esta presión crecerá hasta el valor calibrado, momento el cual el presostato envía la señal al PLC y este comanda las electroválvulas (SV3, SV4), para cambio de filtro.

Cuando el nivel del polímero esté por agotarse, el sensor LSL-5, activa una alarma de alerta, indicando que debe llenarse nuevamente el recipiente.

Cuando el sensor de nivel alto LSH-4 del tanque TK-004 detecta que está lleno envía señal al PLC para que se detenga todo el proceso. Revisar P&ID adjunto.

3.2. Dosificación de Coagulante

Se dosifica coagulante para ayudar al proceso siguiente, mejorando la filtración, por acción de este polímero, las partículas suspendidas se agrupan formando flóculos más grandes los cuales serán fácilmente retenidos en los filtros.

Para dosificación se realiza el cálculo de capacidad de bomba y preparación de solución Policloruro de aluminio:

cantidad de dilución y caudal de dosificación.

$$dosiQuim_{100\%} = Q \left[\frac{l}{dia} \right] \times Dosis \left[\frac{kg}{l} \right]$$

Ecuación 3.1. Dosificación de coagulante al 100%.

$$dosiQuim_{100\%} = 3.96gpm \times \frac{3.785lt}{1gal} \times \frac{60 min}{1h} \times \frac{24h}{1dia} \times \frac{10mg}{l} \times \frac{1 kg}{1000000 mg}$$

$$dosifQuim_{100\%} = 0.22 \frac{Kg}{d}$$

$$dosifQuim_{19\%} = 0.22 \frac{Kg}{d} * \frac{1}{0.19}$$

Ecuación 3.2. Dosificación de coagulante al 19%

$$dosifQuim_{19\%} = 1.14 \frac{Kg}{d}$$

$$densidad_{Al_2(OH)_3Cl\ 19\%} = 1.36 \frac{Kg}{l}$$

$$Dosific_{Al_2(OH)_3Cl\ 19\%} = \frac{1.14 l}{1.36 d}$$

$$Dosific_{Al_2(OH)_3Cl\ 19\%} = \frac{1.14 l}{1.36 d}$$

Ecuación 3.3. Dosificación en Volumen

$$Dosific_{Al_2(OH)_3Cl\ 19\%} = 0.84 \frac{l}{d} = 0.00058 \frac{l}{min} = 0.58 \frac{ml}{min}$$

Se necesita dosificar:

$$Dosific_{Al_2(OH)_3Cl\ 19\%} = 0.58 \frac{ml}{min} \approx 0.6 \frac{ml}{min}$$

Ya que este caudal es muy pequeño para poderlo dosificar se multiplica por 60.

$$Dosific_{Al_2(OH)_3Cl\ 19\%} = 0.6 \frac{ml}{min} \times 100 = 60 \frac{ml}{min} = 1 \frac{ml}{seg}$$

Con este caudal un poco más mensurable, se puede dosificar una gota cada segundo, siendo la apertura de la electroválvula cada segundo.

Para preparar la solución o mezcla:

Se tiene que al día se dosifica:

$$Dosific_{Al_2(OH)_3Cl\ 19\%} = 0.84 \frac{l}{d}$$

Con un volumen

$$Vol_{Al_2(OH)_3Cl\ 19\%} = 0.84 l \times 100 = 84 l$$

A continuación, se obtiene un volumen de solución de 84 litros

Es decir, 0.84 litros de PAC y 83.16 litros de agua osmotizada o pura

En el proyecto se necesita 1 litro de mezcla, para lo cual:

$$\frac{84 l_{solucion}}{1 l_{solucion}} = \frac{0.84 l_{Al_2(OH)_3Cl\ 19\%}}{X}$$

Ecuación 3.4. Regla de tres

$$Vol_{Al_2(OH)_3Cl\ 19\%} = 0.01 l_{Al_2(OH)_3Cl\ 19\%} = 10 ml_{Al_2(OH)_3Cl\ 19\%}$$

Se tendría que realizar la mezcla con 10 ml de PAC y 0.9 litros de agua pura

4. PANEL DE CONTROL TCSE

La Planta de Tratamiento de Agua será gobernada por el panel de control TCSE, el controlador lógico programable SIEMENS STEP 7, el cual incorpora todos los elementos para el funcionamiento y protección de los equipos instalados. Circuitos electrónicos, usados para visualización de variables y mensajes del sistema, controles para calibración y medición de voltaje y corriente, sus elementos y tags se muestran en la **Tabla 4.1**.

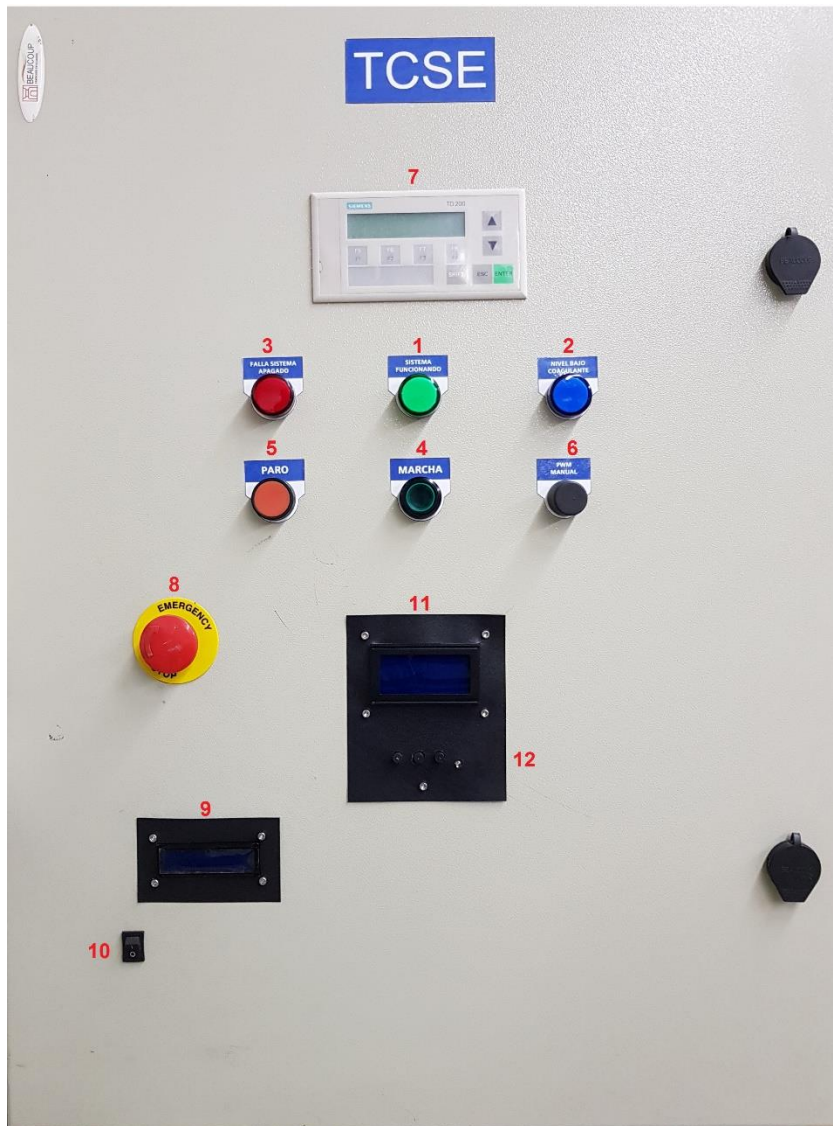


Figura 4.1. Tablero de Control (paro marcha)

Tabla 4.1. Tablero de Control

ítem	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TAG
	PANEL: 60X40X20CM	1	TCSE
1	LUZ INDICADORA VERDE DE ENCENDIDO SISTEMA	1	LB1
2	LUZ INDICADORA AZUL ALERTA COAGULANTE NIVEL BAJO	1	LB3

3	LUZ INDICADORA ROJA DE FALLA INDICA SISTEMA APAGADO, NIVEL BAJO TANQUE PRINCIPAL BOMBA P-001 Y FIN DE PROCESO	1	LB2
4	PULSADOR VERDE ARRANQUE DEL SISTEMA	1	S2
5	PULSADOR ROJO PARO DEL SISTEMA	1	S3
6	POTENCIOMETRO (PERILLA NEGRA)	1	RA1
7	PANTALLA SIEMENS	1	TD-200
8	PARO DE EMERGENCIA	1	S1
9	MEDIDOR DE VOLTAJE Y CORRIENTE	1	IAV-001
10	INTERRUPTOR ENCENIDO/APAGADO MEDIDOR DE VOLTAJE Y CORRIENTE	1	S4
11	PANTALLA LCD 4X16	1	---
12	PULSADORES DE CONTROL	1	---

1. LUZ INDICADORA VERDE DE ENCENDIDO DEL SISTEMA (LB1)

Esta señal luminosa indica que el sistema se encuentra operando y que la bomba P-001 está alimentando de agua residual a la primera etapa, homogenización.

2. LUZ INDICADORA AZUL ALERTA NIVEL BAJO COAGULANTE (LB3)

Este elemento ilumina intermitentemente para indicar alerta debido a que el nivel de coagulante en el depósito de dosificación es bajo.

3. LUZ INDICADORA ROJA SISTEMA DETENIDO, ALARMA (LB2)

La luz piloto roja de falla indica, cuando el sistema está apagado por paro manual, emergencia, nivel bajo de fluido en el tanque TKW-001.

4. PULSADOR VERDE ARRANQUE DEL SISTEMA (S2)

Este elemento una vez presionado inicia el sistema prototipo, arrancando la bomba P-001. Para efectuar esta operación previamente se debieron calibrar parámetros. (ver sección 3 ARRANQUE)

5. PULSADOR ROJO PARO DEL SISTEMA (S3)

Cuando se presiona este elemento todo el sistema se detiene, dejan de operar bombas P-001, P-002, P-003, motores M-001, M-002; también se deja de suministrar voltaje a TKE-002 y finalmente se deja de enviar las señales de control hacia MV1, MV2, SV5, SV3 o SV4.

