

Máquina Evaporadora de Sal para las Minas del Municipio de Recetor-Casanare

Michael Yesid Herrera Rodríguez

Fabián Leonardo Herrera Gil

Universidad de Boyacá
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Ingeniería Mecatrónica

Tunja

2021

Máquina Evaporadora de Sal para las Minas del Municipio de Recetor-Casanare

Michael Yesid Herrera Rodríguez

Fabián Leonardo Herrera Gil

**Trabajo de Grado para optar por el Título de
Ingeniero Mecatrónico**

Director

PhD. Erika Paola Rodríguez Lozano

Ingeniera Electrónica

Codirector

Mag. Andrés Felipe Rodríguez Cuervo

Ingeniero Mecatrónico

Universidad de Boyacá

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Ingeniería Mecatrónica

Tunja

2021

“Únicamente el Graduado es responsable de las ideas expuestas en el presente trabajo”
(Universidad de Boyacá. Acuerdo 958 del 30 de marzo de 2017, Artículo décimo primero).

A nuestros padres, por su esfuerzo, trabajo, sacrificio y amor en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos. Ha sido un orgullo y un privilegio ser sus hijos, son los mejores padres.

Fabian y Michael

Agradecimientos

Agradecimientos de los autores a: PhD. Erika Paola Rodríguez Lozano, directora del presente trabajo de grado, por su asesoría, paciencia y enseñanza.

Mag. Andrés Felipe Rodríguez Cuervo, Codirector del presente trabajo de grado, por sus aportes y apoyo investigativo.

Contenido

	Pág.
Introducción.....	16
Variables y Materiales para el Proceso de Refinación de Sal en Recetor	17
Variables.....	17
Materiales Para el Diseño.....	21
Resistencia.....	22
PT100	22
PLC.....	24
Técnicas, Cálculos y Planos Para el Diseño de la Maquina Evaporadora.....	26
Técnicas	26
Diseños	29
Programación de CODESYS, Para Sistema SCADA	41
Programación.....	41
Llenado de los Tanques o Tuberías	42
Visualización Valores de Litros, Temperatura y Peso	43
Trasporte de la Sal	44
Ensamble y Simulaciones.....	46
Circuito Electrónico y SCADA	46
Circuito de Potencia	46
SCADA.....	47
Extracción y Botones de Control.....	47
Horno	48
Vaciado.....	49
Lógica de Control	50

Pruebas de Control	51
Ensamblajes y Pruebas	54
Funcionamiento Sistema SCADA	55
CODESYS	55
LabVIEW	55
Funcionamiento	56
Conclusiones.....	57
Recomendaciones	58
Referencias	59

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. La resistencia térmica tipo abrazadera.	22
Figura 2. Termopar o PT100.	23
Figura 3. Trasmisor de PT100.	24
Figura 4. PLC Siemens S7-200.	25
Figura 5. Diagrama ilustrativo de las conexiones de componentes electrónicos.	25
Figura 6. Centrifugadora.....	26
Figura 7. Cilindro secador.	27
Figura 8. Molino de martillo.....	28
Figura 9. Tamiz vibratorio.....	28
Figura 10. Plano isométrico tapa del horno.....	31
Figura 11. Tapa del horno.....	31
Figura 12. Tapón de sellado de la tapa plano isométrico.	32
Figura 13. Tapón de sellado de la tapa.	32
Figura 14. Plano isométrico soporte de tapa.	33
Figura 15. Soporte de tapa.....	33
Figura 16. Plano isométrico soporte para cierre de tapa.	34
Figura 17. Soporte para cierre de tapa.....	34
Figura 18. Plano isométrico tornillo para cierre de tapa.	35
Figura 19. Tornillo para cierre de tapa.	35
Figura 20. Plano isométrico de la resistencia tipo abrazadera.....	36
Figura 21. Resistencia tipo abrazadera diseñada.	36
Figura 22. Plano isométrico del horno.	37
Figura 23. Horno.	37
Figura 24. Plano isométrico seguro tapón del horno.....	38
Figura 25. Seguro del tapón del horno.	38
Figura 26. Plano isométrico seguro tapón del horno.....	39
Figura 27. Seguro tapón del horno.	39
Figura 28. Plano isométrico soporte lateral del horno.....	40

Figura 29. Barras laterales.....	41
Figura 30. Diagrama general del funcionamiento del SCADA.....	42
Figura 31. Inicio del programa.	42
Figura 32. Diagrama utilizado en el llenado de las tuberías.....	43
Figura 33. Programación implementada en la muestra de datos de nivel.	43
Figura 34. Diagrama de programación transporte de sal.....	44
Figura 35. Programación parte 1.	44
Figura 36. Programación parte 2.	45
Figura 37. Programación parte 3.	45
Figura 38. Circuito de potencia obtenido. Circuito de opto-acoplador- TRIAC, realizado en MULTISIM.	46
Figura 39. Inicio del sistema SCADA,.....	47
Figura 40. Filtrado y pantalla de control.	48
Figura 41. Llenado de horno.....	48
Figura 42. Activación resistencia. Resistencia eléctrica y pt100 activada.	49
Figura 43. Pasaje de la sal.	49
Figura 44. Pasos para controlar un sistema.	50
Figura 45. Pruebas de control, SCADA y programación.	52
Figura 46. Demostración en labVIEW de la lógica de control.....	52
Figura 47. Simulación de la lógica de control en LabVIEW.....	53
Figura 48. Demostración de la lógica de control.....	53
Figura 49. Diseño ensamblado maquina evaporadora de sal.....	54
Figura 50. Diseño explosionado de la maquina evaporadora de sal.....	54
Figura 51. Inicio de programación en CODESYS.	55
Figura 52. Inicio del programa.	55
Figura 53. Inicio de programa en LabVIEW.....	55

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Metales para el diseño del horno.....	21
Tabla 2. clasificación de termopar.....	23

Lista de Anexos

	Pág.
Anexos A. Anteproyecto	61
Anexos B. Visualización del sistema SCADA y diseños en 3D	93

Glosario

Asequible: Que puede alcanzarse o conseguirse.

Cebar: Alimentar a un animal para que aumente de peso o se ponga gordo, generalmente con el fin de aprovechar su carne.

Centrifugar: Someter una masa, un líquido, etc., a la acción de una centrifugadora.

Combustión: Es el conjunto de procesos químico-físicos, por los cuales se libera controladamente parte de la energía interna del combustible (energía química) que se manifiesta al exterior bajo la forma de calor, para ser aprovechado dentro de un horno o una caldera.

Conductividad térmica: Es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor.

Corrosión: Deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.

Diseñar: Hacer un plan detallado para la ejecución de una acción o una idea.

Ebullición: Movimiento violento del agua u otro líquido, con producción de burbujas, como consecuencia del aumento de su temperatura o por estar sometido a fermentación o efervescencia.

Eficiente: Que realiza o cumple un trabajo o función a la perfección.

Ensamble: Unión de varios elementos, de manera que ajusten entre sí perfectamente, normalmente haciendo que parte de uno entre en otro.

Granulación: Conjunto de granos que se obtienen al granular una cosa.

Halita: Es un mineral sedimentario, el cual se puede formar por la evaporación de agua salada, en depósitos sedimentarios y domos salinos.

LabVIEW: Es un software de ingeniería de sistemas que requiere pruebas, medidas y control con acceso rápido a hardware e información de datos.

Lógica: Método o razonamiento en el que las ideas o la sucesión de los hechos se manifiestan o se desarrollan de forma coherente y sin que haya contradicciones entre ellas.

Maquina: Objeto fabricado y compuesto por un conjunto de piezas ajustadas entre sí que se usa para facilitar o realizar un trabajo determinado, generalmente transformando una forma de energía en movimiento o trabajo.

Material particulado: Mezcla de partículas sólidas y gotas líquidas que se encuentran en el aire. Algunas partículas, como el polvo, la suciedad, el hollín, o el humo, son lo suficientemente grandes y oscuras como para verlas a simple vista.

Refinación: Proceso industrial mediante el cual se hace más puro un metal o sustancia eliminando sus impurezas.

Resistencia térmica: Representa la capacidad del material de oponerse al flujo de temperatura.

Salmuera: Agua saturada de sal.

Suplemento: Elemento que sirve para completar, aumentar o reforzar una cosa en algún aspecto.

Verter: Hacer pasar un líquido o una materia disgregada de un recipiente a otro.

Volumen: Espacio que ocupa un cuerpo.

Resumen

Herrera Rodríguez, Michael Yesid

Máquina evaporadora de sal para las minas del municipio de Recetor-Casanare / Michael Yesid Herrera Rodríguez, Fabian Leonardo Herrera Gil. - - Tunja : Universidad de Boyacá, Facultad de Ciencias e Ingeniería, 2021.

94 p. : il. + 1 CD ROM. - - (Trabajos de Grado UB, Ingeniería Mecatrónica ; n°).

Trabajo de Grado (Ingeniero Mecatrónico). - - Universidad de Boyacá, 2021.

La globalización, ha llevado a que las pequeñas empresas productoras, no tengan las capacidades de competir en el mercado con las grandes industrias. En esta oportunidad, se propone un diseño orientado a una futura tecnificación, de los hornos de sal del municipio de Recetor – Casanare, donde los procesos de obtención del cloruro de sodio son totalmente artesanales. Para esto, se planteó encontrar las variables físico químicas, que estén directamente involucradas en el proceso de producción de sal, haciendo énfasis en la evaporación de la salmuera. Es necesario tener en cuenta los métodos aplicados a la producción de sal industrializados, eligiendo el método más apropiado, que se ajuste a las características especiales del municipio, costos y cantidad de sal producida. Para demostrar el funcionamiento que podría tener el horno, se realizaran simulaciones de los diferentes sistemas (electrónicos, diseños y sistema SCADA).

El bajo consumo de sal en la dieta de los bovinos (También puede ser equinos, caprinos, entre otros), se evidencia en el peso y presentación del animal, pues una buena suplementación aumenta el valor de venta de los mismos. En el departamento de Casanare, así como en el mismo municipio de Recetor, se utilizan grandes cantidades de sal en la crianza del ganado ya sea para ceba o producción de leche (doble propósito), actualmente el costo del bulto de la sal producida en dicho municipio, es más elevado que el que ofrecen grandes industrias, debido a que el costo de producción es mayor, porque es totalmente artesanal. Con el fin de aportar a una mejora en la producción, se propuso diseñar un horno semiautomático capaz de realizar las tareas más extenuantes del proceso; Teniendo en cuenta cambios en la generación de calor, fundamental en la evaporación de la salmuera.

Basados en los diferentes métodos, existentes de refinación de sal en la industria, los cuales se evaluaron, teniendo en cuenta las características y necesidades de la región, con el fin de proporcionar un diseño que satisfaga, los valores de producción de las minas del municipio. Utilizando softwares computacionales especializados, se realizó el diseño de un máquina evaporadora, un sistema de SCADA del funcionamiento en planta, programación con PLC y circuito electrónico de potencia.

Para finalizar se obtuvo un diseño donde se realizó las respectivas ecuaciones con el fin de comparar la posible producción que tendría el horno, y compararla con la producción actual hecha por cada horno existente. Se adelantaron tareas como la selección de materiales que debe llevar la máquina, así como los distintos componentes que formaran parte en cada uno de los sistemas si se decide implementar en un corto o mediano plazo. Debido a que el estudio se

realizó bajo condiciones ideales se recomienda analizar las variables en el sitio en que se desea implementar.

Introducción

Teniendo en cuenta la gran variedad de procesos de obtención de la sal, como la extracción de minas, evaporación de agua marina a cielo abierto, o extracción de salmuera desde yacimientos, en algunos casos, procesos realizados de manera rudimentaria, como es el caso del municipio de Recetor en Casanare. Los pequeños productores como micro o pequeñas empresas, no poseen los recursos necesarios para competir con las grandes industrias salineras, que monopolizan el mercado impidiendo un progreso justo e inclusivo.

El yacimiento de sal del municipio es actualmente explotado gracias a un pozo o laguna de salmuera (Agua con alto contenido de sal), que brota desde el interior de una montaña. El método utilizado en el procesamiento para obtener sal, para consumo animal, es totalmente artesanal empleando la técnica de evaporación artificial, utilizando hornos de carbón. Es necesario implementar alternativas que suplan las necesidades de estos pequeños productores, sin que se arriesgue un gran capital.

Se plantea el diseño de una maquina evaporadora, con la capacidad necesaria para mantener la producción actual de sal. Se realizaron simulaciones de funcionamiento, programación, circuitos y el diseño de las piezas mecánicas. De esta manera se da una base, para que sea posible implementar a futuro, partiendo del nuevo conocimiento generado con esta investigación.

Variables y Materiales para el Proceso de Refinación de Sal en Recetor

Se realizó una investigación sobre los materiales y técnicas que puedan servir en el proceso de refinación de sal para el municipio de Recetor, considerando variables físico-químicas que puedan afectar y sean necesarias, al momento de diseñar la maquina evaporadora de sal, como lo son la temperatura que soporta, la reacción del material que pueda tener frente a la sal, su costo y su resistencia a la corrosión.

Variables

Como primera medida se definió a través de ecuaciones la cantidad de bultos producidos por cada horno, teniendo en cuenta el trabajo realizado por (Ramirez y Buitrago, 1999), donde expresan que la producción anual es de 1000 T(Toneladas).

Se convierte la producción de toneladas a kilogramos, teniendo en cuenta que una tonelada es igual a 1000 kilogramos:

$$Produccion\ en\ Kg/Año = (1000 \frac{T}{Año}) * (\frac{1000\ Kg}{1\ T}) = 1'000.000\ kg/Año \quad (1)$$

Posterior a la ecuación 1, se calcula la cantidad de bultos producidos al año, dividiendo la producción anual en 50 Kg, que corresponde al peso de cada bulto.

$$Cantidad\ de\ bultos = (\frac{1'000.000\ kg/Año}{50\ kg}) = 20.000\ Bultos/Año \quad (2)$$

También, se determina la cantidad de bultos producidos al día.

$$Bultos\ /dia = (20.000 \frac{Bultos}{Año}) * (\frac{1\ año}{365\ dias}) = 54,8\ bultos/dia \cong 55\ bultos/dia. \quad (3)$$

Ahora, se determina la cantidad de bultos producidos en cada horno, dividiendo la producción de bultos al día, en el número total de hornos (20 hornos).

$$Bultos/horno = \left(55 \frac{\text{Bultos}}{\text{dia}} \right) * \left(\frac{1 \text{ dia}}{20 \text{ hornos}} \right) = 2,75 \text{ bultos/horno} \quad (4)$$

Una variable importante en el proceso de producción de sal, es el porcentaje de salinidad, pues este permite idealizar la cantidad de sal que se puede obtener a base de la salmuera. Este porcentaje, se obtiene de dividir el peso de la sal obtenida sobre el peso de la salmuera, como se observa en la ecuación 5.

$$\% \text{ de salinidad} = \frac{\text{Peso de la sal}}{\text{Peso de agua sal}} \quad (5)$$

Teniendo en cuenta que usan por cada caldera u horno 55 galones de salmuera, (Ramirez y Buitrago, 1999), donde el peso aproximado de este es de 208,175 kg, para dar lugar al inicio del proceso de evaporación, con el fin de obtener un total aproximado de 2,75 bultos/horno, se obtiene al finalizar la evaporación, el peso en kg del producto, como se observa en la ecuación 6.

$$\text{Peso de sal por horno} = (2,75 \text{ bultos}) * (50\text{kg/bulto}) = 137,5 \text{ kg} \quad (6)$$

Como ya se cuenta con los valores necesarios para la ecuación 5, se procede a realizar el cálculo de la misma, reemplazando con los datos anteriormente mencionados.

$$\% \text{ de salinidad} = \frac{137,5 \text{ kg}}{208,175 \text{ kg}} * 100\% = 66\%$$

Producción de sal actual en los hornos en el municipio de Recetor. Debido a la baja comercialización actual por la fuerte competencia en el mercado, además de la remodelación de la planta donde se ubican los hornos, la producción ha disminuido a 420 T al año, utilizando 3 de los 4 hornos existentes (Alcaldía de Recetor, 2020). Se realizó el análisis de producción de sal actual por día y por cada horno, utilizando las ecuaciones anteriores.

