



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

**INTEGRACIÓN DE SCADA PARA MONITOREO Y CONTROL DE CALDERA, POZO
ACUÍFERO Y SISTEMA CONTRA INCENDIOS, CARGILL.**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

PRESENTADO POR:

21441219 KENNY JOSUÉ AYALA CASTRO.

ASESOR:

ING. MARTA REYES

CAMPUS SAN PEDRO SULA;

10 DE DICIEMBRE DE 2018

AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN DEL AUTOR(ES) PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL, Y PRUBLICACION ELECTRONICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS DE GRADO.

Señores

CENTRO DE RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACION (CRAI)

San Pedro Sula

Estimados Señores:

La presentación del documento de tesis forma parte de los requerimientos y procesos establecidos de graduación para alumnos de pregrado de UNITEC.

Yo, Kenny Josué Ayala Castro, de San Pedro Sula, autor del trabajo de grado titulado: **Integración de SCADA para Monitoreo y Control de Caldera, Pozo Acuífero y Sistema Contra Incendios, CARGILL.**

, presentado y aprobado en el año 2018, como requisito para optar al título de Profesional de Ingeniería en Mecatrónica, autorizo a:

Las Bibliotecas de los Centros de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI) de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), para que, con fines académicos, pueda libremente registrar, copiar y usar la información contenida en él, con fines educativos, investigativos o sociales de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en las salas de estudio de la biblioteca y la página Web de la universidad.

Permita la consulta y la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan su finalidad académica, ya sea en formato CD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

De conformidad con lo establecido en el artículo 19 de la Ley de Derechos de Autor y de los Derechos Conexos; los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Es entendido que cualquier copia o reproducción del presente documento con fines de lucro no está permitida sin previa autorización por escrito de parte de los principales autores.

En fe de lo cual, se suscribe la presente acta en la ciudad de San Pedro Sula a los 19 días del mes de diciembre de dos mil dieciocho

HOJAS DE FIRMAS

Los abajo firmantes damos fe, en nuestra posición de miembro de Terna, Asesor y/o Jefe Académico y en el marco de nuestras responsabilidades adquiridas, que el presente documento cumple con los lineamientos exigidos por la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y los requerimientos que la Universidad dispone dentro de los procesos de graduación.

DEDICATORIA

A Dios: Por ser el pilar principal de fortaleza y guía durante todo tiempo, permitiendo alcanzar y completar todas mis metas propuestas e inclusive brindándome más de lo esperado. Porque él me ha dado todo cuanto tengo.

A mis padres: Por los valores inculcados en mi desde pequeño. Desde las irrisorias enseñanzas hasta aquellas de gran valor. Porque siempre estuvieron dispuestos a brindarme lo mejor que podían y nunca me faltó nada, más sin embargo me impulsaron a aspirar por mucho más. A enseñarme que cuando uno se propone algo uno lo culmina y lo hace bien hecho. Por el esfuerzo diario que tuvieron que enfrentar para que yo pudiera sobresalir y es por eso que este nuevo logro espero les enorgullezca, porque también es un logro de ambos.

A mis hermanos y seres queridos: A mi hermano Danny que a pesar de las contrariedades siempre resultaba instruirme algo nuevo y mejor para conmigo. Jafet e Ixchell que, siendo inocentes, alegraban e impacientaban mis días, pero aun así me mostraban lo positivo de la vida. Sin el aliento de ustedes todo fuese distinto. Por todos los ánimos, alegrías, tristeza, enojo, experiencias y apoyo incondicional que me has brindado y que sencillamente no pudiera terminar de remunerar todo lo que tú me has impulsado a ser. Mil gracias, Karen.

RESUMEN EJECUTIVO

En la actualidad, la creciente demanda de la manufactura ha contribuido al buen hábito de conmutar e integrar tecnología que se adecue a las exigencias de las empresas. El uso de estos recursos ha conllevado a que los diversos sistemas en los cuales han sido incorporados se vean beneficiados con el incremento de producción, conexo con la calidad de esta.