6. POTENCIOMETRO (PERILLA NEGRA) (RA1)

Este elemento controla el pwm del conversor manualmente, esto se puede realizar colocando en 1 el micro-interruptor que se encuentra en el circuito del conversor dentro del tablero de control.

7. PANTALLA SIEMENS (TD-200)

Este elemento es una interface de comunicación con el PLC de Siemens Step7 y permite calibrar parámetros de encendido y apagado de bomba de dosificación P-003.

8. PULSADOR STOP EMERGENCY (S1)

Este elemento al ser presionado detiene por completo, elemento de seguridad, debe ser activado ante eventualidades. Una vez superado el evento debe girarse hacia la derecha para liberar el enclavamiento mecánico y que vuelva a su posición inicial.

9. MEDIDOR DE VOLTAJE Y CORRIENTE (IAV-001)

Medidor de voltaje (divisor de voltaje) y corriente (efecto hall), se muestran los valores en un display.

10. INTERRUPTOR MEDIDOR DE VOLTAJE CORRIENTE (S4)

Este elemento permite encender o apagar manualmente el medidor de voltaje y corriente.

11. DISPLAY LCD 4X16

Permite la visualización de parámetros calibrados y valores de PWM, voltaje y caudal con el que la planta se encuentra operando.

12. CONTROLES ELECTRÓNICOS

- a) Pulsador izquierdo, controla la programación para decremento de los parámetros.
- b) Pulsador central, controla la programación de ENTER o aceptado
- c) Pulsador derecha, controla la programación de incremento de los parámetros.

Permiten establecer parámetros de caudal de dosificación y voltaje máximo de la celda de electrocoagulación.

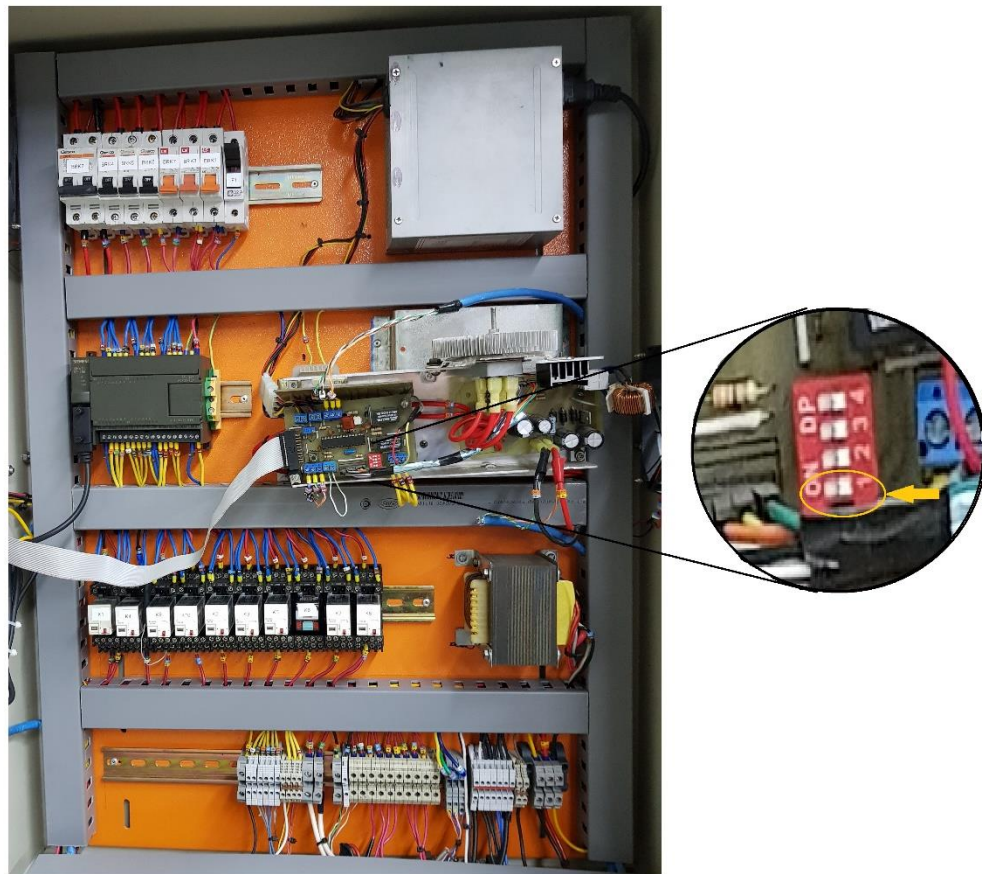


Figura 4.2. Tablero interno, muestra micro interruptor



Figura 4.3. Interface TD-200

1. BOTÓN FLECHA HACIA ARRIBA

Al presionar este elemento permite desplazarse hacia adelante a través de las opciones del menú y para incrementar valores.

2. BOTÓN FLECHA HACIA ABAJO

Al presionar este elemento permite desplazarse hacia atrás a través de las opciones del menú y para decrementar valores.

3. TECLA ESC

Este elemento permite salir de las opciones del menú.

4. TECLA ENTER

Este elemento al ser presionado permite desplegar el menú de opciones, y también el aceptar un valor configurado con las teclas de incremento o decremento, guardándolo en la memoria del PLC. En la Tabla 4.2 se muestran los valores sugeridos para programación de tiempos para el inicio de funcionamiento de motores y de dosificación de bomba.

Tabla 4.2. Tiempos de programación

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN	VALOR
T. ON MOTOR HOMO:	Tiempo encendido motor homogenización	2 seg
T. ON MOTOR MIXER:	Tiempo encendido motor homogenización	2 seg
T. OF CAUDAL DOSIFICACIÓN:	Tiempo apagado de dosificación de coagulante	1 seg
T. ON CAUDAL DOSIFICACIÓN:	Tiempo encendido de dosificación de coagulante	0.5 seg



Figura 4.4. Variadores de frecuencia WEQ, tablero TCV.

1. BOTÓN FLECHA HACIA ARRIBA

Esta tecla al ser presionada permite incrementar la frecuencia que el variador envía hacia el motor conectado.

2. BOTÓN FLECHA HACIA ABAJO

Esta tecla al ser presionada permite decrementar la frecuencia que el variador envía hacia el motor conectado.

Para asegurar el caudal requerido para que el sistema funcione correctamente se debe programar los variadores según la Tabla 4.3, ya que se requiere que el caudal este dentro de 8 a 15 l/min, bajo los 8 l/min no se tiene una buena lectura y arriba de 15 l/min el sistema se satura por desborde de los tanques y por mala filtración de los filtros, porque su filtración optima es a 3,6 gpm o 15 l/min.

Tabla 4.3. Parámetros de programación de variadores

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN	VALOR
VARIADOR 1	Velocidad bomba P-001	14.9- 15.3 Hz
VARIADOR 2	Velocidad bomba P-002	15-17 Hz

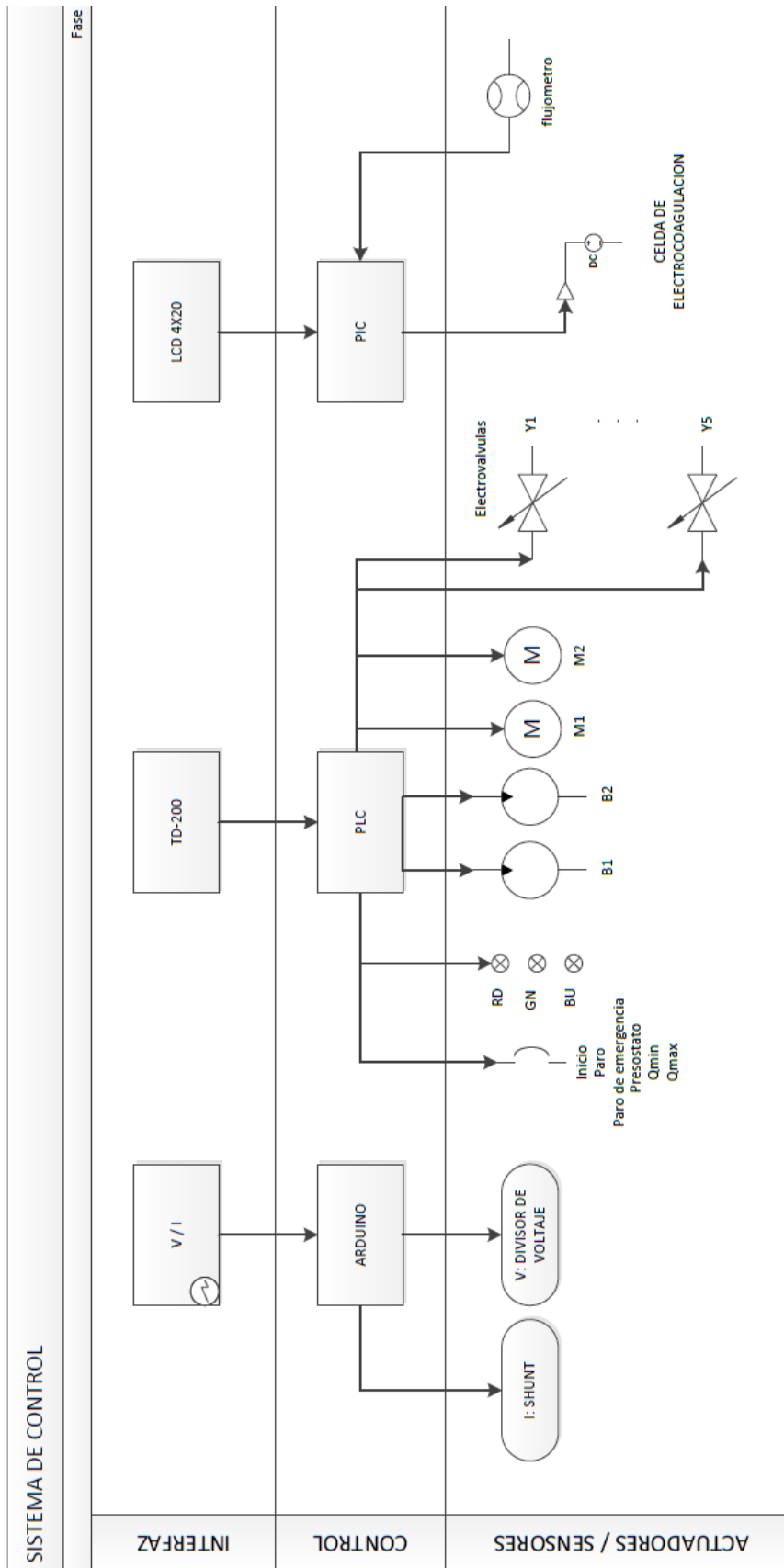
5. SOLUCION DE PROBLEMAS

Tabla 5.1. Problemas comunes.