Para calcular la producción de sal actual en Kg, se utiliza la ecuación 1 y se reemplaza con los datos correspondientes.

$$\text{Produccion en Kg/Año} = (420 \frac{T}{\text{Año}}) * (\frac{1000 \text{ Kg}}{1 T}) = 420.000 \text{ kg/Año}$$

De igual manera y utilizando la ecuación 2, se calcula la cantidad de bultos de sal obtenidos al año.

$$\text{Cantidad de bultos} = (\frac{420.000 \text{ kg/Año}}{50 \text{ kg}}) = 8400 \text{ Bultos/Año}$$

Se halla la cantidad de bultos obtenidos al día aprovechando la ecuación 3.

$$\text{Bultos /dia} = (8400 \frac{\text{Bultos}}{\text{Año}}) * (\frac{1 \text{ año}}{365 \text{ dias}}) = 23 \text{ bultos/dia}$$

Se calcula la cantidad de bultos producidos en un horno, para esto se utiliza la ecuación 4.

$$\text{Bultos/horno} = (23 \frac{\text{Bultos}}{\text{dia}}) * (\frac{1 \text{ dia}}{3 \text{ hornos}}) = 7,667 \text{ bultos/horno}$$

Se halla el peso producido de sal en cada horno, multiplicando los bultos de sal, por el peso de los mismos, con la ecuación 6.

$$\text{Peso de sal por horno} = (7,667 \text{ bultos}) * (50\text{kg/bulto}) = 383,35 \text{ kg}$$

Para determinar la capacidad que poseen los hornos se debe tener en cuenta que $1L = 1Kg$ (para el caso de la salmuera), y también que $1 \text{ galon} \rightarrow 3,785L$, de esta manera se utiliza la ecuación 7.

$$\text{Capacidad del horno} = \frac{383,35L * 100\%}{66\%} = 580L \approx 153\text{gal} \quad (7)$$

Tiempo de evaporación del agua. El tiempo de evaporación del agua es una variable indispensable, ya que de este depende la cantidad de producción en el día. Lo anterior se puede corroborar con las situaciones que se plantearon, en la información preliminar, donde se presenta la cantidad de sal producida en el año 1999 con la producción actual.

El tiempo de evaporación se calcula utilizando la ecuación 8.

$$T_1 = \frac{m \cdot c \cdot (t_e - t_a)}{P} \quad (8)$$

Donde

T_1 = Es el tiempo de evaporación en segundos

m = masa del agua en la salmuera (kg)

c = Calor específico constante = 4180 J/ (kg *°C)

t_e = Temperatura de ebullición (°C)

t_a = Temperatura ambiente (°C)

P = Potencia (watt)

Para realizar la cancelación de unidades es necesario tener en cuenta las equivalencias de las unidades como el jul y los watts, expuestas en las ecuaciones 9 y 10 respectivamente.

$$J = \frac{kg \cdot m^2}{s^2} \quad (9)$$

$$\text{Watt} = \frac{kg \cdot m^2}{s^3} \quad (10)$$

El despeje de la ecuación 8 se realizará en el capítulo 3, puesto que se requiere el valor de la masa de la salmuera a utilizar.

Materiales Para el Diseño.

Tabla 1.

Metales para el diseño del horno

	Conductividad térmica (W/m*K)	Resistencia térmica (°C)	Resistencia a la corrosión	Precio *kg COP	Consideraciones
AISI 316	16,3	930	Media	\$8.904 COP	No usar continuamente en el rango de 427-857 °C perdida de resistencia a la oxidación.
Aluminio 6061	154	100	Media	\$11.132 COP	No trabajar de manera constante en temperaturas entre 60-100 °C. Perdida de la resistencia a la corrosión.
AISI 321	21.4	810	Alta	\$7.084 COP	No trabajar de manera constante en temperaturas entre 427-810 °C. Perdida de la resistencia a la corrosión.

Fuente: Autores de la investigación.

Los materiales representados en la tabla muestran algunas características que son necesarias para tener en cuenta al momento de implementar como lo son la resistencia a la corrosión, conductividad térmica y el precio.

Como se observa en la tabla 1, se comparan características térmicas, resistencia a la corrosión y precios, con el fin de elegir el material más apropiado para el diseño y futura fabricación del horno. En este caso se eligió el AISI 321, debido a que presenta propiedades favorables y los

valores más altos en variables como conductividad térmica, resistencia térmica y una excelente resistencia a la corrosión, adicionalmente, es el que ofrece un precio más asequible. Como elección del método para la refinación de la sal, se propone algo diferente, teniendo en cuenta los diversos métodos existentes del mercado, que cumpla con las necesidades de la refinación de sal en el municipio de Recetor.

En este apartado también se definió la manera en la que se calentara el horno. Existen dos formas muy importantes de elevar la temperatura en un sistema; la primera de ellas es a través del fuego, ya sea por carbón o gas. La siguiente manera es por medio de la corriente eléctrica, este método consiste en poner en corto una barra metálica, para que adquiera calor y se eleve con respecto al tiempo.

Resistencia.

Se optó por una resistencia tipo abrazadera tipo mica sin escafandra; con una potencia de 1000 Watt y un voltaje de 220 volt (voltaje puesto por seguridad, pero que trabaja con 110 volt, sin ningún problema) (Brototermic, s.f.). En la siguiente figura se podrá observar una resistencia de similares características, pero de un tamaño reducido.



Figura 1. La resistencia térmica tipo abrazadera. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

PT100.

Con el fin de que sea posible medir la Temperatura interna del horno, se recomienda un dispositivo con una precisión y exactitud elevadas, rangos de temperatura específicos y el costo

que este representa. Es posible que el encargado de esta tarea, sea un termopar (termómetro a escala industrial), el cual cuenta con dos cables con un metal distinto el uno del otro, unidos en un extremo, al calentarse o enfriarse, estos generan un diferencial eléctrico, que se tiene que conectar a un traductor para obtener el valor de la temperatura (Omega Engineering, s.f.).



Figura 2. Termopar o PT100. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

Tabla 2.

Clasificación de termopar

Sensor	Rango de temperatura (°C)	Consideraciones	Porcentaje de error	Precio en COP
Tipo K	-100 a 200	Níquel-cromo o Níquel-aluminio.	0,4	\$250.500
Tipo T	-200 a 350	Cobre o cobre-Níquel.	0,4	\$137.990
Tipo J	0 a 750	Hierro o cobre-Níquel.	0,4	\$106.579
Tipo N	-270 a 1300	Níquel 14.2% cromo 1.4% y silicio o níquel 4.4% silicio 0.1% y magnesio.	0,4	\$210.684
Tipo E	-200 a 900	Níquel-cromo o cobre-níquel.	0,4	\$155.818
Tipo R	0 a 1450	Platino (13%)-rodio o platino.	0,1	
Tipo S	0 a 1450	Platino (10%)-rodio o platino.	0,1	\$113.918

Fuente: Autores de la investigación, 2020.

Es necesario recalcar, que se deben adecuar los accesorios, para los diferentes usos a los que se pueda aplicar la pt100. En el prototipo del horno es necesario registrar la temperatura interna del mismo, por ende, se debe elegir un accesorio que resista tanto la temperatura como la corrosión.

Teniendo en cuenta que se deben medir temperaturas por encima de 0 °C, La pt100 más recomendable en esta ocasión, es el tipo J; se tuvo en cuenta también la temperatura más alta que puede detectar sin sufrir alteraciones catastróficas. Por otro lado, el precio de dicho sensor es más bajo y su porcentaje de error es estándar.

En la toma de la temperatura, se requiere, como se mencionó anteriormente, un transmisor, visible en la Figura 3, que se encargará de tomar la diferencia de potencial obtenida por la pt100 y la conducirá a la placa y software específicos. Generalmente el traductor es estándar y solo varía los rangos de temperatura en los que ejecuta sus funciones.



Figura 3. Transmisor de PT100. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

PLC.

Para el “cerebro del sistema” se debe implementar un sistema de PLC (Programmable Logic Controller). Con el fin de minimizar los gastos de fabricación y puesta en funcionamiento a futuro, una posible opción es el PLC Siemens S7-200.

Esta CPU PLC tiene 2 entradas analógicas integradas, 6 entradas digitales integradas y 4 salidas de transistor digital integradas. Viene con interfaces de comunicación e IO integradas que cumplen con los más altos requisitos de la industria. También está habilitado con una gama de potentes funciones tecnológicas integradas que hacen de este controlador una parte integral a una solución de automatización (Rsdelivers, 2020).



Figura 4. PLC Siemens S7-200. Dielle srl. (s.f.). PLC S7-200. Recuperado de <https://www.plc-city.com/shop/es/siemens-simatic-s7-200.html>.

Las conexiones entre los componentes anteriores, se debe realizar de manera apropiada para una buena interacción, lectura y ejecución de tareas, la forma correcta de enlazarlos, se evidencia en la figura 5.

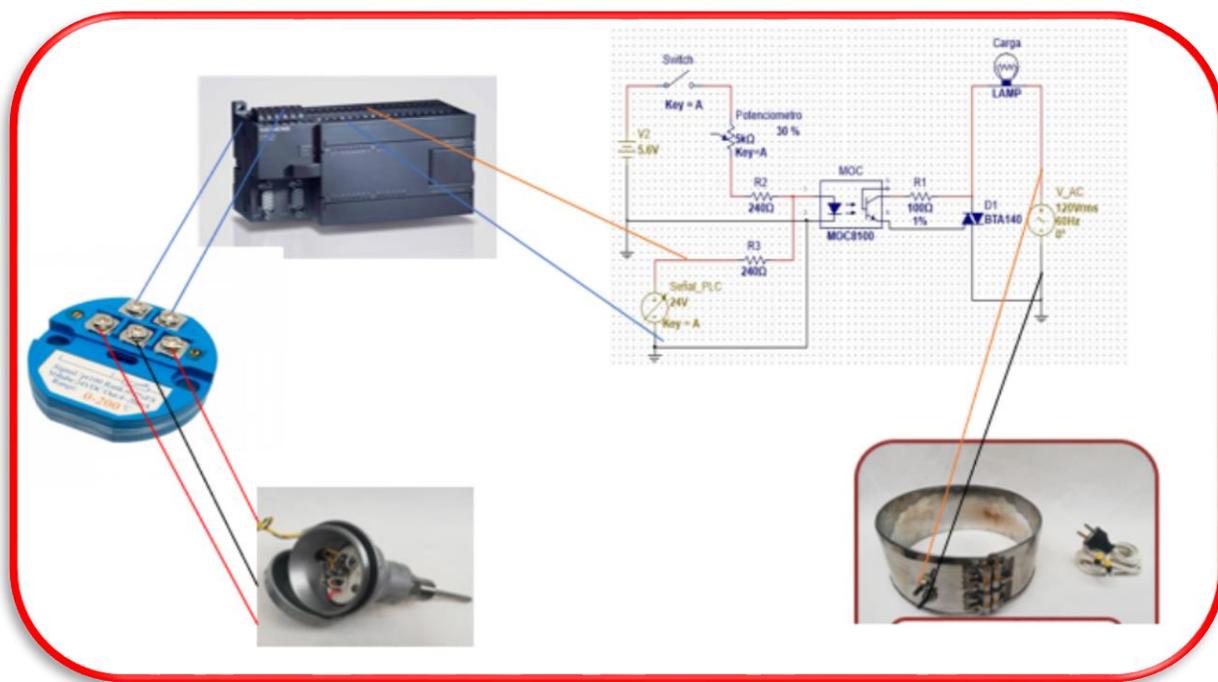


Figura 5. Diagrama ilustrativo de las conexiones de componentes electrónicos. Fuente: Autores de la investigación, 2021.

Técnicas, Cálculos y Planos Para el Diseño de la Maquina Evaporadora

Para la realización del diseño de una maquina procesadora de sal, es necesario contemplar, las diferentes técnicas existentes en la industria, con el fin de analizar, cual se adaptaría a las condiciones existentes en los hornos del municipio de Recetor-Casanare. Una vez elegida la técnica, se procede a realizar los respectivos diseños estructurales, que suplan con la producción de dicho lugar.

Técnicas

Centrifugación. Es un mecanismo de separación de mezclas, en particular las compuestas por sólidos y líquidos de distinta densidad, a través de su exposición a una fuerza giratoria de determinada intensidad.

Centrifugadora. Máquina en la que se genera una fuerza centrífuga en su interior, de tal forma que permite secar sustancias. Posterior al lavado, la sal pasa por la centrifugadora para reducir la humedad.



Figura 6. Centrifugadora. Alibaba. (2018). *Centrifugadora empujadora para sal*. Recuperado de: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/pusher-centrifuge-for-salt-refining-plant-salt-pusher-centrifuge-60839949260.html>

Cilindro secador. Cilindro rotatorio conectado a una fuente de calor, suele contener paletas internas para facilitar el avance del paso de la sal. En él se realiza un pre-secado, con la finalidad reducir el porcentaje de humedad de la materia prima, a su vez transporta la sal hacia la faja (Goicochea et al. 2019).



Figura 7. Cilindro secador. Alibaba. (2020). *Centrifugadora empujadora para sal.* Recuperado de: https://spanish.alibaba.com/product-detail/three-cylinder-drying-equipment-production-line-quartz-sand-rotary-dryer-1600180394356.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_title.7c0071abT9CTnU&s=p.

Molino de martillo. Equipo de acero inoxidable que reduce el tamaño del grano de sal, empleando golpes de martillo, asegurando la uniformidad en su granulometría. Una vez que la sal llega al molino, se realiza el proceso de molienda para obtener partículas finas. La granulación de la sal, es proporcional a la velocidad de la máquina (Goicochea et al, 2019).



Figura 8. Molino de martillo. Alibaba. (2018). *Máquina trituradora de sal.* Recuperado de: https://spanish.alibaba.com/product-detail/wf-series-stainless-steel-herbal-salt-grinding-chinese-hammer-mill-60659215962.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_title.535910f3w18ri0.

Tamiz vibratorio. Máquina de tamizado que vibra con el fin de escoger el granulado de la sal, separando las partículas gruesas de las finas, para posteriormente envasar el producto (Goicochea et al, 2019).



Figura 9. Tamiz vibratorio. Az3oeno. (s.f.). *Tolva vibrante.* Recuperado de: <https://www.az3oeno.com/maquina/tolva-vibrante/>.

Una vez estudiadas las diferentes técnicas industriales y teniendo en cuenta las características de obtención de sal en los hornos de Recetor (salmuera), se determinó diseñar una máquina evaporadora, con el fin de obtener sal con un bajo porcentaje de humedad.

Diseños.