Automatización Industrial S.A.(AINSA) es un distribuidor oficial de la prestigiosa marca SIEMENS, también de las marcas OMRON, SMC. Dedicada asimismo a la realización de proyectos de automatización industrial para otras empresas. Desde la preparación, diseño o elaboración de paneles de control, tableros de control para motores hasta la facilitación de soluciones a problemas de automatización. Efectuando de manera exitosa proyectos a grandes empresas reconocidas como GILDAN, CARGILL, EMSULA entre otros. AINSA fue contratada por la empresa Pollos Norteños S. de R. L. (PRONORSA), para realizar el diseño y programación del departamento de control preventivo y sus abastecedores de agua en modo manual y automático, con un sistema de monitoreo SCADA, basándonos en las componentes a automatizar. Con este proyecto, se logró realizar un nuevo diseño del sistema de supervisión y control del sistema preventivo, la caldera y sus bombas entre otros, apoyándonos en un sistema central de adquisición y monitoreo de datos que ayuda a que los elementos se mantengan actualizados mediante la interacción de las personas que están encargadas de utilizarlas, convirtiéndose en una herramienta factible, manejable y controlable que proporciona elementos viables y confiables. El mecanismo fue asequible de implementar puesto a la metodología y el software aplicados a este desarrollo se mostraron flexibles para ampliar el estudio condicionalmente a las siguientes necesidades y proyectos que se realicen en un futuro cercano.

ABSTRACT

Nowadays, the growing demand for manufacturing has contributed to the good habit of switching and integrating technology that suits the demands of business. The use of these resources has meant that the various systems in which they have been incorporated benefit from the increase in production, related to its quality.

Automatización Industrial S. A. (AINSA) is an official distributor of the prestigious brand SIEMENS, also of the brands OMRON, SMC. Also dedicated to the realization of industrial automation projects for other companies. From the preparation, design or elaboration of control panels, control panels for motors to the facilitation of solutions to automation problems. Successfully carrying out projects to large companies such as GILDAN, CARGILL, EMSULA among others. AINSA was hired by the company Pollos Norteños S. de R. L. (PRONORSA), to carry out the design and programming of the preventive control department and its water suppliers in manual and automatic mode, with an SCADA monitoring system, based on the components to be automated. With this project, we intend to make a new design of the supervision and control system of the preventive system, the boiler and its pumps among others, relying on a central data acquisition and monitoring system that helps to keep the elements updated through the interaction of the people in charge of using them, becoming a feasible, manageable and controllable tool that provides viable and reliable elements. The mechanism was affordable to implement put to the methodology and the software applied to this development proved flexible to extend the study conditionally to the following needs and projects to be carried out in a near future.

I. INTRODUCCIÓN	1
II. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	2
2.1 ANTECEDENTES	2
2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	3
2.4 OBJETIVOS	3
2.4.1 Objetivo General	4
2.4.2 Objetivos Específicos	4
2.5 JUSTIFICACIÓN	4
III. MARCO TEÓRICO	5
3.1 GENERALIDADES DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA	5
3.1.1 PRONORSA, Industria Avícola	5
3.2 CALDERAS	6
3.2.1 Tipos de Calderas según La Disposición de Fluidos	6
3.2.2 Parámetros de Elección de Calderas	9
3.2.3 Conceptos de Energía y Calor	10
3.2.5 COMBUSTIÓN	12
3.2.6 Generalidades de las Calderas	16
3.2.7 Caldera Piro-tubular modelo CB-600	17
3.3 SCADA - CONTROL DE SUPERVISIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS	18
3.3.1 Desempeño de Un Sistema SCADA	19
3.3.2 Componentes de Hardware SCADA	21
3.3.3 Software de SCADA	24
3.4 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE	26
3.4.1 Redes Industriales	27
3.4.2 Estructura General de los PLC	28
3.4.3 Componentes de Hardware PLC	30
3.4.4 Tipos de PLCs	32
3.4.5 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	34
3.4.6 SIMATIC S7-1200	35
IV. METODOLOGÍA	37
4.1 VARIABLES DEPENDIENTES	38
4.2 VARIABLES INDEPENDIENTES	38