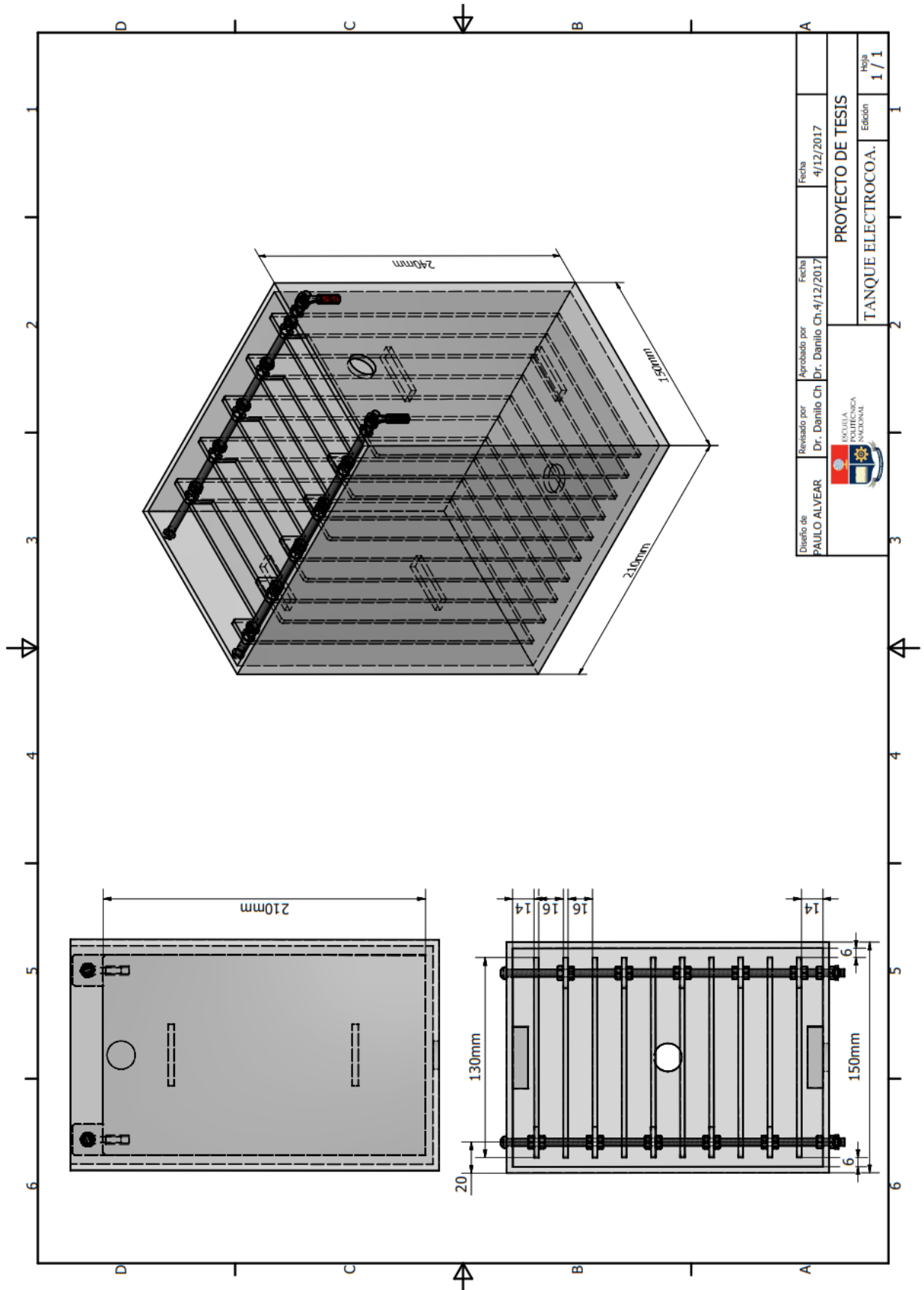
PROBLEMA/SINTOMA	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN
El equipo no enciende	<ul style="list-style-type: none"> No existe energía en el tomacorriente. 	<ul style="list-style-type: none"> Verificar con un voltímetro si existe voltaje 120VAC
El equipo enciende, pero no arranca	<ul style="list-style-type: none"> Falta ingresar los parámetros de tiempos en la pantalla TD 200. Nivel de fluido bajo en tanque TKW-001. La bomba esta descebada. 	<ul style="list-style-type: none"> Ingresar los tiempos requeridos según criterio tabla. Llenar agua en el tanque hasta que sobrepase el interruptor de nivel bajo. Llenar la cámara del impeler con agua mediante por el accesorio Tee que está a la salida de la bomba.
El fluido no circula hacia el tanque TK-003	<ul style="list-style-type: none"> La salida de tubería del tanque TKE-002 de electrocoagulación está tapado con lodos sedimentados. La válvula motorizada MV-1 esta tapada. La válvula motorizada MV-1 no funciona: <ul style="list-style-type: none"> El motor no funciona El pistón está trabado. 	<ul style="list-style-type: none"> Limpiar la salida con algún objeto delgado que entre en la tubería. Desmontar la válvula motorizada MV-1 y limpiar la parte del pistón de ingreso del agua. Verificar si existe voltaje de alimentación 120VAC <ul style="list-style-type: none"> Si el motor no se mueve reemplazar válvula completa. Si el motor funciona desmotar y destrabar destrabar el pistón, si no funciona, cambiar válvula completa.
El convertor no alimenta a las placas del electrocoagulador	<ul style="list-style-type: none"> El caudal es muy pequeño para que el caudalímetro envíe los pulsos necesarios para que el convertor lea dichos pulsos y envíe voltaje 	<ul style="list-style-type: none"> Subir uno puntos de frecuencia en el variador hasta que detecte y empiece a enviar voltaje a las placas. Desactivar el modo manual de pwm,


	<ul style="list-style-type: none"> • Esta activado el modo manual de pwm mediante el potenciómetro. 	poniendo enoff el pin 1 del microswitch ubicado en la tarjeta de circuitos de control del conversor en el interior del tablero de control.
El dosificador no dosifica	<ul style="list-style-type: none"> • El coagulante está agotado. • La bomba de dosificación no funciona. • Bomba de dosificación trabada 	<ul style="list-style-type: none"> • Llenar nuevamente el tanque de coagulante TK-005. • Revisar si existe voltaje de alimentación a la bomba. En caso de si existir voltaje, cambiar bomba. • Verificar si no existen basuras en el interior del impeller de la bomba dosificadora y limpiarla.
El agua no pasa circula del tanque de	<ul style="list-style-type: none"> • El cartucho del filtro está saturado o tapado • La electroválvula SV1/SV2 no funciona 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar cartucho del filtro. • Verificar si la existe alimentación en la electroválvula SV1/SV2 de 120VAC si existe reemplazar la electroválvula completa.