Para el diseño se tuvo en cuenta, una forma compuesta por dos figuras, un cilindro y un cono, los cuales componen la forma del horno donde estará la salmuera almacenada, hasta que se evapore el agua y de esta manera quede solo la sal en el horno. Para determinar el volumen de cada figura se utiliza las ecuaciones 11 y 12 y de esta manera calcular el volumen total del horno.

r = Es el radio del cilindro y de la base del cono

h = Es la altura de cada una de las figuras (cilindro y cono)

$V_{cilindro}$ = Es el volumen del cilindro

$$V_{cilindro} = \pi * r^2 * h \quad (11)$$

Reemplazando los valores de la ecuación 11.

$$V_{cilindro} = \pi * (0,345m)^2 * 0,44m = 0,164m^3$$

V_{cono} = Es el volumen del cono

$$V_{cono} = \frac{\pi * r^2 * h}{3} \quad (12)$$

Reemplazando los valores de la ecuación 12.

$$V_{cono} = \frac{\pi * (0,345m)^2 * 0,25m}{3} = 0,031m^3$$

Para obtener el volumen total que tendrá el horno, se suman los dos volúmenes obtenidos anteriormente, como se observa en la ecuación 13.

V_{Total} = volumen total

$$V_{Total} = V_{cono} + V_{cilindro} \quad (13)$$

Con el fin de obtener información importante, como la capacidad de galones que poseerá el diseño del horno se debe tener en cuenta que $1m^3 = 264.172 gal$, además que $1gal =$

3,785 lt y que 1lt (de agua) = 1kg. Se obtendrá el volumen total, la capacidad en galones, litros y también el peso máximo que soportará de salmuera el horno:

$$V_{Total} = 0,195m^3 \approx 51gal \approx 193,035lt \approx 193,035kg$$

Dependiendo del % de salinidad se calcula la cantidad de agua a evaporar y así obtener la sal. Como el porcentaje de salinidad ya se determinó en el capítulo 1, en la ecuación 5, se puede inferir que el porcentaje de agua es del 44%, siendo el porcentaje de sal del 66%, se calcula la masa del agua con la ecuación.

Pagua= Peso del agua

$$P_{agua} = 193,035kg * 0,44 = 84,935kg \quad (14)$$

Tiempo de evaporación del agua, con el nuevo diseño utilizando la ecuación 8.

$$T_1 = \frac{84,935kg * 4180 \text{ J}/(kg * ^\circ C) * (95.5 - 22 ^\circ C)}{P \text{ (Watt)}} = 17396,387s$$

$$T_1 = 17396,387s * 1 \frac{min}{60s} * 1 \frac{hora}{60 min} = 4,832 horas$$

Diseño de las diferentes partes de la maquina evaporadora de sal. Los diseños de las siguientes piezas surgieron como resultado de los caculos matemáticos anteriores, los cuales cumplen aproximadamente con la cantidad de producción de sal, obtenida en las minas del municipio de Recetor.

Las medidas de las figuras diseñadas se encuentran en los planos isométricos de cada una de las piezas, las cuales se verán reflejadas en posteriores figuras.

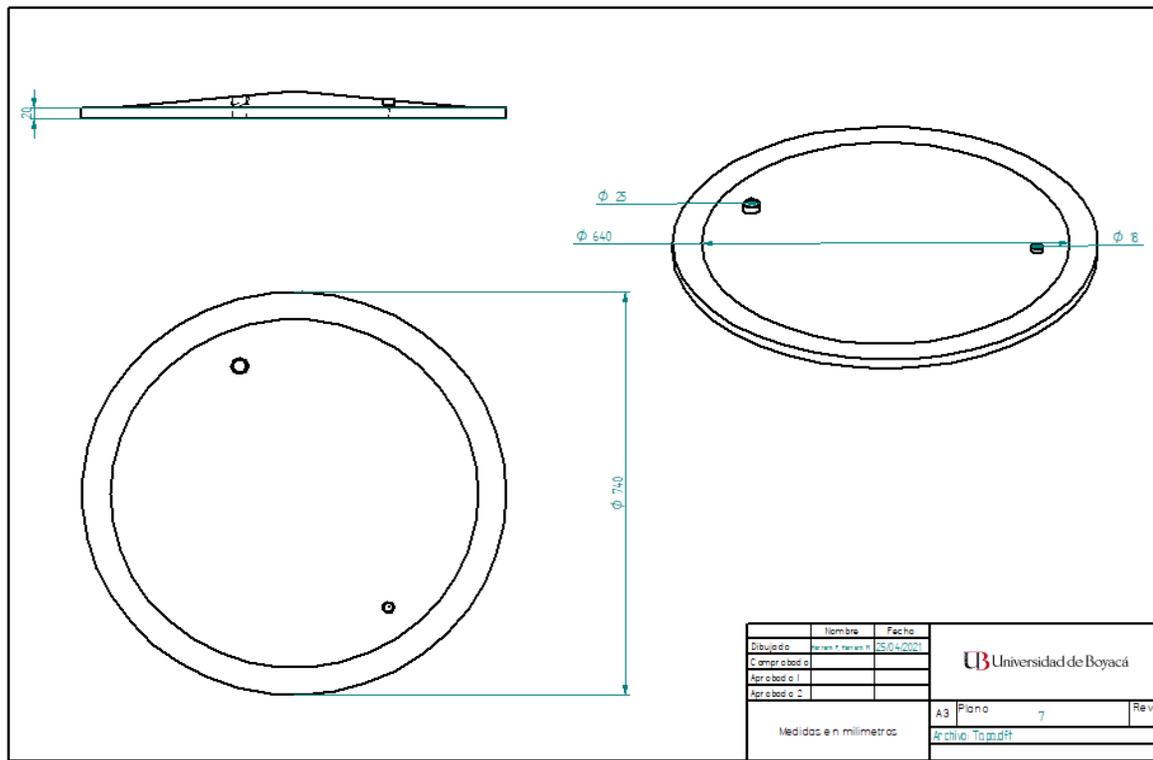


Figura 10. Plano isométrico tapa del horno. Fuente: Autores de la investigación, 2020.



Figura 11. Tapa del horno. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

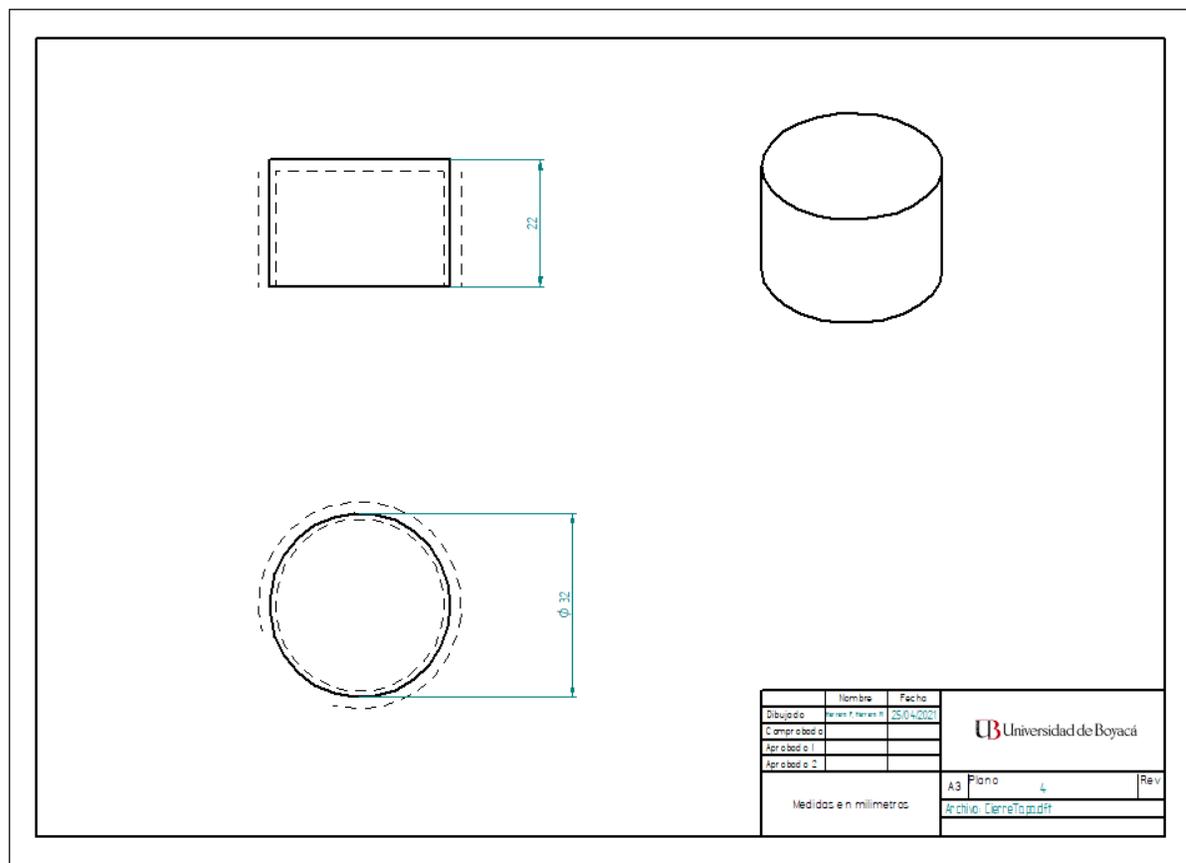


Figura 12. Tapón de sellado de la tapa plano isométrico. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

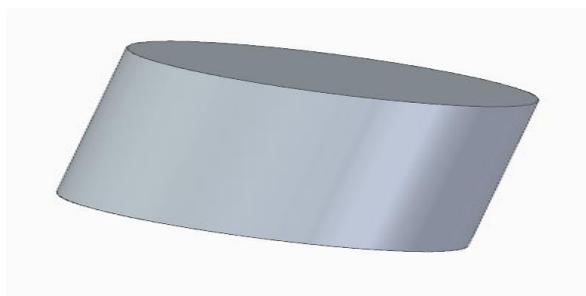


Figura 13. Tapón de sellado de la tapa. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

La tapa del horno, visualizada en las figuras 10 y 11, muestran un orificio circular que atraviesa completamente el diseño de la misma, pensando en una futura implementación de

válvula de presión, sensor de temperatura o sensor de nivel, mientras no sea utilizado, se sellara con el tapón diseñado y visualizado en las figuras 12 y 13.

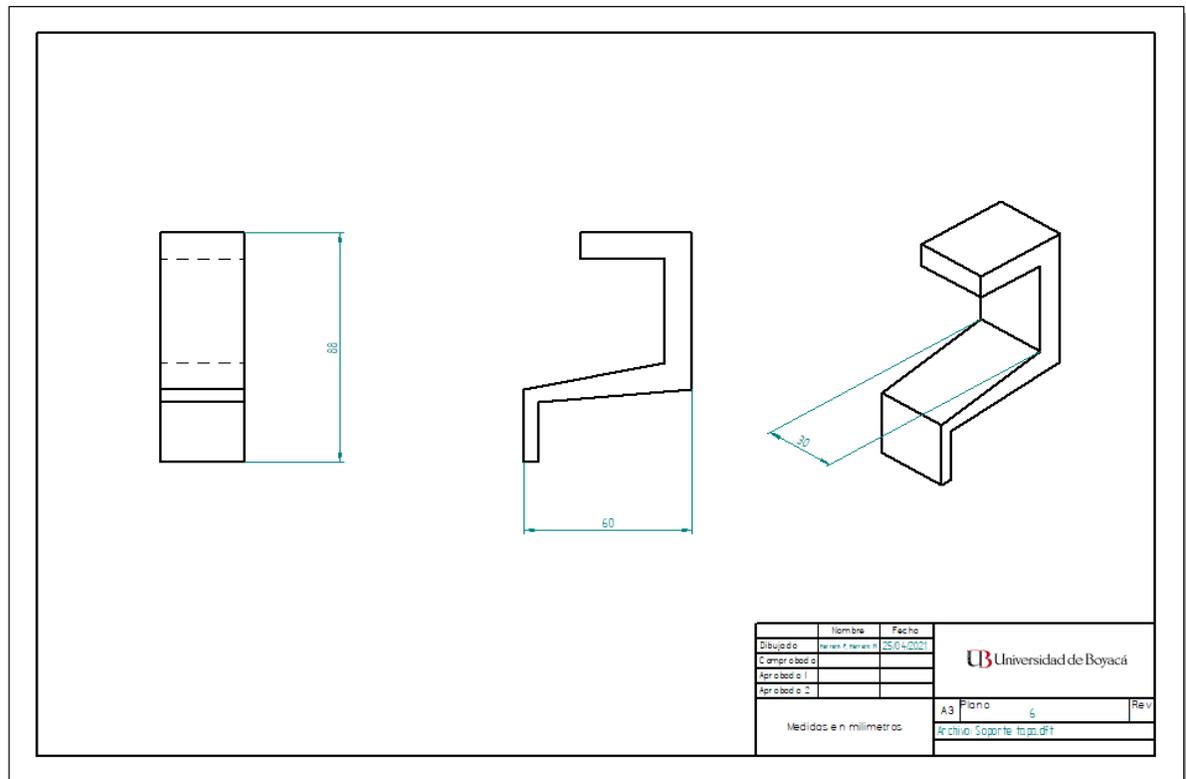


Figura 14. Plano isométrico soporte de tapa. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

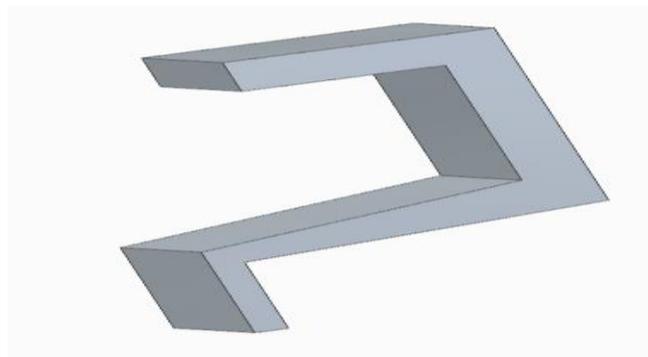


Figura 15. Soporte de tapa. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

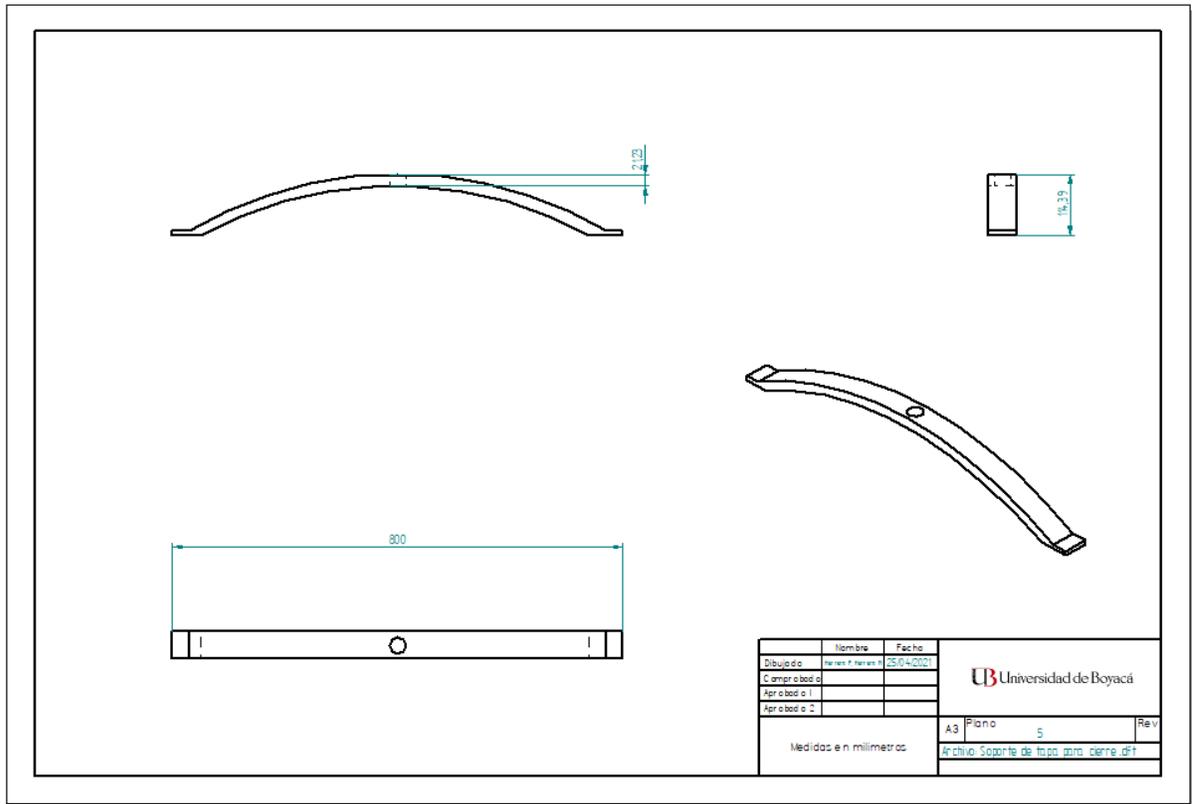


Figura 16. Plano isométrico soporte para cierre de tapa. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