4.3 MÉTODO Y ENFOQUE.....	39
4.4 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	40
V. ANÁLISIS Y RESULTADOS	41
5.2 ANÁLISIS.....	41
5.1.1 Sensores de Lectura.....	42
5.3 RESULTADOS.....	43
5.2.1. Interfaz de la SCADA	43
VI. CONCLUSIONES.....	51
VII. RECOMENDACIONES.....	52
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
IX. ANEXOS	58

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. COMPARACIÓN DE CALDERAS.....	8
TABLA 2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CB - 600 CC	13
TABLA 3. LINEA DE SINAMIC PLC.	36
TABLA 4. DESARROLLO LABORAL.....	40

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. PLANTA PRONORSA	5
ILUSTRACIÓN 2. CALDERA ACUOTUBULAR	7
ILUSTRACIÓN 3. CALDERA PIROTUBULAR.....	8
ILUSTRACIÓN 4. TRIÁNGULO DE LA COMBUSTIÓN.....	15
ILUSTRACIÓN 5. CALDERA PIROTUBULAR CB-600 CC	16
ILUSTRACIÓN 6. INTERIOR DE CALDERA PIROTUBULAR	17
ILUSTRACIÓN 7. EJEMPLO DE CONTROL DE NIVEL EN SIMATIC WINCC.....	20
ILUSTRACIÓN 8. ESTRUCTURA BÁSICA DE UN SISTEMA SCADA.....	21
ILUSTRACIÓN 9. FUNCIONES BÁSICAS DEL RTU EN SISTEMAS SCADA	23
ILUSTRACIÓN 10. CONTEXTO DE UN SOFTWARE SCADA.....	25
ILUSTRACIÓN 11. LOGO DE APLICACIÓN DE SIMATIC WINCC	26

ILUSTRACIÓN 12. PLC SIMATIC S7-1200 1214c	27
ILUSTRACIÓN 13. CONEXIÓN PROFINET EN PLC SIEMENS S7-1200.....	28
ILUSTRACIÓN 14. DIAGRAMA GENERALIZADO DE UN PLC	29
ILUSTRACIÓN 15. ORGANIZACIÓN MODULAR DEL PLC SIEMENS S7-300	30
ILUSTRACIÓN 16. PLC COMPACTOS. FESTO FEC FC660, SIEMENS LOGO, SIMATIC S7-1200. ..	32
ILUSTRACIÓN 17. PLC MODULARES. SIEMENS S7-300, ALLENBRADLEY COMPACT LOGIX.....	32
ILUSTRACIÓN 18. SIEMENS S7-400	33
ILUSTRACIÓN 20. CICLO DE OPERACIÓN DE PLC.....	35
ILUSTRACIÓN 20. SONDAS RTD DE AISLAMIENTO MINERAL	42
ILUSTRACIÓN 21. SENSOR DE PRESIÓN PT100.....	42
ILUSTRACIÓN 20. SENSOR DE PRESIÓN 0 A 10 BAR.	43
ILUSTRACIÓN 23. PANTALLA DE SCADA, INICIO.....	44
ILUSTRACIÓN 24. PANTALLA DE SCADA, ALIMENTACIÓN CALDERA CB-600	45
ILUSTRACIÓN 25. PANTALLA DE SCADA, BOMBAS 1 Y 2 DE BUNKER.....	46
ILUSTRACIÓN 26. PANTALLA DE SCADA, CALDERA CB-600	47
ILUSTRACIÓN 27. PANTALLA DE SCADA, CONSUMO DE POZO 9	48
ILUSTRACIÓN 28. PANTALLA DE SCADA, GRAFICO PID Y USUARIOS DE MENSAJERÍA.	49
ILUSTRACIÓN 29. PANTALLA DE SCADA, POZO 9 Y SISTEMA CONTRA INCENDIOS.	50