ANEXO II. Arquitectura del Sistema

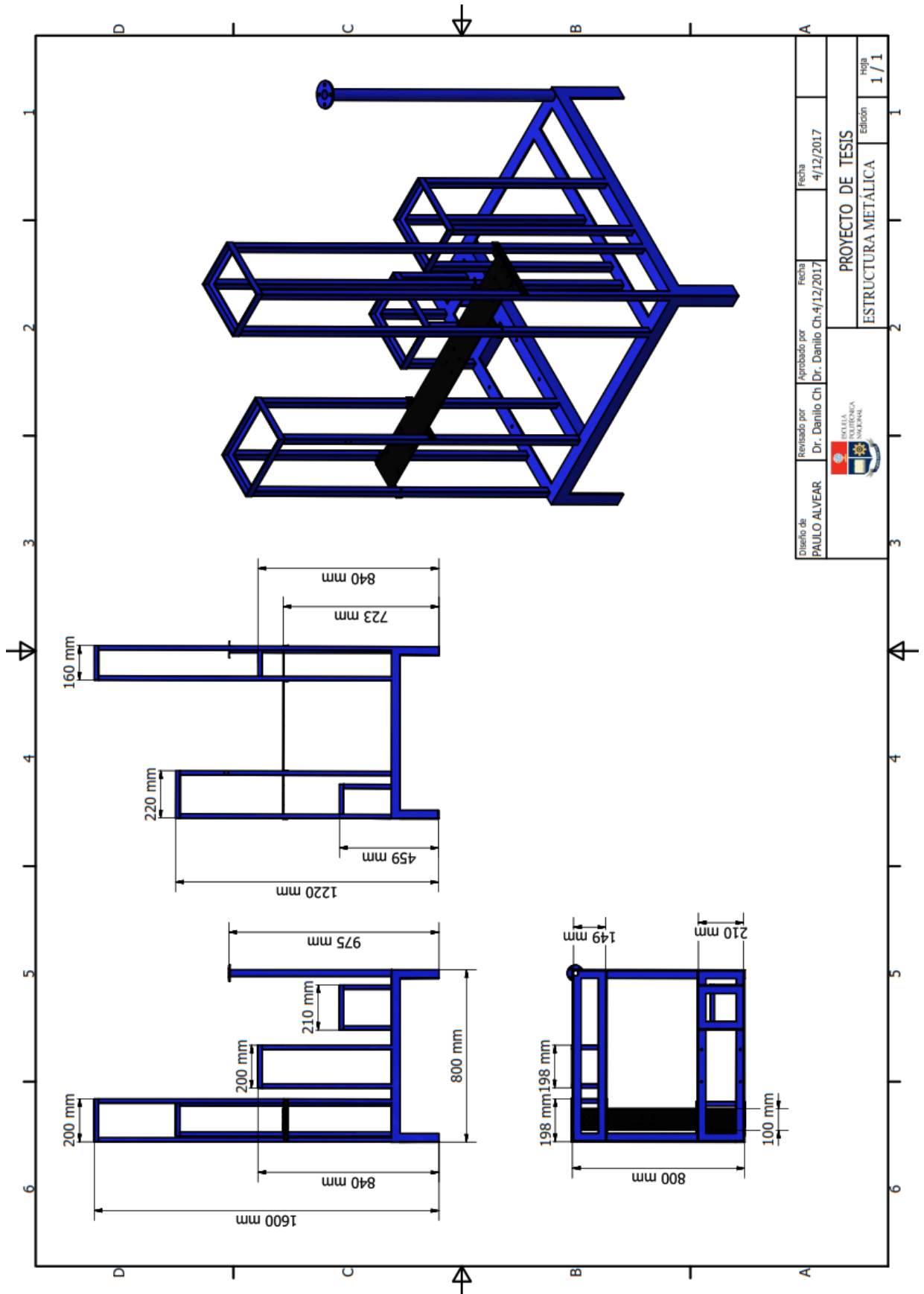



ANEXO III. Ensamblaje Tanque Electrocoagulación



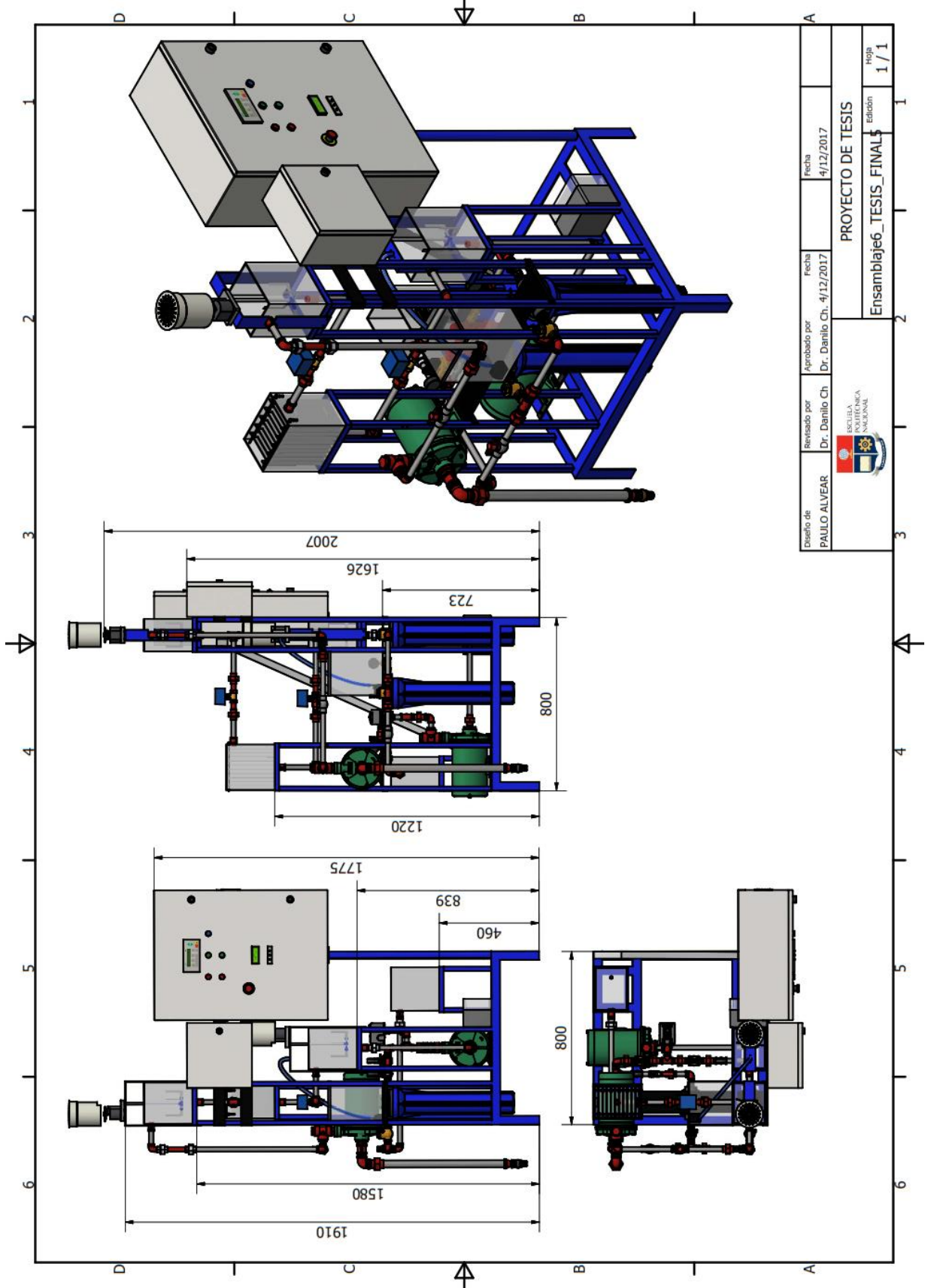
Diseño de PAULO ALVEAR	Revisado por Dr. Danilo Ch	Aprobado por Dr. Danilo Ch	Fecha 4/12/2017	Fecha 4/12/2017
 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL			PROYECTO DE TESIS	
			TANQUE ELECTROCOA.	
			Edición	Hoja
			1 / 1	1 / 1


ANEXO VI. Ensamblaje Estructura



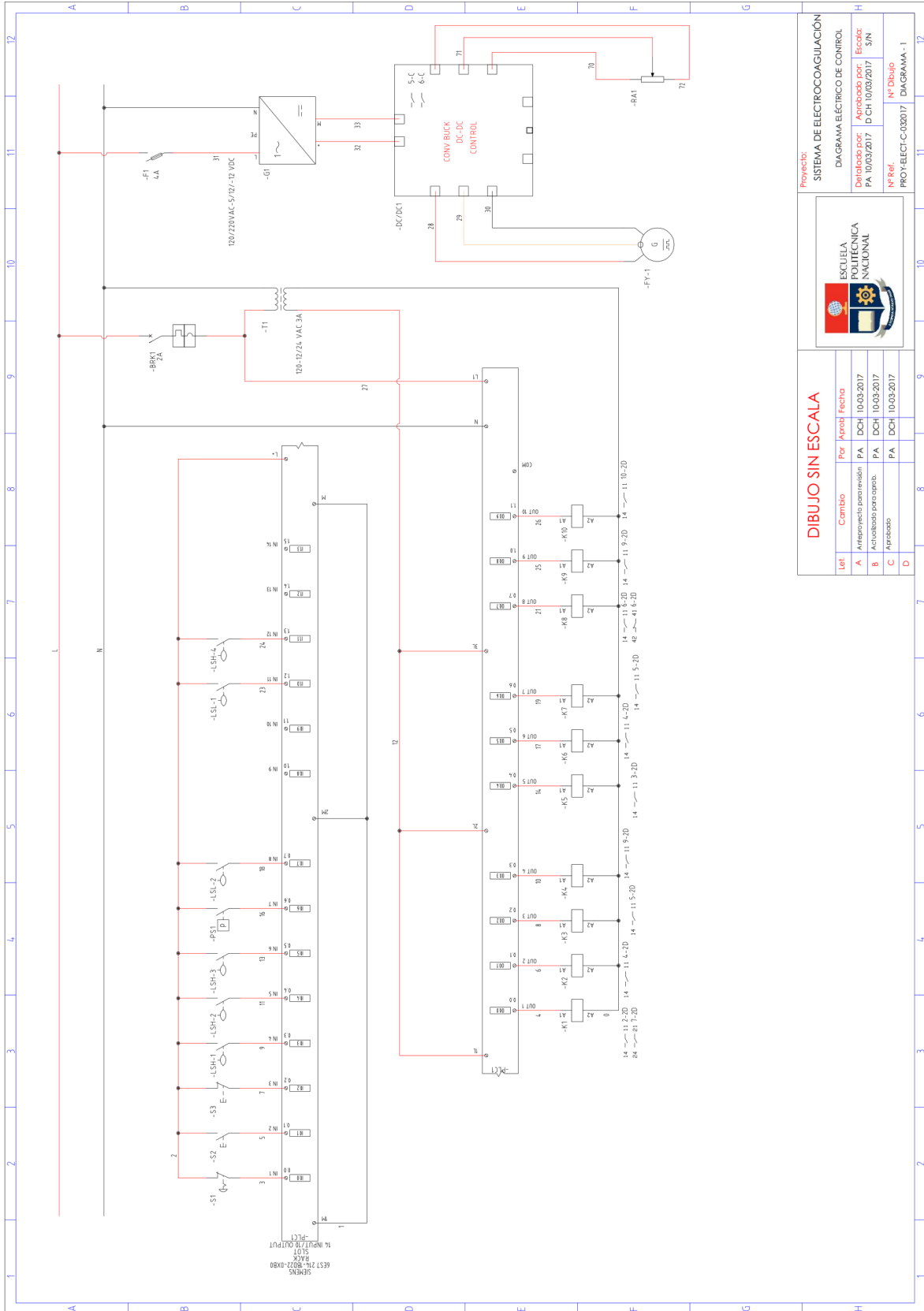
Diseño de PAULO ALVEAR	Revisado por Dr. Danilo Ch	Aprobado por Dr. Danilo Ch	Fecha 4/12/2017
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARCOS			Edición 1 / 1
PROYECTO DE TESIS ESTRUCTURA METÁLICA			