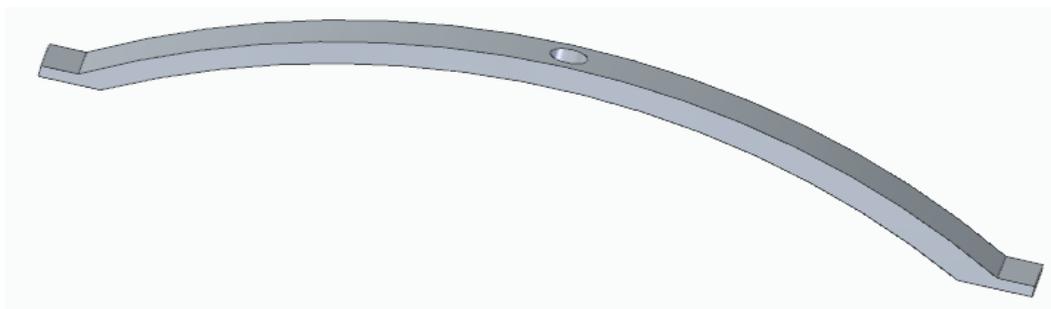


Figura 17. Soporte para cierre de tapa. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

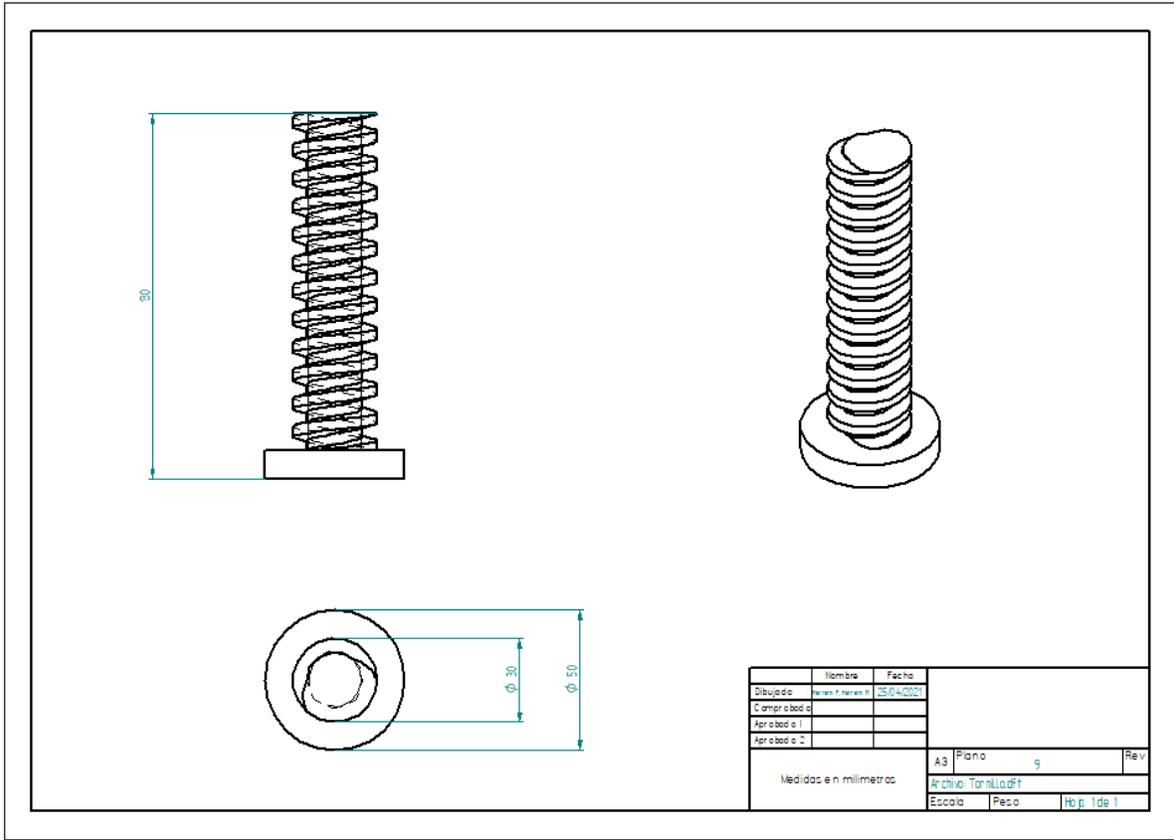


Figura 18. Plano isométrico tornillo para cierre de tapa. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

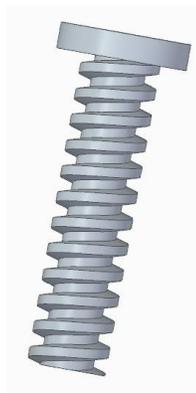


Figura 19. Tornillo para cierre de tapa. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

Los soportes de la tapa diseñados, como se pueden ver en las figuras 14 y 15, se soldarán a la estructura del horno que se puede observar en las figuras 22 y 23, con la finalidad de asegurar la tapa reduciendo la posibilidad de cualquier tipo de accidente.

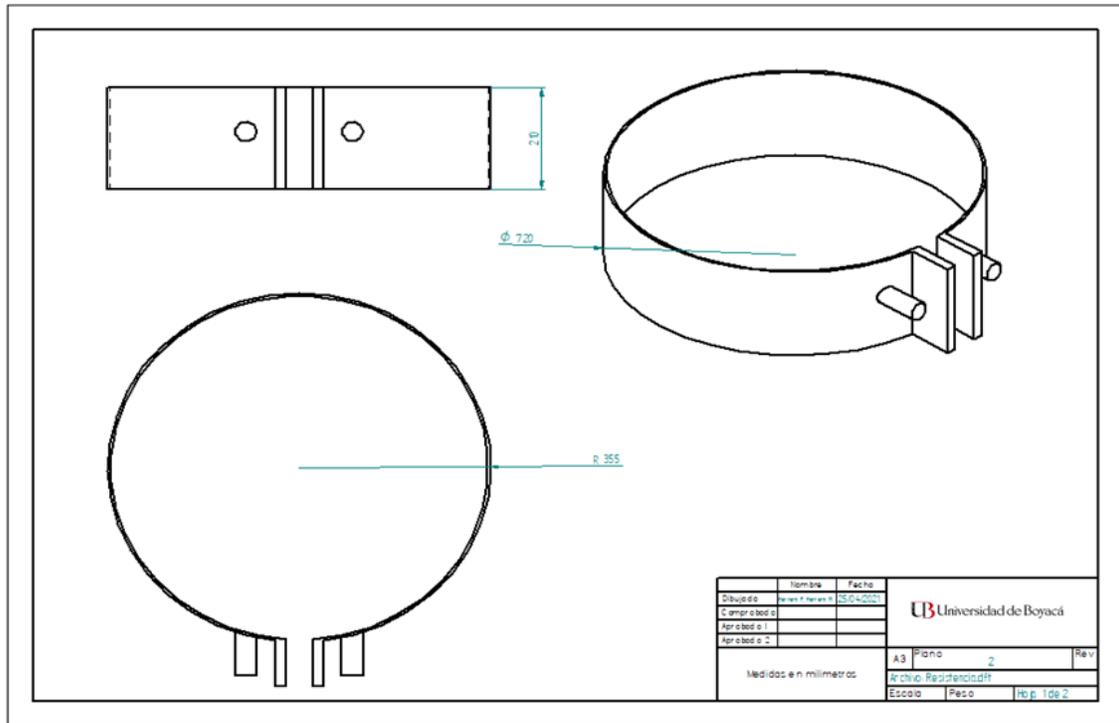


Figura 20. Plano isométrico de la resistencia tipo abrazadera. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

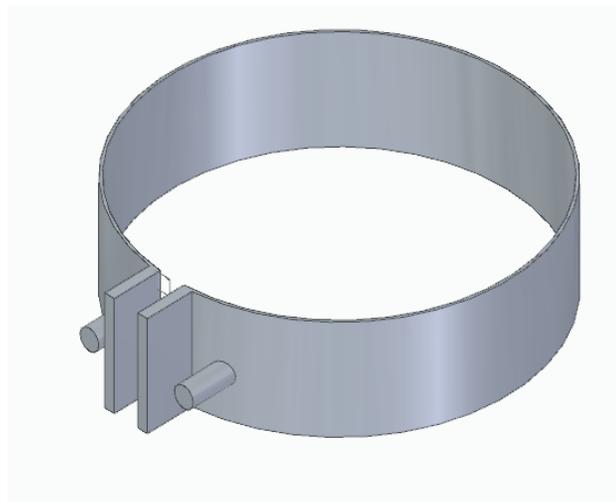


Figura 21. Resistencia tipo abrazadera diseñada. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

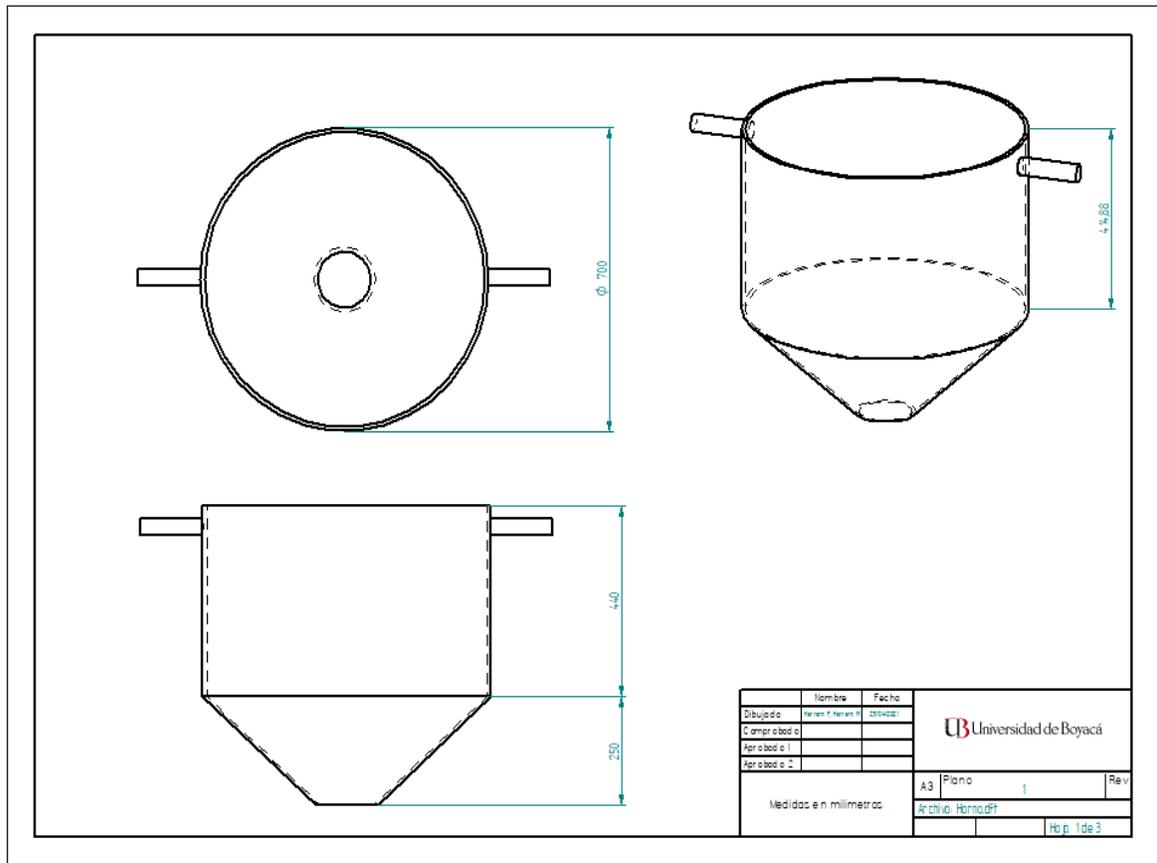


Figura 22. Plano isométrico del horno. Fuente: Autores de la investigación, 2020.



Figura 23. Horno. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

El horno posee la unión de dos figuras geométricas, posee dos orificios, una superior por donde ingresa la salmuera y uno muy reducido en la parte inferior, donde se podrá expulsar la

sal; En el orificio superior se colocará la tapa de las figuras 10 y 11, así como, en orificio inferior tendrá el tapón visualizado en las figuras 24 y 23.