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1. LEY DE FOURIER.....	11
ECUACIÓN 2. LEY DE ENFRIAMIENTO DE NEWTON	12
ECUACIÓN 3. LEY DE STEFAN-BOLTZMANN	12

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. CONTENEDOR DE BUNKER EN PRONORSA	58
ANEXO 2. ANTENA DE COMUNICACIÓN CONTIGUO A SALA DE CALDERAS.....	59
ANEXO 3. SALA DE CALDERAS DE PRONORSA.....	61
ANEXO 4. INTERIOR DE CALDERA PIROTUBULAR.....	62
ANEXO 5. CALDERA CB-600 CLEAVER BROOKS.....	63

GLOSARIO

1. Abrasión: Desgaste de la superficie, producido por rayado continuo, usualmente debido a la presencia de materiales extraños.
2. Caldera: en la industria, es una máquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor.
3. Eficacia: Capacidad para producir el efecto deseado o de ir bien para determinada cosa.
4. Eficiencia: Capacidad para realizar o cumplir adecuadamente una función.
5. Generador: Dispositivo electromecánico utilizado para convertir energía mecánica en energía eléctrica
6. HMI: Es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina.
7. Hidrólisis: Es una reacción química en la que divide las moléculas de agua y otra molécula, descomponiendo sus elementos químicos mediante la acción del agua.
8. PLC: Es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial.
9. Periferia descentralizada: Consiste en controlar las señales de E/S de los sensores, actuadores y demás componentes industriales por medio de un mínimo de cableado.
10. Pozo Acuífero: Es aquella masa de rocas permeables que permite la circulación y la acumulación del agua subterránea en sus poros o grietas.
11. SCADA: Aplicación de Supervisión, Control y Adquisición de datos (SCADA por sus siglas en ingles. Cualquier aplicación que obtenga datos operativos acerca de un "sistema" con el fin de controlar y optimizar ese sistema.
12. Sensores: Son dispositivos que detectan manifestaciones de cualidades o de fenómenos físicos, como energía, velocidad, tamaño, cantidad, etc.

I. INTRODUCCIÓN

Cargill opera en Centroamérica desde 1969 con dos negocios principales: carnes y aves de corral, y nutrición animal. Ofrece a sus clientes una amplia variedad de productos frescos y congelados de aves de corral, directamente en las tiendas locales. Al igual que en muchas compañías donde se requiere de varios procesos y subprocesos para poder transformar y tratar productos alimenticios y al finalizar proveer dicho beneficio al mercado interesado. Ha presentado a través de los años un cambio en la forma y desarrolla de sus procesos de preparación. Es sin duda alguna, una industria que requiere de rapidez, eficacia y eficiencia para mantener el mercado completamente abastecido. Con más de ocho marcas de distribución las más relevantes: Pollo San Miguel, Delicia, Pollos Norteños S. de R. L. (PRONORSA), entre otros. Siendo PRONORSA el cliente a considerar en este estudio que bajo la supervisión de AINSA se le es presentada una solución ante el inconveniente generada por este. Dicho problema se detalla en base a criterios y necesidades del cliente. En esta se involucra una caldera que genera vapor de agua con una potencia de 600 HP, el pozo acuífero nueve, el sistema contra incendio y la central de control de motores que evaluaban sus rangos de operación y eficiencia. Cabe destacar que todos estos constituyentes estaban ubicados en distintos puntos de la empresa, iniciando con el pozo acuífero nueve que se encontraba cruzando la carretera frente a la ubicación de la misma empresa. Al encontrarse descentralizadas el tiempo invertido para su control era considerable y la solución fue esclareciendo al presentar un sistema que reuniera todas las anteriores en una pantalla con acceso directo a los controles remotos. Para ello se usufructuó de las torres de comunicación que estaban anteriormente instalada para que de esta manera mediante las antenas de comunicación logran enviar y recibir datos que intervinieran en el proceso de llenado o alertas que surgieran. Al realizar lo anterior expuesto no solo convendría en el tiempo de ejecución de los procesos de encendido y de supervisión, sino también, en un incrementó en la productividad de la empresa.