ANEXO V. Ensamblaje Sistema Prototipo



Diseño de PAULO ALVEAR	Revisado por Dr. Danilo Ch.	Aprobado por Dr. Danilo Ch.	Fecha 4/12/2017
 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL		PROYECTO DE TESIS Ensamblaje6_TESIS_FINAL	
		Edición Hoja 1 / 1	

ANEXO VI. Circuitos Eléctricos de Control y Fuerza



Proyecto: SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN

Diagrama: DIAGRAMA ELÉCTRICO DE CONTROL

Datado por: PA 10/03/2017 **Escala:** S/N

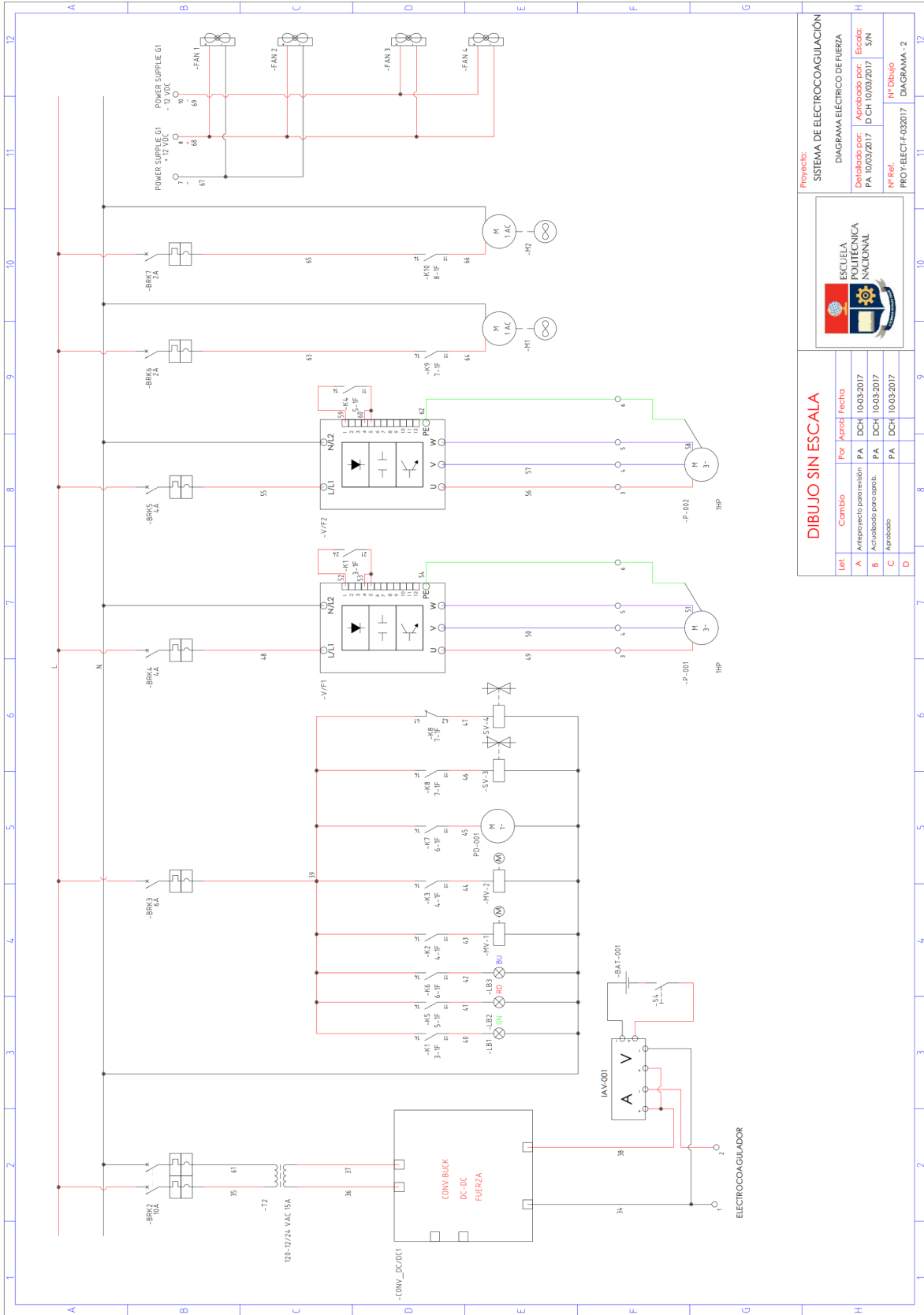
Aprobado por: D CH 10/03/2017

N° Ref.: PROY-ELECT-C-032017 **N° Dibujo:** DIAGRAMA - 1

ESCUOLA POLITÉCNICA NACIONAL

Let.	Cambio	Por	Aprob.	Fecha
A	Anteproyecto para revisión	PA	DCH	10.03.2017
B	Actualizado para aprob.	PA	DCH	10.03.2017
C	Aprobado	PA	DCH	10.03.2017
D				

DIBUJO SIN ESCALA



Proyecto: SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN

Diagrama Eléctrico de Fuerza

Detalado por: PA 10/03/2017

Aprobado por: DCH 10/03/2017

Escala: S/N

N° Rel: PROY-ELEC-F-032017

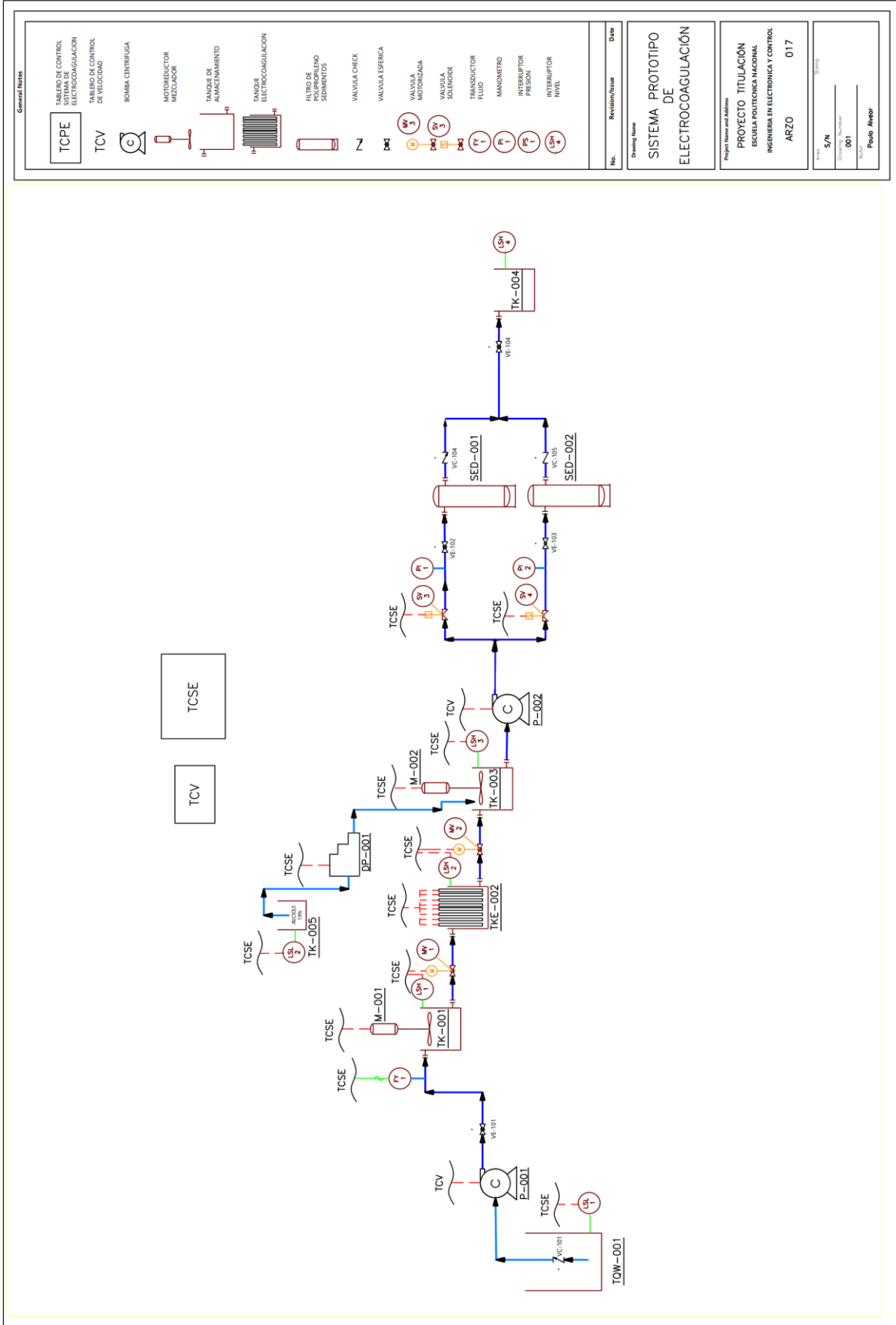
N° Dibujo: DIAGRAMA - 2

DIBUJO SIN ESCALA

Let	Cambio	Por	Aprob	Fecha
A	Anteproyecto para revisión	PA	DCH	10.03.2017
B	Actualizado para aprob.	PA	DCH	10.03.2017
C	Aprobado	PA	DCH	10.03.2017
D		PA	DCH	10.03.2017



ANEXO VII. PI&D Sistema Prototipo



ANEXO VIII. Fotografías Circuitos, Elaboración de Placas Electrónicas.