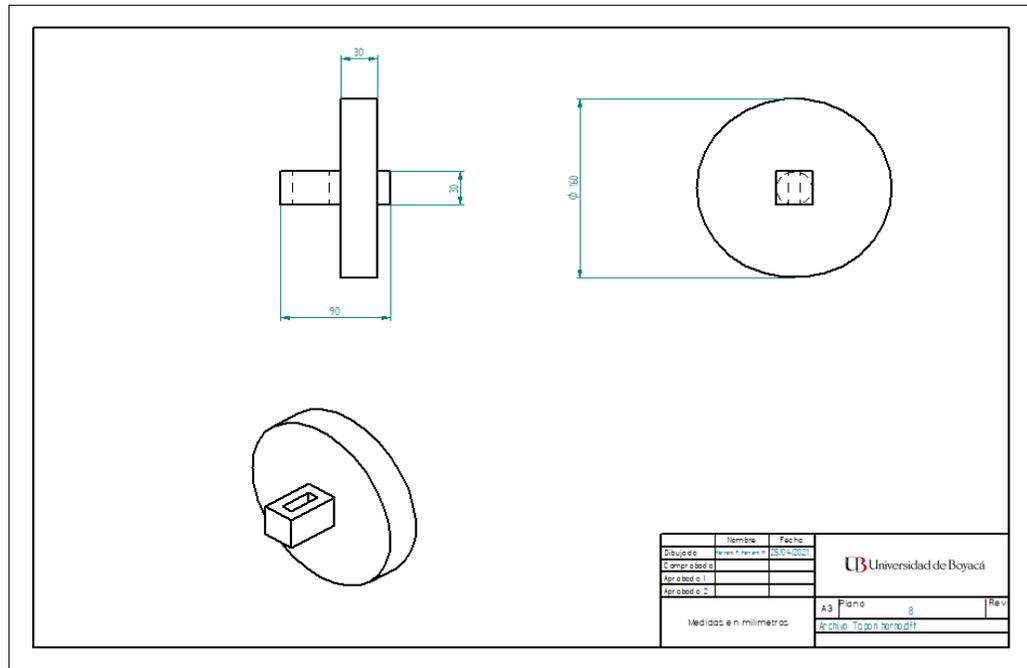


Figura 24. Plano isométrico seguro tapón del horno. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

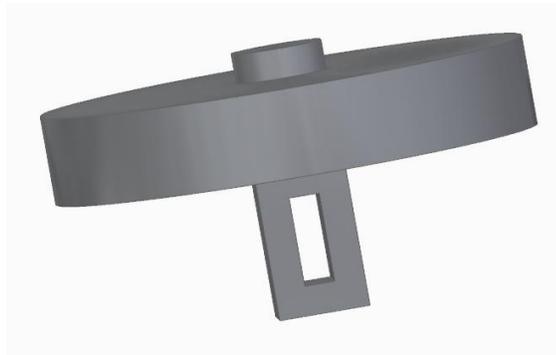


Figura 25. Seguro del tapón del horno. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

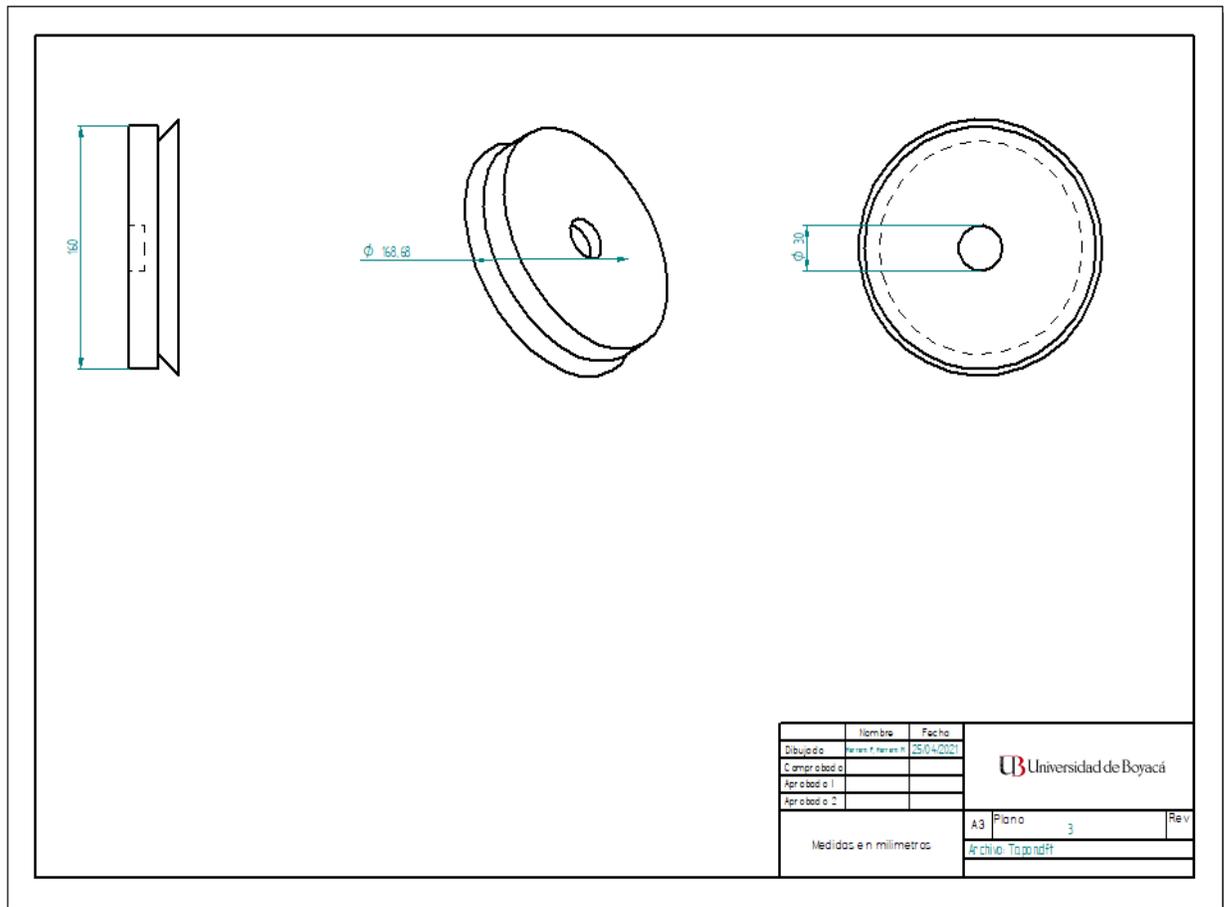


Figura 26. Plano isométrico seguro tapón del horno. Fuente: Autores de la investigación, 2020.



Figura 27. Seguro tapón del horno. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

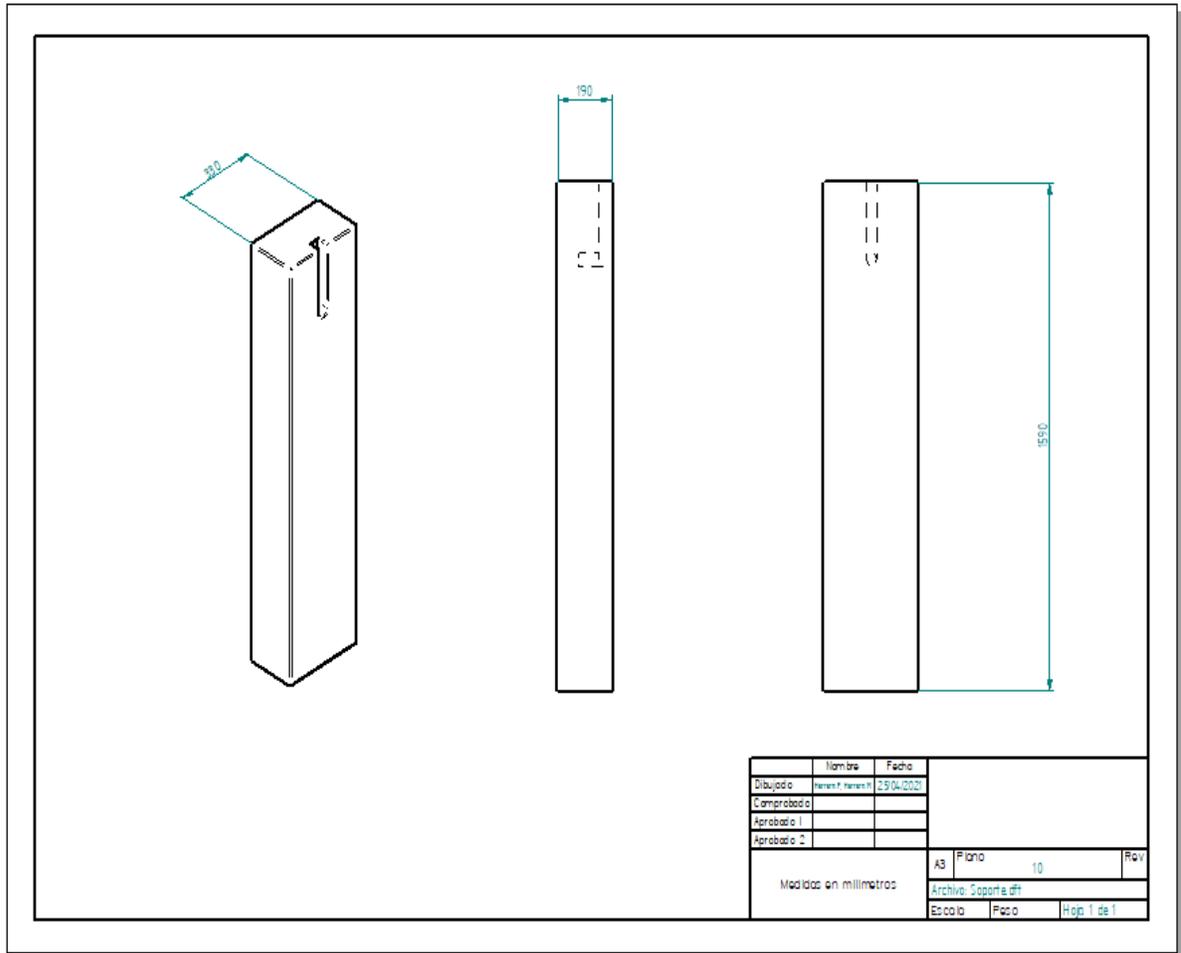


Figura 28. Plano isométrico soporte lateral del horno. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

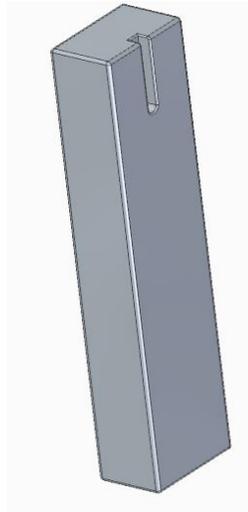


Figura 29. Barras laterales. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

Las barras laterales, serán el soporte para que el horno pueda estar suspendido en el aire, estas deben ser elaboradas en el lugar a implementar, con materiales como cemento, varilla o ladrillo.

Programación de CODESYS, Para Sistema SCADA

“CODESYS es un software de programación de PLC que permite el uso de los lenguajes del estándar IEC 61131-3 (Polanco, 2019). Este software, cuenta con varios lenguajes de programación, en esta ocasión, se elijo el lenguaje CFC (funciones continuas), que permite posicionar libremente los elementos” (Codesys s.f.).

Programación.

Para la programación realizada que ejecuta el sistema SCADA, se tuvieron en cuenta, los diferentes procesos establecidos en el proceso para obtener la sal en el municipio de Recetor – Casanare, como se podrá observar en la figura 29.

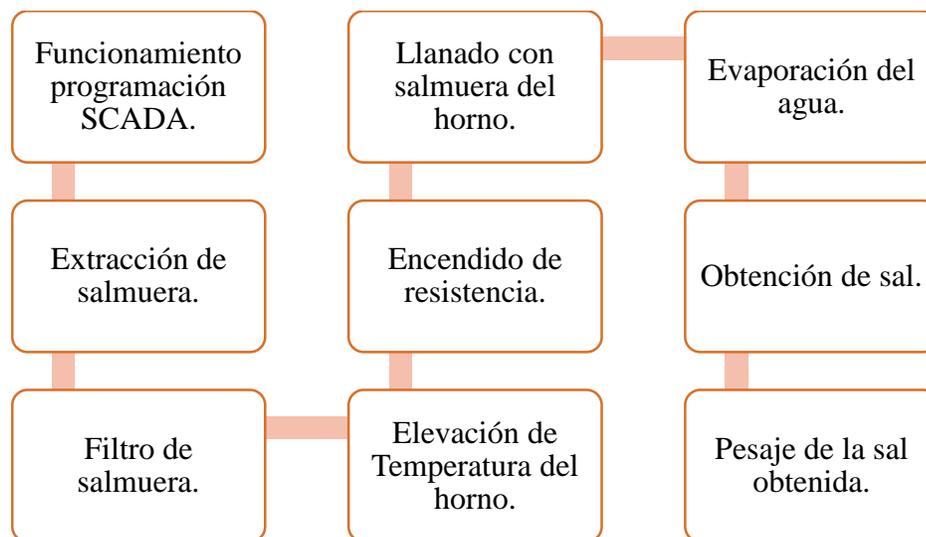


Figura 30. Diagrama general del funcionamiento del SCADA. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

El inicio de la programación está dado por dos variables de entrada (INICIO y RESET), se conectan a las entradas de un bloque AND (y). La variable RESET estar presente en todos los pasos de la programación, pues esta será la que reinicie la programación a sus valores iniciales. La compuerta lógica AND, tiene una salida llamada nacimiento, representando el lugar de donde se obtiene la salmuera.



Figura 31. Inicio del programa. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

Llenado de los Tanques o Tuberías.

Para el llenado de los tanques o tuberías utilizados en el sistema SCADA (tubería 1, Motobomba, tubería 2, codo 1, filtro, tubería final), se utilizó la misma lógica de programación, los mismos bloques, mismas conexiones, pero con diferentes variables según sea el caso.

Como se puede observar en la figura 31, se inicializa con de salida directamente anterior (en este caso nacimiento, que fue activado por el botón inicio), entrando a un bloque BLINK (señal

de pulso); el bloque BLINK funciona con un tiempo de subida y un tiempo de bajada, activando y desactivando la salida OUT. Se conecta con la salida del BLINK, un bloque contador CTD (contador descendente), también, cuenta con un variable de carga o RESET (LOAD) y el valor pico (PV), utilizado como el número máximo del contador (nivel máximo de la tubería o tanque según corresponda). En las salidas del contador, encontramos la variable que se activa cuando finalice el conteo (Q) y el valor actual del contador (CV).

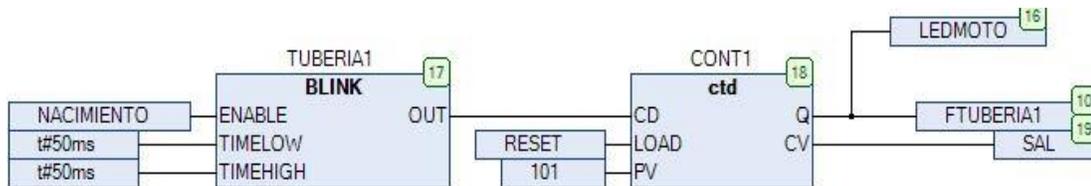


Figura 32. Diagrama utilizado en el llenado de las tuberías. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

Visualización Valores de Litros, Temperatura y Peso.

Para ver el valor obtenido por el sensor de temperatura y de nivel, se usó una secuencia de programación similar a la de la imagen 5.2, con dos diferencias sustanciales. La primera diferencia, radica en la entrada del bloque BLINK, antes de la entrada, se añadió un bloque AND, con el fin de evitar el bucle entre el valor inicial y el final; es decir, cuando el dato mayor sea alcanzado, el valor quede estático y no reinicie el conteo. La otra diferencia radica, en el contador, en la imagen 5.2 se utilizó un CTD, pero en esta ocasión fue necesario un CTU (contador ascendente).

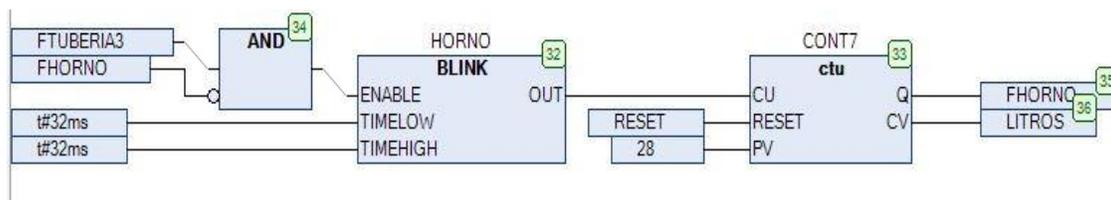


Figura 33. Programación implementada en la muestra de datos de nivel. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

Trasporte de la Sal.

Cuando la temperatura de la PT100 llega a 96°C, el horno deja salir la sal hacia una tolva, la tolva sirviendo de embudo, deja caer la sal en una banda transportadora. Para la simulación y programación del transporte de la sal se implementó un bloque TON (tiempo de retraso por flanco de subida), con un tiempo de espera de 2 segundos.