Las computadoras se fabrican para ayudar al hombre en sus tareas, no para sustituirlo; no hacen juicios emocionales, no desobedecen las instrucciones de los humanos ni reemplazan las relaciones entre las personas; por el contrario, somos nosotros quienes debemos ser sumamente específicos al instruir las computadoras para que desarrollen cualquier tarea.(Villarreal de la Garza, 2007, p. 6)

II. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

2.1 ANTECEDENTES

La empresa PRONORSA, es una institución con fines de lucro del grupo ALCON, Honduras, Cargill Honduras; dedicada a procesar los pollos de engorde del 60% de las granjas de la zona norte de Honduras. PRONORSA fue fundada en 1972 en la ciudad de San Pedro Sula, comenzando con 500 empleados y sacrificando 1000 pollos por turno de trabajo al día. Es por lo tanto imprescindible estar a la vanguardia de riesgos que podrían afectar a la compañía como tal.

Dicha empresa cuenta con un sistema contra incendios de (150 PSI), abastecido por 3 bombas centrífugas provenientes 3 de pozos acuíferos: Pozo # 6, Pozo # 7, Pozo # 9, el último ubicado a 200 m, fuera de las instalaciones de PRONORSA.

El monitoreo de todo el sistema contra incendios está representado en una SIMATIC HMI KTP700, la señal de entrada del PID Bunker está dada por sensores de presión que tienen un rango de medición de 0 a 200 PSI. Cuentan con una caldera de 600 HP y Alimentación C600. Adicionalmente cuando la bomba del pozo nueve es activada, la desactivación requiere movilizarse a la ubicación de la bomba y apagarla manualmente.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Según lo expuesto por el cliente que basado en su historial de productividad y monitorización en la sala de calderas. La frecuencia con la que los operarios de PRONORSA ejecutaban tareas de reactivación por cortes o perturbaciones en el sistema les surgía de forma eventual y muchas veces inciertas debido a falta de un mantenimiento preventivo. Además de ello ralentizaban la efectividad en la producción por falta del vapor que es utilizada a lo largo de varios procesos en la empresa, puesto que los sistemas como ser bombas de pozos, subestación de manejo de motores, tanque de agua, entre otros se encontraban descentralizados y no existía una comunicación apropiada entre los mencionados. Al estar ubicados en distintas partes del plantel y con una medida medible de datos recolectados mediante las entradas analógicas y digitales, serían de mayor ventaja para la empresa controlarlo mediante una SCADA y con este nuevo proyecto se podría ordenar el cambio de estado en bombas o motores deseados.

También se recolectarían datos de la caldera como ser valores de potencia para luego tomar anotaciones sobre la evolución de esta a través del tiempo de uso. Ver estados de las bombas, sopladores y su eficiencia para sacar mayor provecho del combustible suministrado y así reducir costos que luego estos serían reflejados en un mayor porcentaje de ganancia para la compañía. Puesto que al existir un mantenimiento preventivo la vida útil de los motores es alargada siendo mucho más económico que cambiar la bomba por una nueva cada cierto periodo.

2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Durante las visitas técnicas efectuadas, surgieron interrogantes que correspondían a la forma en que se efectuaban procedimientos relevantes del proyecto asignado.

1. ¿Cómo comunicar la bomba del pozo nueve, que yace a una distancia considerable de la estación del PLC?
2. ¿Qué rango de presión en la caldera y la manera de recolección de datos será el óptimo para el proyecto?
3. ¿De qué manera se adaptará el personal hacia el sistema rediseñado?

2.4 OBJETIVOS

El principio fundamental de Emerson es el que afirma que las personas trabajan con el máximo provecho cuando conocen las metas por cuya obtención deben esforzarse, sostiene que más que objetivos y metas deberíamos hablar de ideas, y es así como redacta el primer principio de eficiencia: "*Ideas claramente definidas*". (Palacios, 2016, p. 39)

Una vez teniendo clara las ideas y los principios, también faltaría esclarecer las herramientas que nos permitirán determinar cómo, cuándo y de qué manera será eficiente la nueva implementación en la empresa.