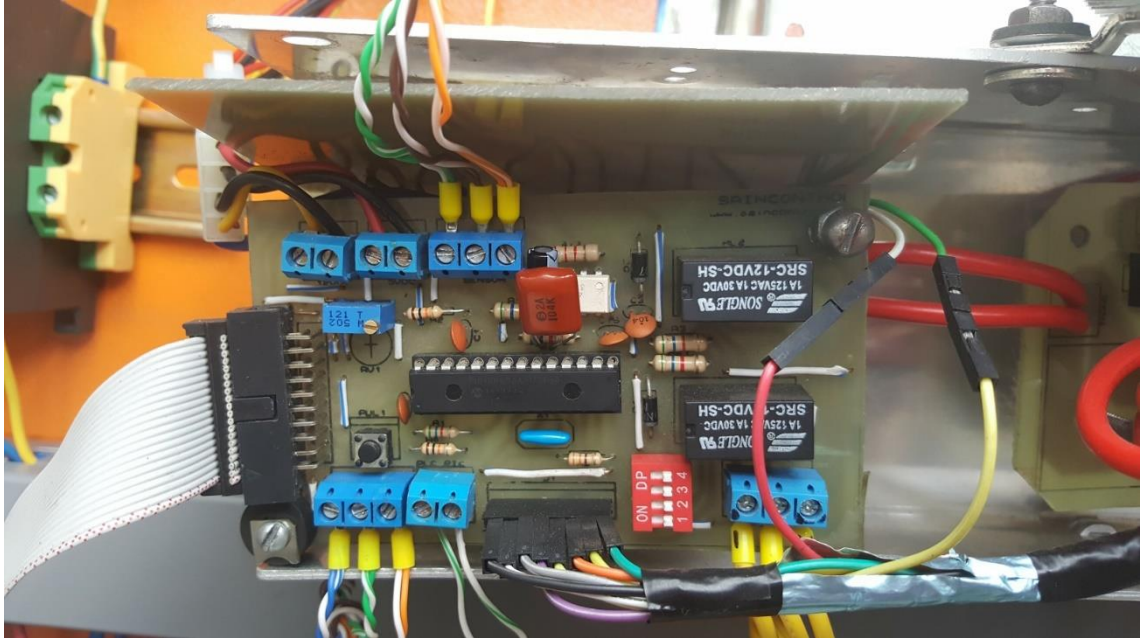


Figura 0.1. Circuito de control

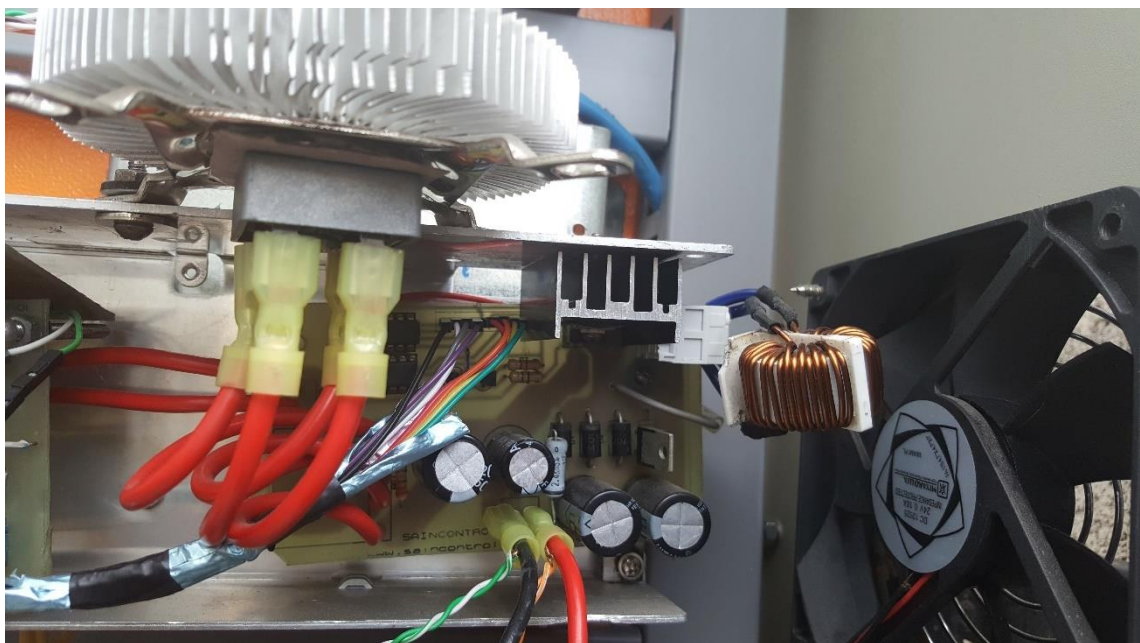


Figura 0.2. Circuito de fuerza.

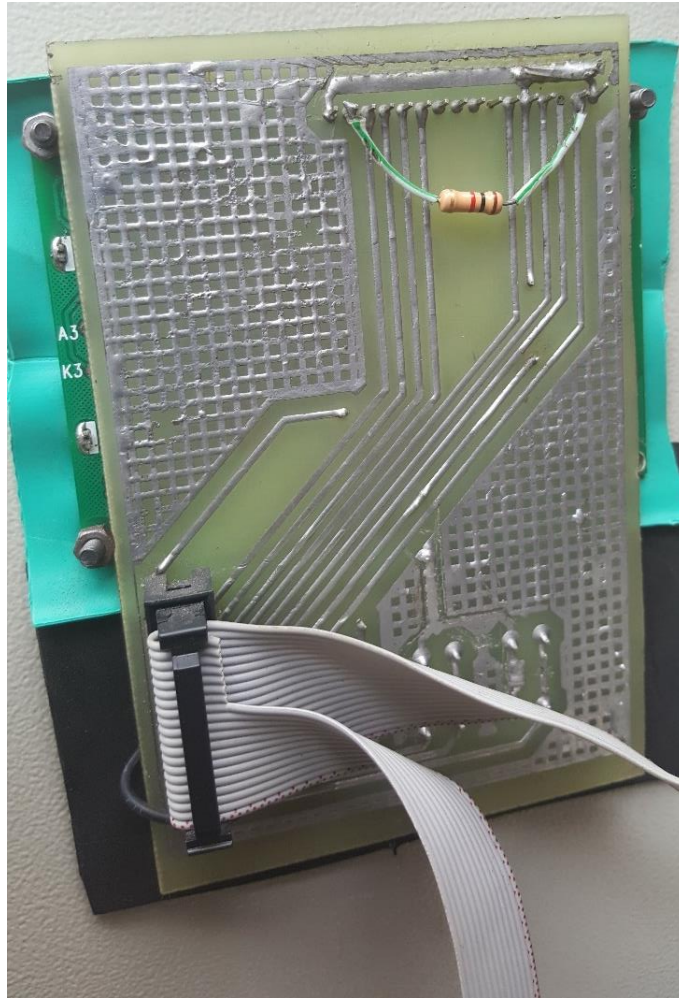


Figura 0.3. Circuito LCD.

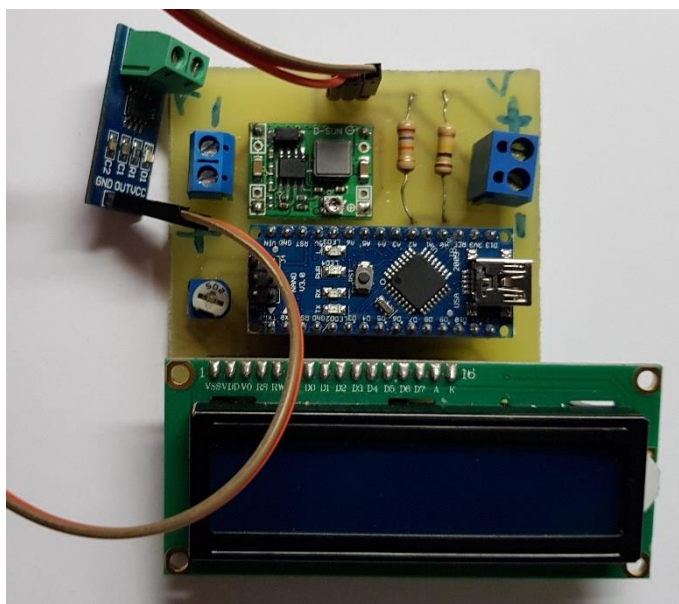


Figura 0.4. Circuito medidor de voltaje y corriente.

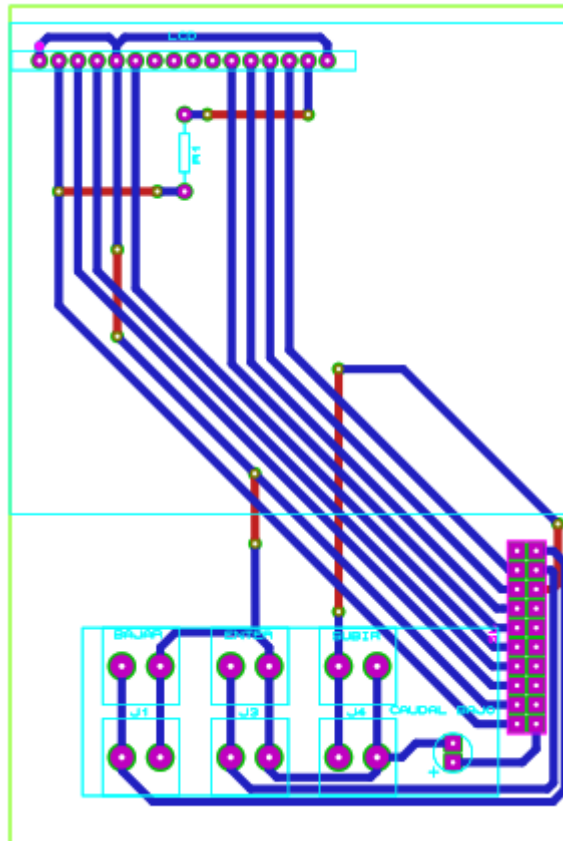


Figura 0.5. Placa electrónica circuito LCD.