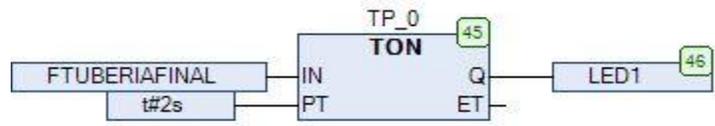


Figura 34. Diagrama de programación transporte de sal. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

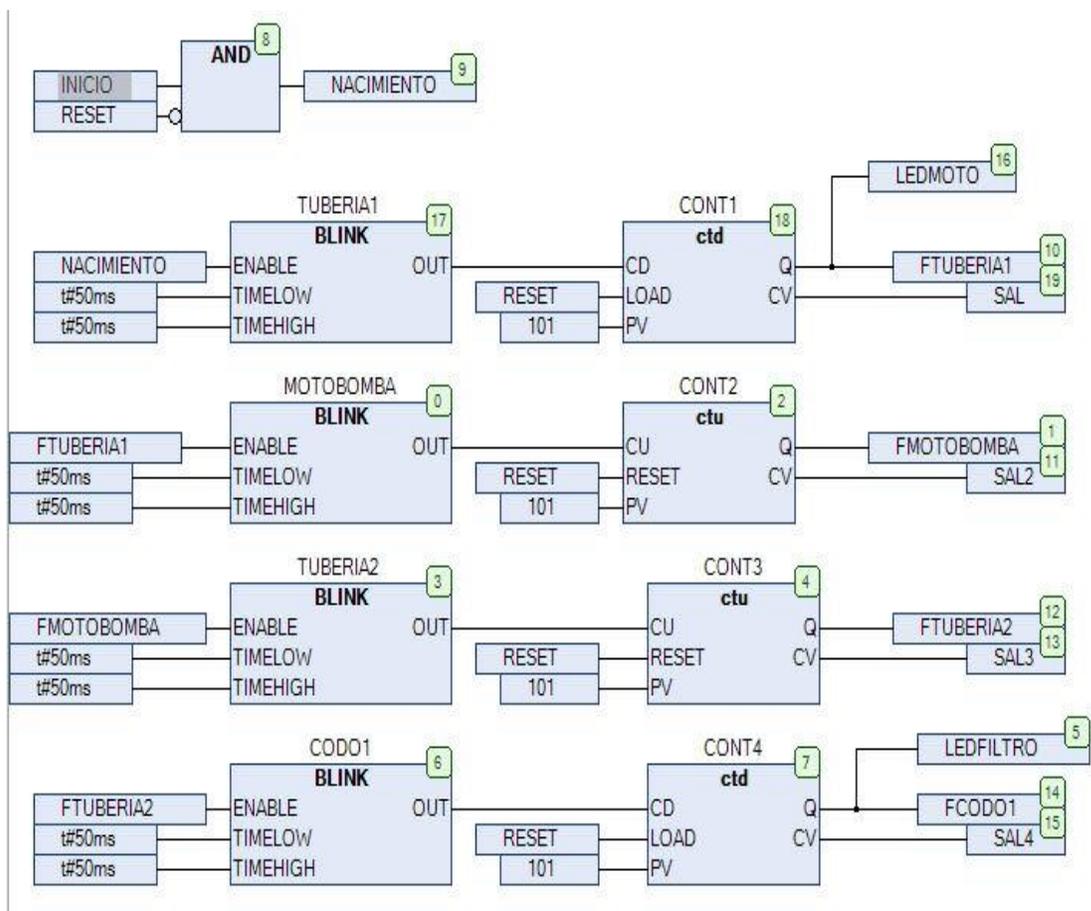


Figura 35. Programación parte 1. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

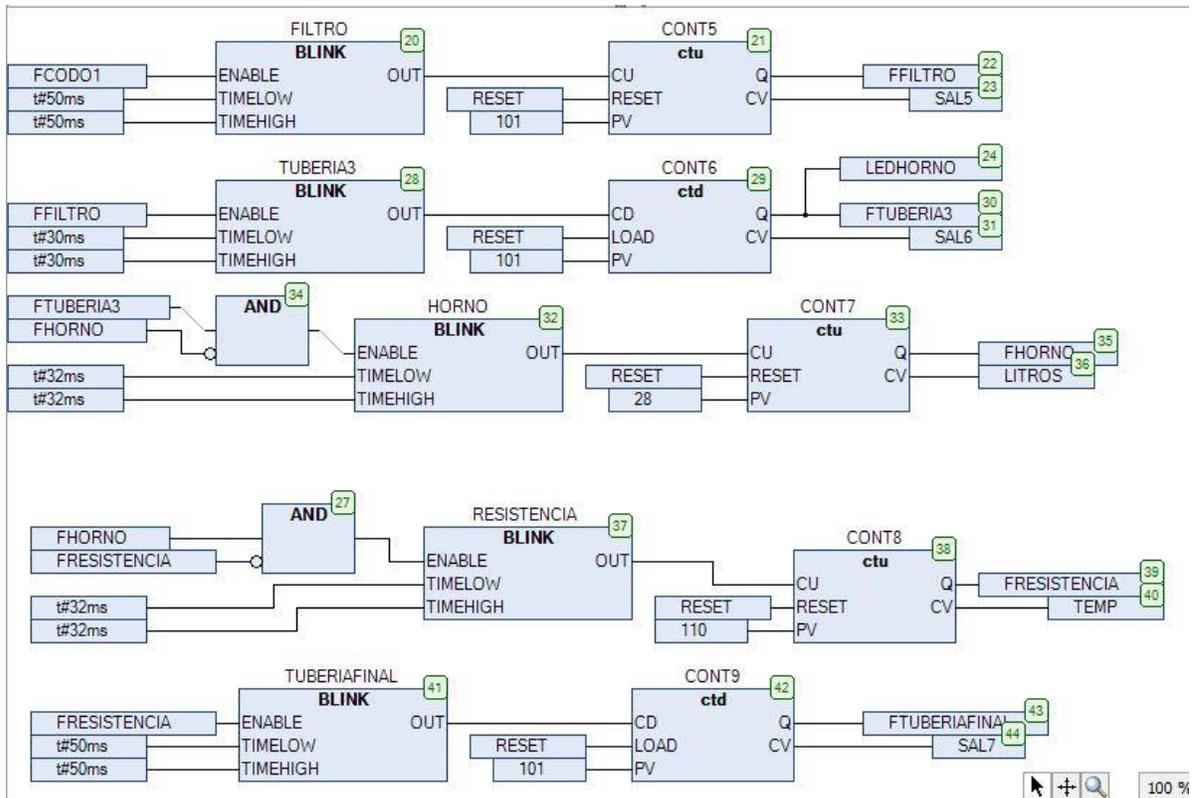


Figura 36. Programación parte 2. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

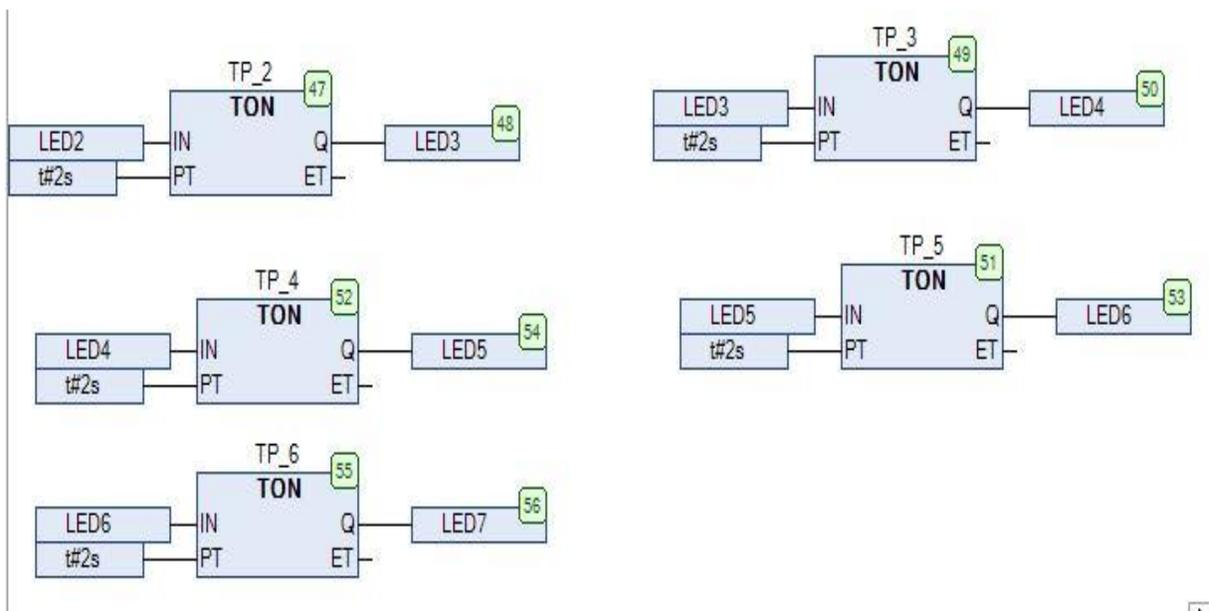


Figura 37. Programación parte 3. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

Ensamble y Simulaciones

Circuito Electrónico y SCADA

Circuito de Potencia.

Se utilizará el circuito de opto-acoplador- TRIAC, que funcionaría como regulador de voltaje, permitiendo controlar la corriente suministrada a la resistencia, para lo que se necesitan los siguientes componentes:

- MOC3021.
- TRIAC(BTA16).
- Potenciómetro 5K.
- Resistencia de múltiples valores.
- Borneras.
- Disipador de calor.

Para simular el circuito de potencia observado en la figura 26, se utilizó el software MULTISIM; en el observamos los diferentes componentes, ya expuestos anteriormente, permitiendo observar el comportamiento de cada uno de ellos, y los posibles fallos que pueden tener por las conexiones erróneas.

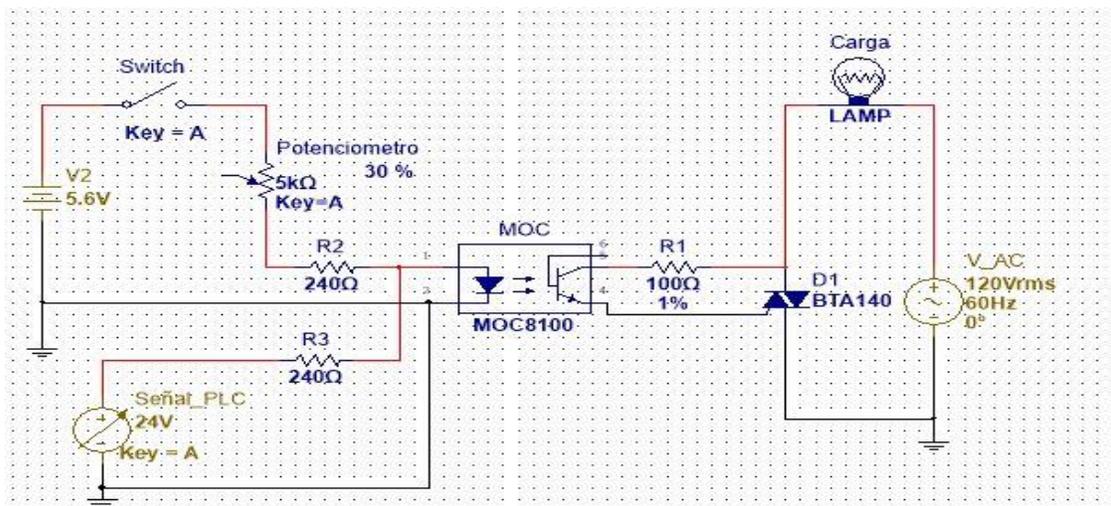


Figura 38. Circuito de potencia obtenido. Circuito de opto-acoplador- TRIAC, realizado en MULTISIM. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

SCADA

En este apartado, se hizo mayor énfasis en la elaboración gráfica del sistema SCADA, allí, se representará el funcionamiento de los hornos de sal, desde la extracción del yacimiento, hasta el pesaje de la sal.

Extracción y Botones de Control.

La extracción de la salmuera, se realiza por medio de una motobomba a gasolina autocebante - warrior -fp30, con una potencia de 6.5 Hp (caballos de fuerza), y una descarga de 3 pulgadas (Condustrual, s.f.). El inicio del sistema se ejecuta a través de un switch de dos estados, también cuenta con dos botones, una parada de emergencia, está encargada de parar el ciclo y reiniciarlo. El botón de pausa detiene el sistema, hasta que se desoprima el mismo.

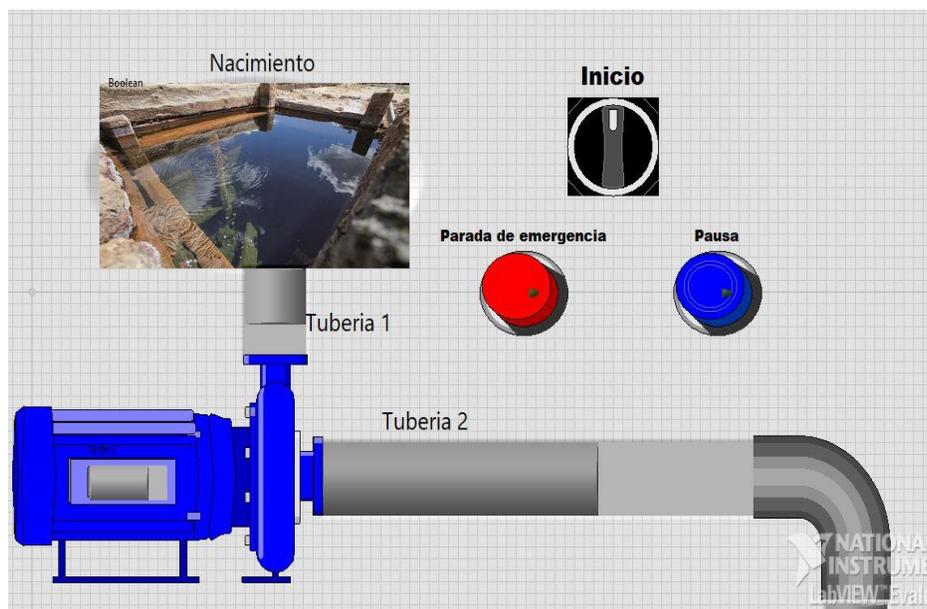


Figura 39. Inicio del sistema SCADA. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

La salmuera se hace pasar por un colador de aluminio, con el fin de evitar el paso de impurezas como piedras, hojas y plásticos. La pantalla de control, informa el estado de los diferentes componentes dentro del proceso (motobomba, filtro, horno, resistencia, descarga de horno, pesaje).

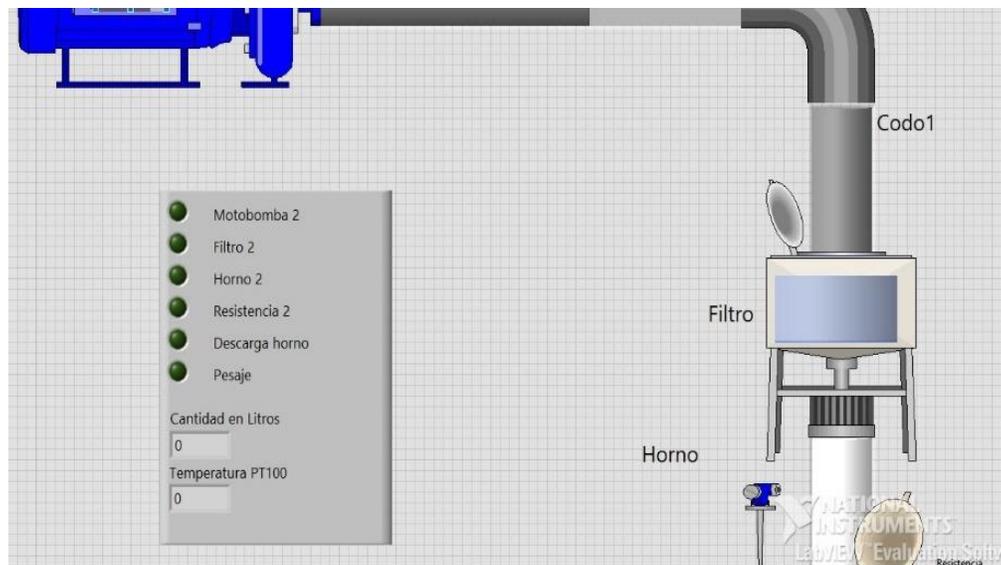


Figura 40. Filtrado y pantalla de control. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

Horno

El horno posee una capacidad de 51 galones, el cual debe poseer un diseño hermético, el material utilizado debe ser acero inoxidable. Dicho horno cuenta con un sensor de temperatura o PT100, al activarse el horno (cuando va ingresar la salmuera), Visualmente se podrá identificar la cantidad de galones dentro del horno, una vez iniciado el sistema es decir se active la resistencia y el sensor de temperatura. La pt100, debe medir una temperatura interna máxima de 96°C.