2.4.1 OBJETIVO GENERAL

Optimizar el proceso de comunicación de datos entre el pozo nueve y sala de caldera de la empresa PRONORSA, mediante la implementación de un sistema SCADA, mejorando la eficiencia operacional, seguridad y supervisión del proceso.

2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aumentar la confiabilidad y operatividad de la sala de calderas implementando un sistema redundante para el control y monitoreo de esta.
- Integrar dispositivos y herramientas de diferentes tecnologías para realizar la gestión y manipulación de información que permita reconocer los diferentes eventos de la subestación.
- Generar registro del consumo energético diario de la bomba del pozo número 9 para evaluar el desempeño de esta.

2.5 JUSTIFICACIÓN

Mediante un instrumento de control se hace posible monitorear equipos y elementos de campos como interruptores, seccionadores, variadores, bombas, sopladores industriales entre otros; con la finalidad de organizar planes de mantenimiento preventivo del sistema, especialmente al momento de localizar posibles fallas en los distintos circuitos de la subestación y actuar de forma inmediata.

El proyecto propuesto sería utilizado para la operación local en mantenimientos programados de la sala de calderas y en la redundancia del control y monitoreo desde el centro de control incrementando la confiabilidad y operatividad del sistema SCADA, contribuyendo de esta manera a la actualización tecnológica de la empresa. Adicionalmente se incrementa la seguridad del personal, especialmente en procesos que incluyen temperaturas elevadas o entornos peligrosos (Como cuando la caldera está en funcionamiento, gases nocivos...).

Paradas de producción o averías de equipos invariablemente implican costos, por lo que se recomienda un plan de mantenimiento sistemático para reducir la posibilidad de fallo del equipo. El mantenimiento preventivo es siempre menos costoso que la corrección de fallos y tener averías imprevistas.(Palacios, 2016, p. 39)

III. MARCO TEÓRICO

3.1 GENERALIDADES DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA

En los últimos años, muchos países latinoamericanos en desarrollo han obtenido grandes ganancias en industrias avícolas. El desarrollo del comercio avícola en Honduras es un buen ejemplo de cómo esta industria ha avanzado y con ello brindando empleo y estabilidad económica para quienes coexisten y forman parte de un eslabón donde se ven beneficiado granjeros, transportistas, empleados directos e indirectos.

Las palabras ganadería, ganado y ganadero son exclusivas del idioma español. Se originaron durante la Colonia para significar una ganancia directa, sin mayor inversión de capital, porque los abundantes pastos naturales de las pampas y sabanas vírgenes eran el sustento de los animales que al reproducirse aumentaban el patrimonio de sus propietarios.(Flórez Malagón, 2008, p. 12)

En conjunto con la ganadería, la avicultura forma parte del pilar económico principal de nuestro país.

3.1.1 PRONORSA, INDUSTRIA AVÍCOLA

La planta PRONORSA, es una empresa que cuentan con una amplitud de procesos diseñados para optimizar su producción. Diseñada para sacar el máximo provecho a sus instalaciones, como cualquier otra industria, cuenta con calderas y sistemas de prevención que posteriormente se detallarán para los fines que conlleva el proyecto.