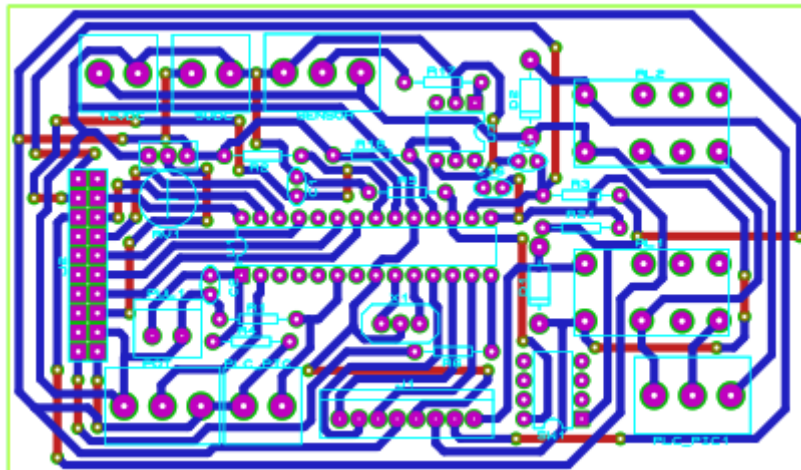


Figura 0.6. Placa de circuito de control conversor Buck.

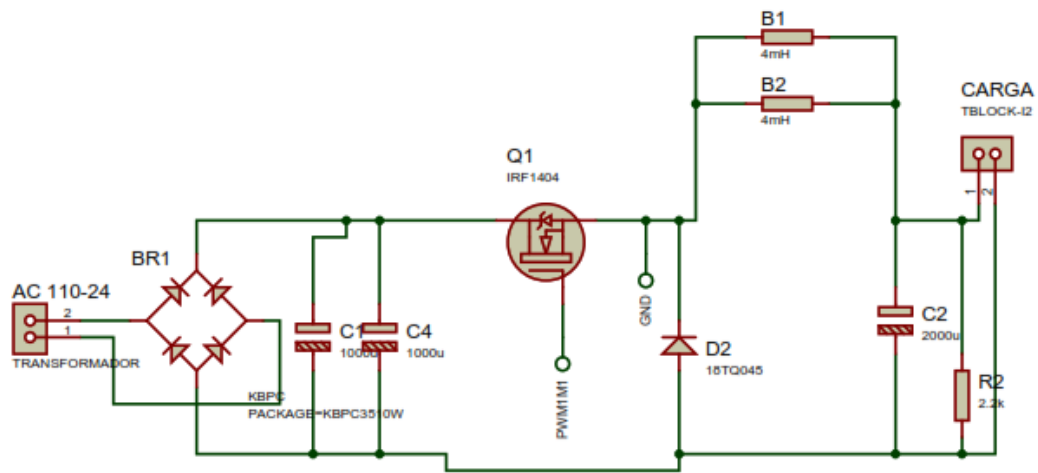


Figura 0.7. Circuito de fuerza conversor BUCK.

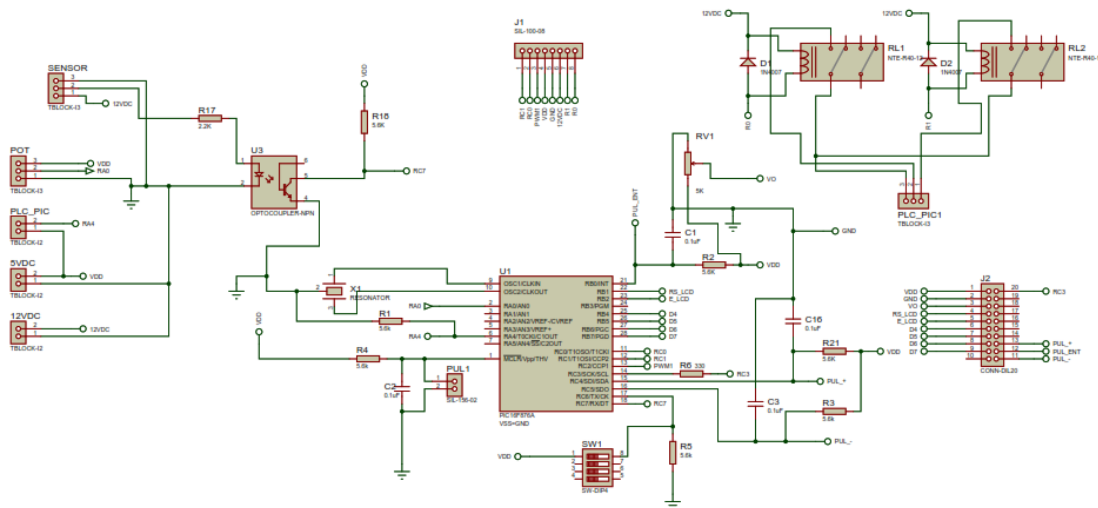


Figura 0.8. Circuito de control conversor BUCK.

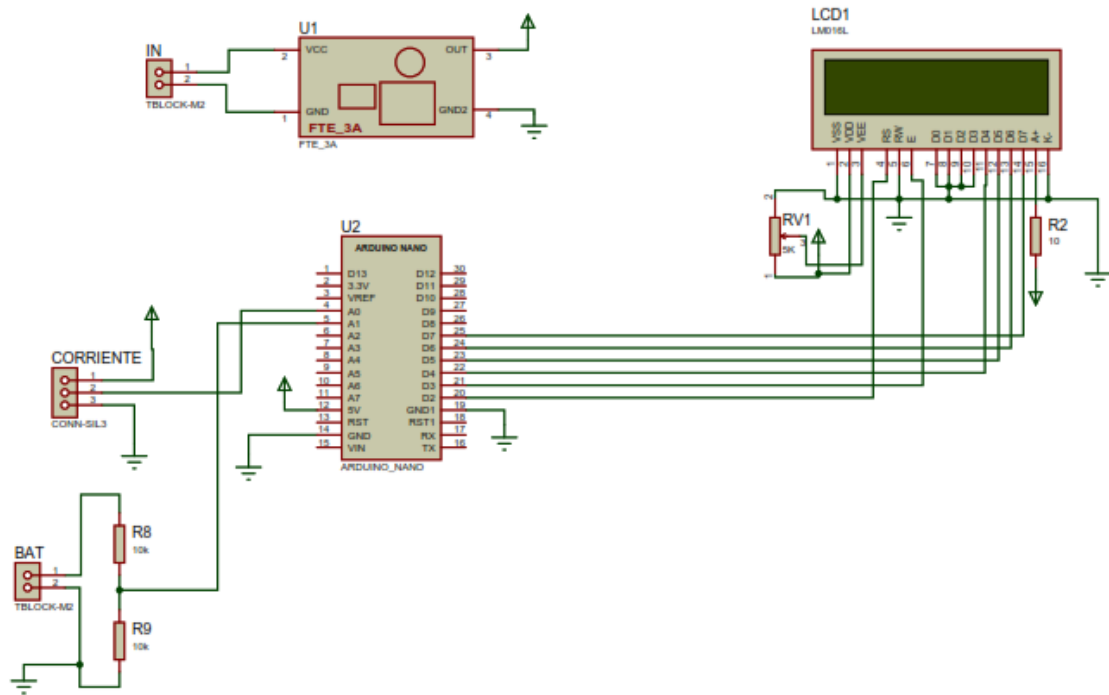


Figura 0.9. Circuito Voltímetro - Amperímetro.

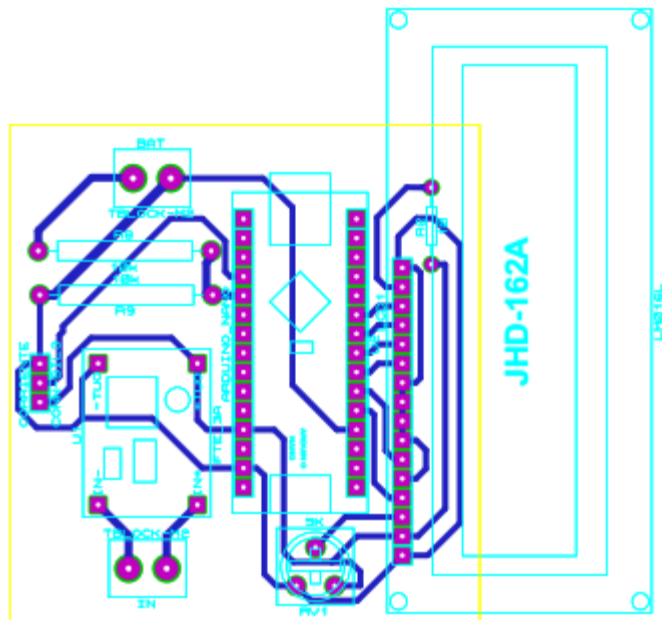


Figura 0.10. Placa circuito Voltímetro – Amperímetro.

ANEXO IX. Pruebas de DQO Y DBO realizadas en Laboratorio.