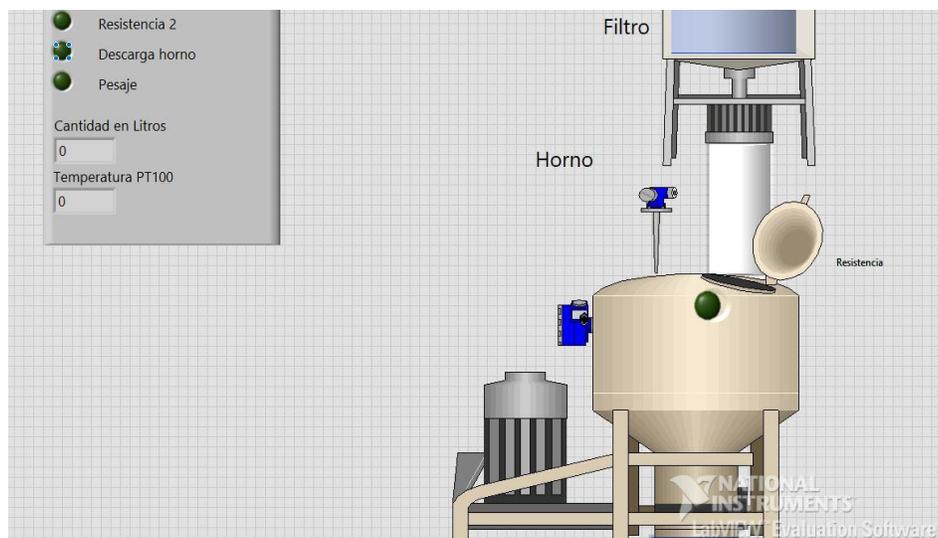


Figura 41. Llenado de horno. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

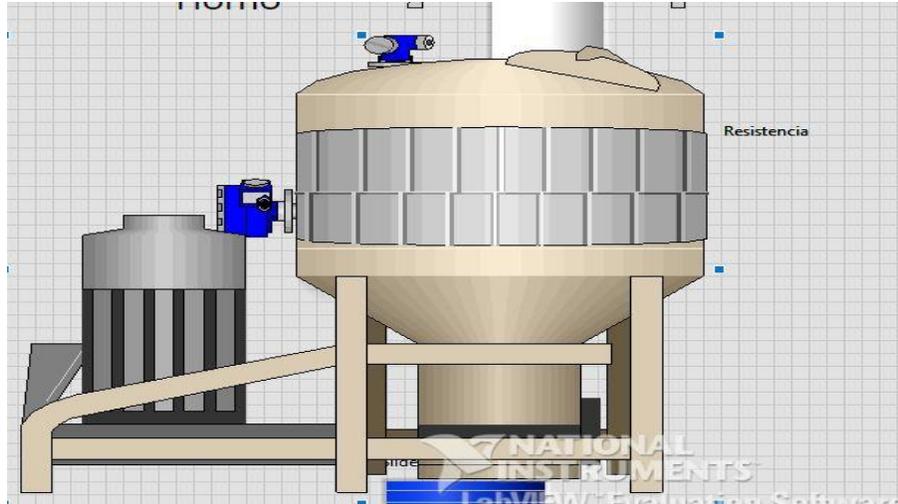


Figura 42. Activación resistencia. Resistencia eléctrica y pt100 activada. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

Vaciado.

El vaciado se genera una vez transcurrido el tiempo de evaporación del agua. Posterior a la evaporación la sal se dirige a una tolva, que funcionara como embudo para el transporte en menores proporciones de la sal.

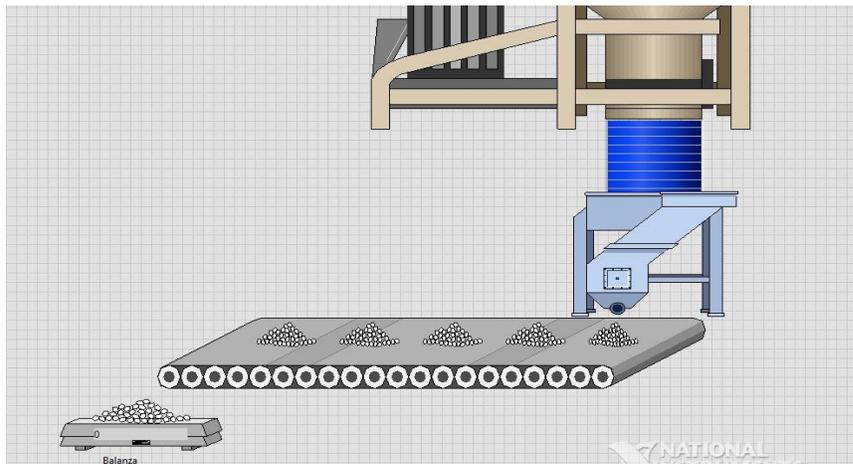


Figura 43. Pasaje de la sal. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

El diseño de la maquina con estas medidas permite una cantidad de salmuera similar a la elaborada en Recetor y a su vez no ocupa demasiado espacio, lo cual brinda la oportunidad de un uso más adecuado del mismo. A su vez beneficiara a la salud de los operarios de la máquina,

ya que no estarán expuestos al material particulado producido por la combustión del carbón, que es la fuente de energía para alcanzar la ebullición del agua en el método tradicional del municipio.

Lógica de Control

Un sistema de control de procesos, está formado por un conjunto de dispositivos de diverso orden. Pueden ser de tipo eléctrico, neumático, hidráulico, mecánico, entre otros. El tipo o los tipos de dispositivos están determinados, en buena medida, por el objetivo a alcanzar (Gandhi, s.f.).

En un sistema de control es necesario que se siga 3 elementos, la variable que se busca controlar, un actuador, un punto de referencia o set-point, como se puede ver representado en la figura 44.



Figura 44. Pasos para controlar un sistema. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

Los tipos de sistemas de control principales son. Sistema de control de lazo abierto. Se trata de aquellos sistemas de control en los cuales la “salida” no tiene ninguna clase de efecto sobre el sistema en sí, lo cual puede traducirse como en el hecho de no tener la necesidad de “realimentación” de la salida para que el controlador pueda funcionar.

Un ejemplo sería las lavadoras automáticas comunes, ya que estas pueden realizar los ciclos de lavado teniendo en cuenta un tiempo para mantener el control del sistema (Gandhi, s.f.).

Sistema de control de lazo cerrado. Se caracteriza porque existe una realimentación a través de los sensores desde el proceso hacia el sistema de control, que permite a este último conocer si las acciones ordenadas a los actuadores se han realizado correctamente sobre el proceso (Google Sites, 2015).

Aquellos sistemas de lazo cerrado tienen como base comparar un valor deseado con el obtenido, midiendo los datos obtenidos en la salida. Es decir que son una clase de sistema que

posee un control con “realimentación”, la cual le permite reaccionar de distintas formas dependiendo de los resultados. Fueron creados con la idea de reducir los fallos y acercarse lo más posible al mejor resultado (Oropeza, 2019).

Un ejemplo serían los calentadores que utilizamos para regular la temperatura del agua. Estos tienen las capacidades para realizar sus tareas, pero necesitan que la salida les de cierta información antes de actuar, con la intención de acercarse al resultado más cercano al éxito (Oropeza, 2019).

Para esta etapa de la maquina el sistema de control más apropiado es el de lazo abierto en el cual no es necesario una retroalimentación para un control del funcionamiento el cual se dará con base al tiempo de evaporación del agua.

Para un futuro donde se podría optimizar el proceso se usaría sistema de control de lazo cerrado, ya que se tendrán en cuenta otras variables como lo podrían ser la humedad en el interior del horno y la cantidad de salmuera en el horno.

Pruebas de Control.

Para las pruebas se utilizó el programa de LabVIEW, el cual permite demostrar cómo sería la lógica de control simulada, donde se evidencia que la temperatura es la variable a controlar, como se observa en la figura 34. La resistencia utilizada en el sistema SCADA, comenzara a incrementar la temperatura de la salmuera, para así llevarla hasta el punto de ebullición y obtener la sal, el botón de RESET que se puede evidenciar en la figura 28 permite reiniciar la simulación para hacer las pruebas necesarias y de esta manera observar el funcionamiento.

La programación utilizada, se realizó en lenguaje CFC como se indicó en el capítulo 2, en este caso se enfatiza, en el apartado de aumentar y mantener la temperatura interna del horno, hasta el punto de ebullición de la salmuera, de esta forma se evapora el agua existente y se obtiene la sal. La resistencia se activa cuando el horno posea el nivel de salmuera deseada, variable que ingresa en un bloque AND (Y), donde también ingresa la señal de la resistencia negada, con el fin que cuando todo el proceso de elevación de temperatura llegue a 96 °C en este caso, de esta forma el contador una vez finalice su conteo, desactiva la elevación de temperatura y no se vuelva un bucle.

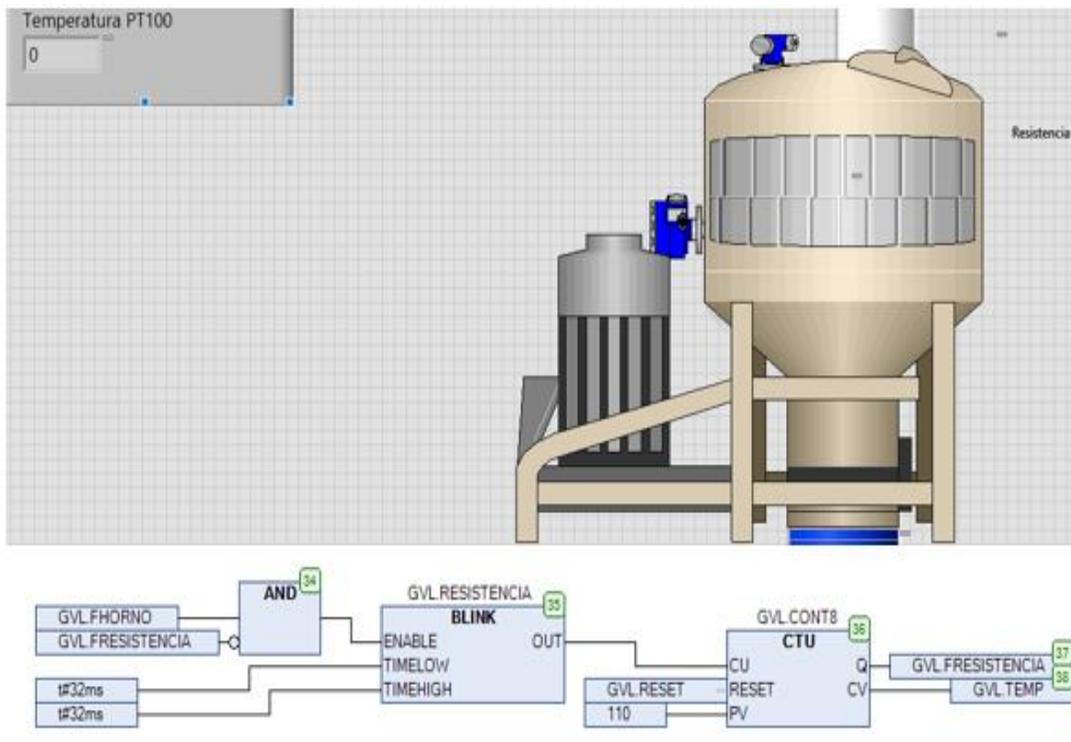


Figura 45. Pruebas de control, SCADA y programación. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

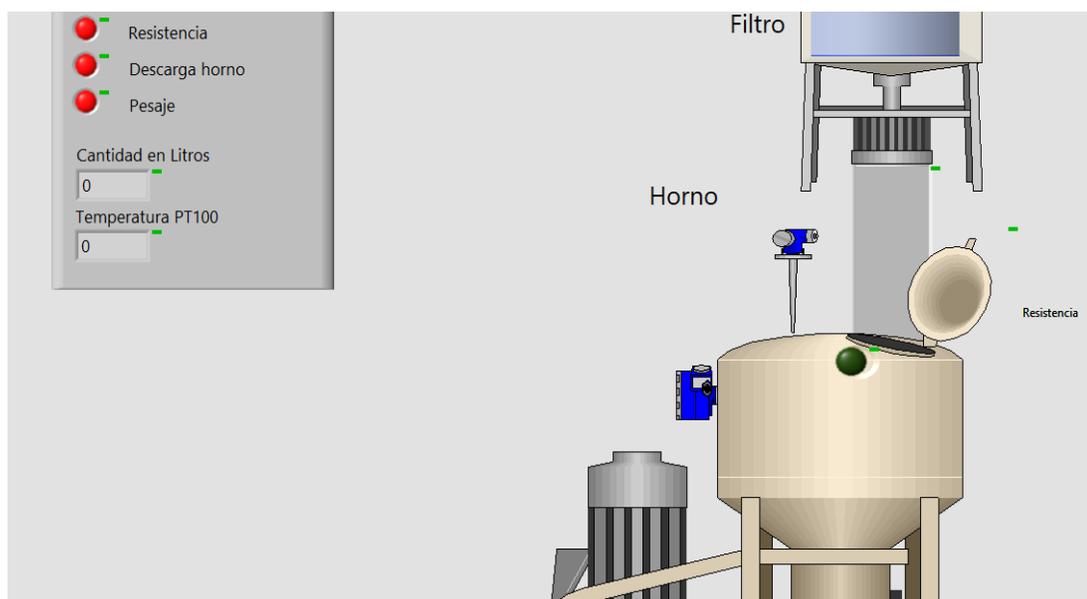


Figura 46. Demostración en labVIEW de la lógica de control. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