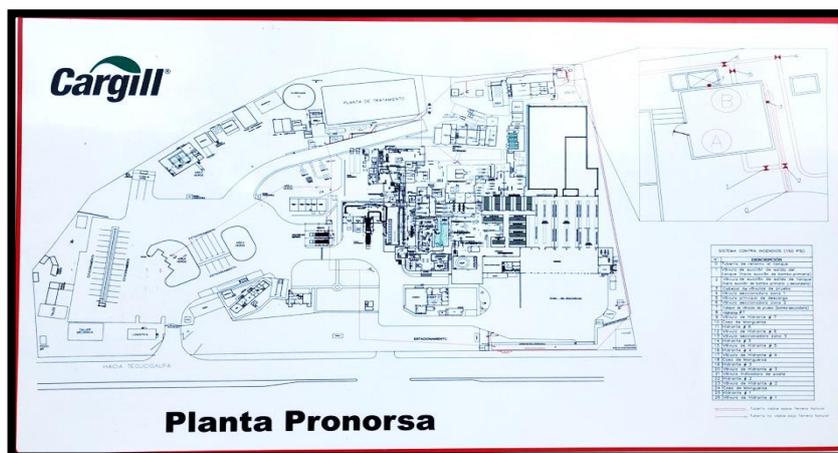


ILUSTRACIÓN 1. PLANTA PRONORSA

Fuente: Propia

3.2 CALDERAS

Las calderas, como en toda empresa, forman parte vital de un vínculo que desencadena la evolución de las posteriores etapas. Para PRONORSA, esta simboliza la alimentación vapor a toda la planta a presión constante, por lo que se traduce a un recurso imprescindible. Las calderas están integradamente esencialmente por un contenedor metálico, hermético, con la prioridad de generar vapor o calentar agua a partir de la acción del calor a una temperatura elevada. El principio básico de funcionamiento de las calderas consiste en una cámara donde se produce la combustión, con la ayuda del aire comburente y a través de una superficie de intercambio se realiza la transferencia de calor.

Alba G., Martínez S., & Sandoval C. (1999) Afirma:

Actualmente el proceso industrial de la generación de vapor ha crecido enormemente, no sólo cuando el vapor se usa para la generación de la energía eléctrica, sino cuando se emplea con otros fines como sucede en las industrias papelera, azucarera, química, textil, farmacéutica, etcétera. (p. 9)

3.2.1 TIPOS DE CALDERAS SEGÚN LA DISPOSICIÓN DE FLUIDOS.

En el área de generadores de vapor existen distintos modelos, y todo se deriva de la finalidad para la cual la caldera será utilizada. Desde rangos de presión hasta tipo de combustibles que en esta se utilizara. Para introducir el contexto de esta amplia gama podemos sintetizar los modelos y clasificarlos en:

- Caldera Acuotubular: Está constituida por un horno en cuyo interior presenta tuberías por el cual el agua circulará. El combustible es usualmente quemado en el hogar y el calor producido por esta combustión es transferido al agua que circula por los tubos convirtiéndose esta en vapor. Tal como muestra la ilustración 2 en la página 7.

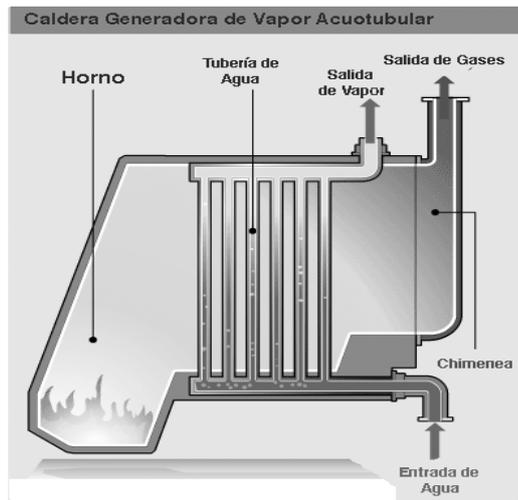


ILUSTRACIÓN 2. CALDERA ACUOTUBULAR

Fuente: (Agencia Minera de Eficiencia térmica de Chile)

- **Caldera Pirotubular:** En este tipo de caldera el humo caliente procedente del hogar transita por el interior de los tubos gases, arremetiendo el espacio hueco y surcando a través de la tubería portadora de agua, hasta brotar por la salida de humos. El calor procedente de la combustión es liberado y transferido a través de las paredes de la tubería portadora del agua, quedando todo el conjunto encerrado dentro de un cilindro metálico que es óptimo para la transmisión de energía térmica. A través del recorrido, el humo, cede la mayor parte de su calor al agua, vaporizándose parte de esta agua y acumulándose en la parte superior del cuerpo en forma de vapor saturado.