LABORATORIO DE
ENSAYO ACREDITADO
POR EL SAE CON
ACREDITACIÓN
N° OAE LE 1C 06-002

INFORME DE RESULTADOS

INF.LASA-24-05-16-828
ORDEN DE TRABAJO No. 003618-16


SOLICITADO POR : PAULO JEFERSON ALVEAR PEÑA
DIRECCIÓN : PUEBLO BLANCO - CALDERÓN
TELÉFONO/FAX : 0992784620
TIPO DE MUESTRA: AGUA
PROCEDENCIA: PLANTA DE TINTURADO
IDENTIFICACIÓN: AGUA TINTURADA (SUCIA)
CÓD DE MUESTRA: 6890-16

FECHA DE RECEPCIÓN: 16/05/2016
FECHA DE ANÁLISIS: 16/05-24/05/2016
FECHA DE ENTREGA: 24/05/2016
NÚMERO DE MUESTRAS: UNA (1)
MUESTREO POR: SOLICITANTE
CÓDIGO: M1

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRA	MÉTODO DE ENSAYO
1	D.B.O5. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	690,00	PEE-LASA-FQ-07 APHA 5210 B
2	D.Q.O. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	1792,00	PEE-LASA-FQ-04 APHA 5220 C *

LOS ENSAYOS MARCADOS CON * ESTÁN FUERA DEL ALCANCE DE ACREDITACIÓN DEL SAE


Dr. Marco Gujardo Ruales.
GERENTE DE LABORATORIO

LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida en el laboratorio.
Las incertidumbres de los resultados para los ensayos se encuentran disponibles en los registros de Laboratorio LASA.
Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del Laboratorio.

Pág.1 de 1

Av. de la Prensa N53-113 y Gonzalo Gallo • Teléfonos: 2469- 814 / 2269-012
Juan Ignacio Pareja OE5-97 y Simón Cárdenas • Teléfono: 2290-815
Celular: 099 9236 287 • e-mail: info@laboratoriolasa.com
web: www.laboratoriolasa.com • Quito - Ecuador

INFORME DE RESULTADOS

INF.LASA-24-05-16-829
ORDEN DE TRABAJO No. 003618-16

SOLICITADO POR : PAULO JEFERSON ALVEAR PEÑA
DIRECCIÓN : PUEBLO BLANCO - CALDERÓN
TELÉFONO/FAX : 0992784620
TIPO DE MUESTRA: AGUA
PROCEDENCIA: PLANTA DE TINTURADO
IDENTIFICACIÓN: AGUA FLOCULADA (ELECTROFLOCULACIÓN / ELECTROCOAGULACIÓN)
CÓD DE MUESTRA: 8891-16
CÓDIGO: M2

FECHA DE RECEPCIÓN: 16/05/2016
FECHA DE ANÁLISIS: 16/05-24/05/2016
FECHA DE ENTREGA: 24/05/2016
NÚMERO DE MUESTRAS: UNA (1)
MUESTREO POR: SOLICITANTE

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRA	MÉTODO DE ENSAYO
1	D.B.O5. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	69,80	PEE-LASA-FQ-07 APHA 5210 B *
2	D.Q.O. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	160,00	PEE-LASA-FQ-04 APHA 5220 C

LOS ENSAYOS MARCADOS CON * ESTÁN FUERA DEL ALCANCE DE ACREDITACIÓN DEL SAE



Dr. Marco Guizarro Ruales.
GERENTE DE LABORATORIO

LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida en el laboratorio.
Las incertidumbres de los resultados para los ensayos se encuentran disponibles en los registros de Laboratorio LASA
Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del Laboratorio

Pág.1 de 1

INFORME DE RESULTADOS

INF.LASA-14-06-16-868
ORDEN DE TRABAJO No. 003701-16

SOLICITADO POR : PAULO JEFERSON ALVEAR PEÑA
DIRECCIÓN : PUEBLO BLANCO - CALDERÓN
TELÉFONO/FAX : 0992784620
TIPO DE MUESTRA: AGUA
PROCEDENCIA: PLANTA DE TINTURADO
IDENTIFICACIÓN: AGUA TINTURADA (SUCIA)
CÓD DE MUESTRA: 8970-16

FECHA DE RECEPCIÓN: 06/06/2016
FECHA DE ANÁLISIS: 06/06-14/06/2016
FECHA DE ENTREGA: 14/06/2016
NÚMERO DE MUESTRAS: UNA (1)
MUESTREO POR: SOLICITANTE
CÓDIGO: M1

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRA	MÉTODO DE ENSAYO
1	D.B.O5. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	780,00	PEE-LASA-FQ-07 APHA 5210 B
2	D.Q.O. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	1927,00	PEE-LASA-FQ-04 APHA 5220 C *

LOS ENSAYOS MARCADOS CON * ESTÁN FUERA DEL ALCANCE DE ACREDITACIÓN DEL SAE



Dr. Marco Guajardo Ruales.
GERENTE DE LABORATORIO

LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida en el laboratorio.
Las incertidumbres de los resultados para los ensayos se encuentran disponibles en los registros de Laboratorio LASA
Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del Laboratorio

Pág.1 de 1

INFORME DE RESULTADOS

INF.LASA-14-06-16-869
ORDEN DE TRABAJO No. 003701-16

SOLICITADO POR : PAULO JEFERSON ALVEAR PEÑA
DIRECCIÓN : PUEBLO BLANCO - CALDERÓN
TELÉFONO/FAX : 0992784620
TIPO DE MUESTRA: AGUA
PROCEDENCIA: PLANTA DE TINTURADO
IDENTIFICACIÓN: AGUA FLOCULADA (ELECTROFLOCULACIÓN / ELECTROCOAGULACIÓN)
CÓD DE MUESTRA: 8971-16
CÓDIGO: M2

FECHA DE RECEPCIÓN: 06/06/2016
FECHA DE ANÁLISIS: 06/06-14/05/2016
FECHA DE ENTREGA: 14/06/2016
NÚMERO DE MUESTRAS: UNA (1)
MUESTREO POR: SOLICITANTE

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRA	MÉTODO DE ENSAYO
1	D.B.O5. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	70,60	PEE-LASA-FQ-07 APHA 5210 B *
2	D.Q.O. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	168,50	PEE-LASA-FQ-04 APHA 5220 C

LOS ENSAYOS MARCADOS CON * ESTÁN FUERA DEL ALCANCE DE ACREDITACIÓN DEL SAE



Dr. Marco Guizarro Ruales.
GERENTE DE LABORATORIO

LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida en el laboratorio.
Las incertidumbres de los resultados para los ensayos se encuentran disponibles en los registros de Laboratorio LASA
Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del Laboratorio

Pág.1 de 1

INFORME DE RESULTADOS

INF.LASA-20-06-16-898
ORDEN DE TRABAJO No. 003741-16


SOLICITADO POR : PAULO JEFERSON ALVEAR PEÑA
DIRECCIÓN : PUEBLO BLANCO - CALDERÓN
TELÉFONO/FAX : 0992784620
TIPO DE MUESTRA: AGUA
PROCEDENCIA: PLANTA DE TINTURADO
IDENTIFICACIÓN: AGUA TINTURADA (SUCIA)
CÓD DE MUESTRA: 9010-16

FECHA DE RECEPCIÓN: 20/06/2016
FECHA DE ANÁLISIS: 20/06-28/06/2016
FECHA DE ENTREGA: 28/06/2016
NÚMERO DE MUESTRAS: UNA (1)
MUESTREO POR: SOLICITANTE
CÓDIGO: M1

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRA	MÉTODO DE ENSAYO
1	D.B.O5. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	881,00	PEE-LASA-FQ-07 APHA 5210 B
2	D.Q.O. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	1986,00	PEE-LASA-FQ-04 APHA 5220 C *

LOS ENSAYOS MARCADOS CON * ESTÁN FUERA DEL ALCANCE DE ACREDITACIÓN DEL SAE



Dr. Marco Guajardo Ruales.
GERENTE DE LABORATORIO

LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida en el laboratorio.
Las incertidumbres de los resultados para los ensayos se encuentran disponibles en los registros de Laboratorio LASA
Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del Laboratorio.

Pág.1 de 1

INFORME DE RESULTADOS

INF.LASA-20-06-16-899
ORDEN DE TRABAJO No. 003741-16

SOLICITADO POR : PAULO JEFERSON ALVEAR PEÑA
DIRECCIÓN : PUEBLO BLANCO - CALDERÓN
TELÉFONO/FAX : 0992784620
TIPO DE MUESTRA: AGUA
PROCEDENCIA: PLANTA DE TINTURADO
IDENTIFICACIÓN: AGUA FLOCULADA (ELECTROFLOCULACIÓN / ELECTROCOAGULACIÓN)
CÓD DE MUESTRA: 9011-16
CÓDIGO: M2

FECHA DE RECEPCIÓN: 20/06/2016
FECHA DE ANÁLISIS: 20/06-28/05/2016
FECHA DE ENTREGA: 28/06/2016
NÚMERO DE MUESTRAS: UNA (1)
MUESTREO POR: SOLICITANTE

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRA	MÉTODO DE ENSAYO
1	D.B.O5. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	71,00	PEE-LASA-FQ-07 APHA 5210 B *
2	D.Q.O. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	169,20	PEE-LASA-FQ-04 APHA 5220 C

LOS ENSAYOS MARCADOS CON * ESTÁN FUERA DEL ALCANCE DE ACREDITACIÓN DEL SAE



Dr. Marco Guajardo Ruales.
GERENTE DE LABORATORIO

LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida en el laboratorio.
Los incertidumbres de los resultados para los ensayos se encuentran disponibles en los registros de Laboratorio LASA
Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del Laboratorio

Pág.1 de 1

Av. de la Prensa N53-113 y Gonzalo Gallo • Teléfonos: 2469- 814 / 2269-012
Juan Ignacio Pareja OE5-97 y Simón Cárdenas • Teléfono: 2290-815
Celular: 099 9236 287 • e-mail: info@laboratoriolasa.com
web: www.laboratoriolasa.com • Quito - Ecuador