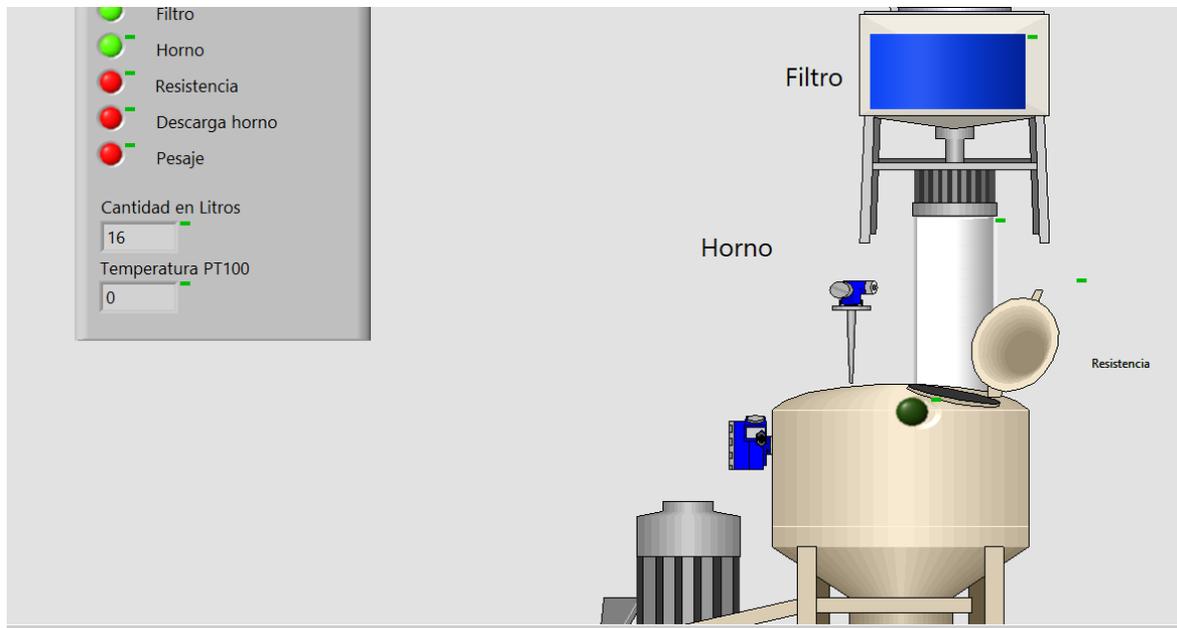


Figura 47. Simulación de la lógica de control en LabVIEW. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

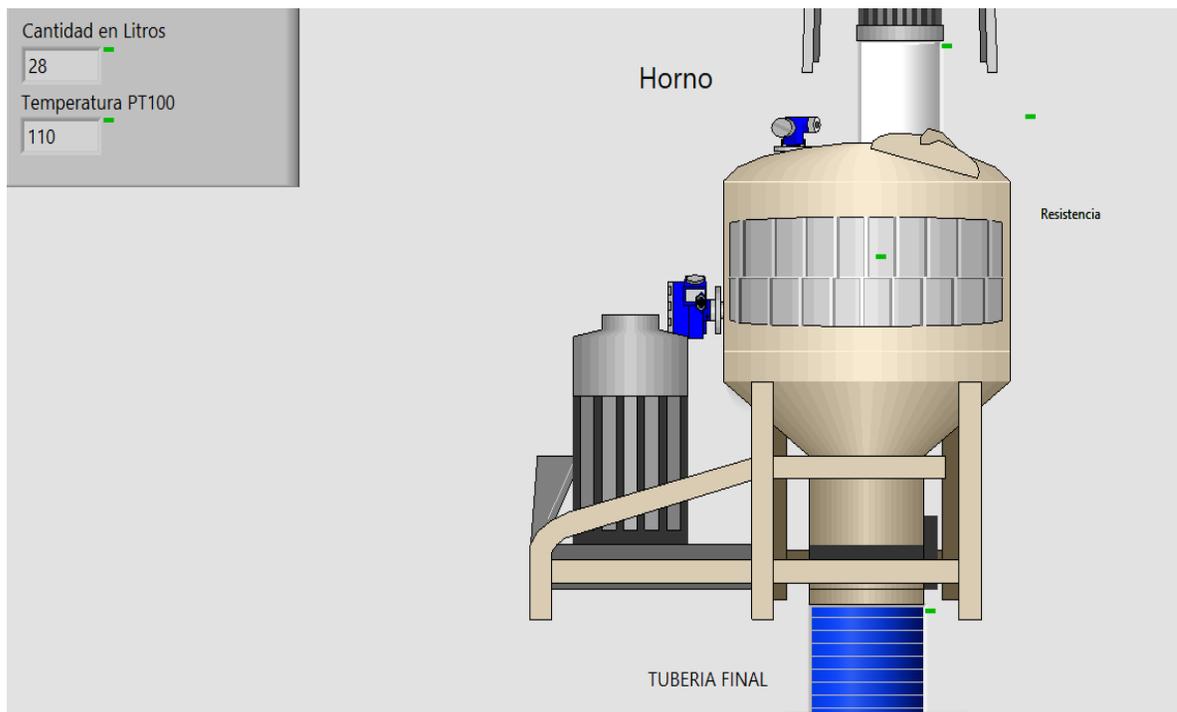


Figura 48. Demostración de la lógica de control. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

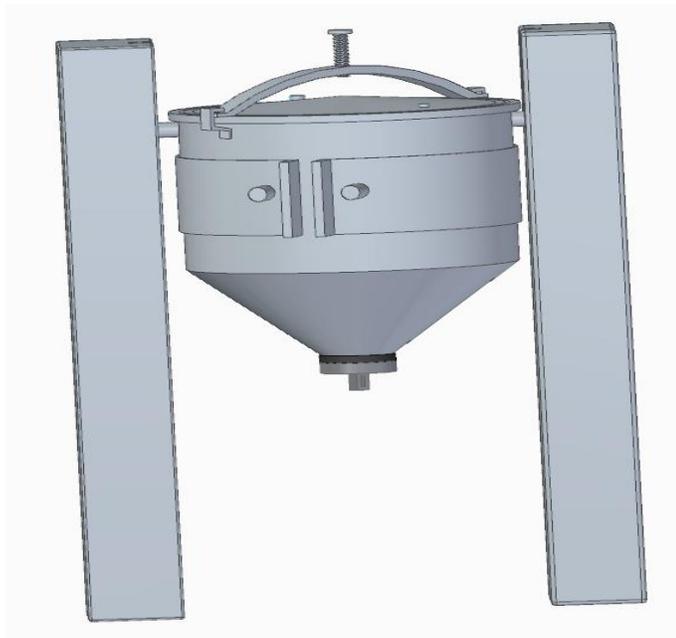
Ensamblajes y Pruebas

Figura 49. Diseño ensamblado maquina evaporadora de sal. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

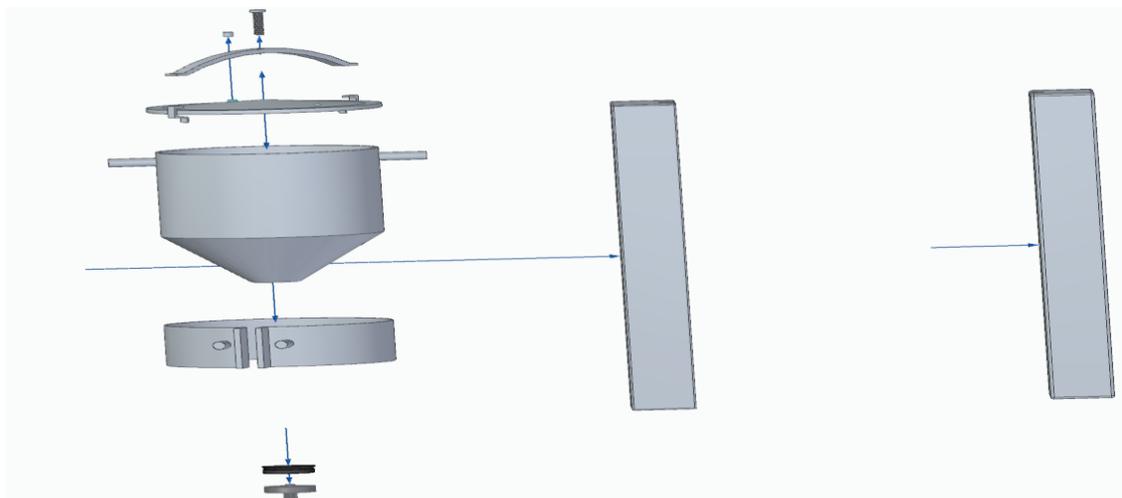


Figura 50. Diseño explosionado de la maquina evaporadora de sal. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

Funcionamiento Sistema SCADA

CODESYS.

Para realizar la simulación con el enlazamiento CODESYS/LabVIEW, es necesario iniciar la sesión o login.

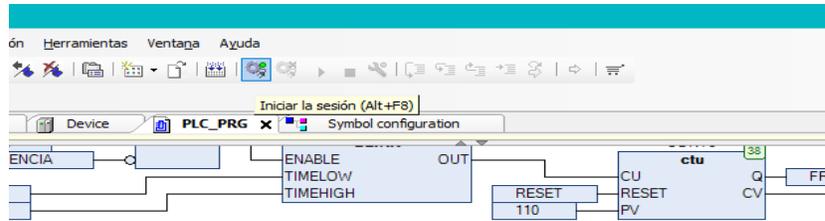


Figura 51. Inicio de programación en CODESYS. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

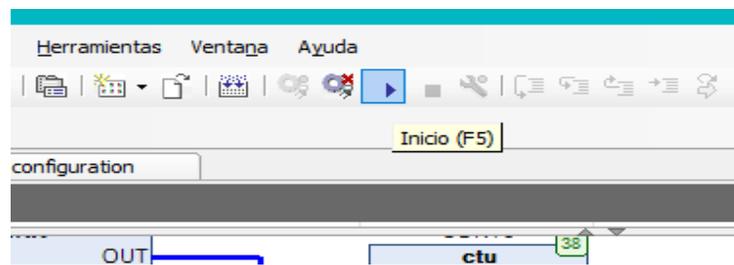


Figura 52. Inicio del programa. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

LabVIEW

Para el inicio del programa en LabVIEW, simplemente se debe cargar el programa en las flechas continuas, como se observa en la figura 51.

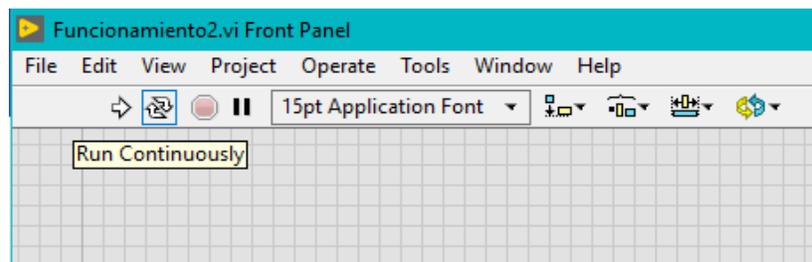


Figura 53. Inicio de programa en LabVIEW. Fuente: Autores de la investigación, 2020.

Funcionamiento

Para visualizar el funcionamiento y entender de mejor manera el sistema, además de observar los resultados obtenidos se generaron dos videos.

- Se podrá observar el funcionamiento en el anexo 2.
- Para entender el funcionamiento de CODESYS, visto también desde la programación, se podrá ver en anexo 2.

Conclusiones

Teniendo en cuenta las condiciones especiales de la salmuera en los yacimientos de sal en el municipio, así como también, la forma de obtención de la sal en los hornos actuales, se definieron las variables determinantes en el proceso artesanal, como lo son, el porcentaje de salinidad, la temperatura de ebullición y el tiempo de evaporación, lo que proporcionó información importante y necesaria para la realización de los diferentes apartados de la máquina evaporadora, con el fin de brindar un diseño exclusivo y eficaz, partiendo del análisis de dichas variables.

De acuerdo con los datos obtenidos en el análisis de las variables dentro del proceso de refinamiento de la sal en los hornos del municipio, fue posible crear los planos estructurales para una máquina evaporadora, a partir del análisis de diferentes técnicas utilizadas en los procesos industrializados de obtención, procesamiento y refinación de la sal, lo que permitió desarrollar un diseño alternativo, con el objetivo de suplir la cantidad de sal producida en dicho sitio, ofreciendo una alternativa viable para el procesamiento de la sal, brindando un aporte de nuevo conocimiento para la tecnificación del proceso rudimentario.

Con el fin de proporcionar un diseño que sea viable y funcional en el momento de la implementación, se desarrolló una programación en lenguaje CFC (continuous function chart por sus siglas en inglés o gráfico de funciones continuas) en CODESYS (plataforma de software orientado a las tecnologías de automatización industrial) capaz de detectar, mostrar valores y enviar señales en el sistema SCADA, el cual permite visualizar como se comportaría el sistema, con las variables a controlar y con las señales recibidas, gracias a él, es posible generar un análisis del funcionamiento que desempeñaría la máquina evaporadora, demostrando un correcto funcionamiento que aportaría una solución para el municipio de Recetor – Casanare.

Recomendaciones

Cuando sea posible fabricar las piezas diseñadas, es importante respetar los materiales seleccionados para cada pieza, sin embargo, si no es posible obtener los materiales, es recomendable utilizar materiales que cuenten con una mayor resistencia a las variables estudiadas.

Con el fin de evitar fallos en una futura implementación, se recomienda, realizar el control, una vez se encuentre instalado el horno, esto para tener en cuenta los datos exactos de variables como la temperatura del entorno, la temperatura de la salmuera, el tiempo de evaporación, etc.

Se recomienda tener en cuenta el coste adicional que conlleva, la adecuación del espacio donde estaría ubicada la máquina, además, se debe considerar el acceso para su mantenimiento preventivo y correctivo, así como su fácil accesibilidad para recolección y limpieza.

Los precios pueden variar con respecto a la economía mundial, se seleccionaron en el 2021 teniendo en cuenta calidad precio. De igual manera, los componentes pueden evolucionar, dando posiblemente mayor calidad, desconociendo la variación de sus costos.

Cuando se ejecute la implementación de estos diseños, los autores deben estar presentes, puesto que son los conocedores a cabalidad y a profundidad de cada apartado desarrollado en este trabajo.

Referencias

- Alcaldía de Recetor. (2020). *Plan de desarrollo-2020-2023*. Recuperado de <http://www.recetor-casanare.gov.co/planes/plan-de-desarrollo-2020--2023>
- Bancayan, D., Cisneros, K., Cortez, J., Otero, C. & Sandoval, J. (2019). *Diseño de una planta para la producción de sal de mesa a partir de la extracción de sal en la mina de la comunidad campesina San Martín de Sechura*. [Trabajo de investigación]. Universidad de Piura. Piura, Perú. Recuperado de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4291/PYT_Informe_Final_Proyecto_Sal.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Brototermic. (s.f.). *Catalogo de instrumentación industrial*. Recuperado de <http://www.brototermic.com/docs/catalogo-instrumentacion.pdf>
- Codesys. (s.f.). *Continuous Function Chart (CFC)*. Recuperado de https://help.codesys.com/api-content/2/codesys/3.5.12.0/en/_cfs_f_programming_language_cfc/
- Consorcio Industrial S.A. (s.f.). *Motobomba a gasolina autocebante*. Recuperado de <https://www.conustrial.com.co/motobomba-implementos-agricolas-jardineria-conustrial/89-motobomba-a-gasolina-autocebante-warrior-qgz80-30.html>.
- Gandhi, M. (s.f.). *Qué es un sistema de control y qué tipos hay*. Recuperado de <https://www.autycom.com/que-es-un-sistema-de-control/>
- Google Sites (lazo abierto y cerrado). (s.f.). *05fmeautomatismos*. Recuperado de <https://sites.google.com/site/05fmeautomatismos/home/1-2-tipos-de-control-lazo-abierto-y-cerrado>
- Omega Engineering. (s.f.) *Termopar*. Recuperado de <https://es.omega.com/prodinfo/termopares.html>.
- Oropeza, J. (2019). *Sistemas de control: Definición, tipos y función*. Recuperado de <https://siaguanta.com/c-tecnologia/sistemas-de-control/>.
- Ramirez, C, & Buitrago, N. (1999). *Esquema de ordenamiento territorial Recetor - Casanare*. Recuperado de <https://cl.rsdelivers.com/product/siemens/6av6651-7ka01-3aa4/kit-de-inicio-plc-cpu-siemens-memoria-10-mb/8285259>.