Esta vaporización parcial del agua es la que provoca el aumento de la presión del interior del recipiente y su visualización en el manómetro. Este tipo de generadores, por su diseño no admiten presiones de trabajo elevadas, más allá de las dos o tres atmósferas; son de construcción sencilla y disponen de moderada superficie de intercambio, por lo no se utilizan para elevadas producciones de vapor. Son en compensación, muy económicos en costo y de instalación sencilla comparándola con la acuotubular. (Alba G. et al., 1999, p. 29)

Tal como muestra la ilustración 3 en la página 8.

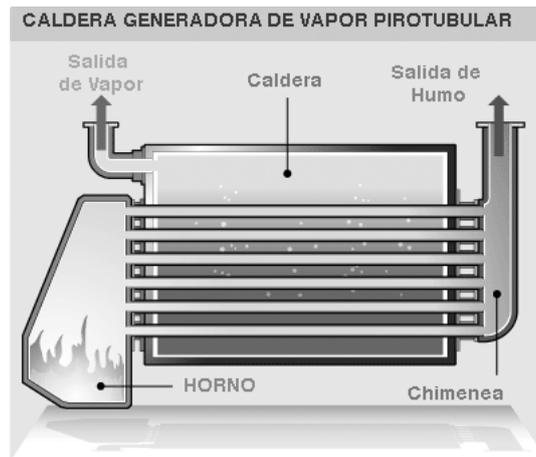


ILUSTRACIÓN 3. CALDERA PIROTUBULAR

Fuente: (Agencia Minera de Eficiencia térmica de Chile)

Entrena González (2013) Menciona: “En una caldera se busca obtener la mayor eficiencia térmica del proceso de combustión y disminuir al máximo posible las pérdidas de energía que se producen en los intercambios de calor” (p. 91)

Ambas se desempeñan de forma similar, no obstante, la transferencia de calor al ser efectuadas en volúmenes de agua desiguales resulta en presiones y temperaturas más altas para la caldera acuotubular que las que muestra la caldera pirotubular.

TABLA 1. COMPARACIÓN DE CALDERAS

Crterios	Calderas Pirotubulares	Calderas Acuotubulares
Calidad del agua	Menores exigencias, posible funcionamiento con salinidad del agua	Mayores exigencias, es necesario un bajo nivel de salinidad para su funcionamiento
Mantenimiento	fácil de limpiar	Más costoso
Revisiones periódicas	Inspección ordinaria, seguida de una prueba hidrostática, raramente son necesarias otras pruebas de carácter no destructivo, como por ej. as mediciones con ultrasonidos, en caso contrario se efectúan en zonas muy reducidas	Son necesarias mediciones con ultrasonidos además de prueba hidrostática; es decir, pruebas costosas en tiempo y dinero
Costes para niveles comparables de gasto de fabricación y calidad	Menores	Mayores

Rendimiento	Mayor, de fácil mantenimiento	Menor; es más difícil realizar su mantenimiento en funcionamiento
Características de la carga parcial	Puede aprovecharse el control del quemador; cuando caiga por debajo de la carga mínima, el quemador puede apagarse sin problemas	En el caso de determinados diseños, debe limitarse la carga parcial; el quemador no puede apagarse manualmente
Contenido de agua	Mayor, debido a su diseño	Menor
Capacidad de acumulación	Debido al alto volumen de agua, no es susceptible a las fluctuaciones de presión y carga	Susceptible a las fluctuaciones de presión y carga resultantes del proceso
Necesidades de espacio	Reducidas	Elevadas
Tiempo necesario para el montaje y puesta en marcha inicial	Reducido	Más prolongado

Fuente: (Grupo Bosch Industriekessel GmbH)

3.2.2 PARÁMETROS DE ELECCIÓN DE CALDERAS

Puesto que acaecen muchos tipos de calderas generadoras de vapor, las características cambian de acuerdo a su necesidad, su marca, su finalidad, etc. El proceso de selección se rige en el acatamiento de los parámetros específicos de la organización. Una correcta elección de calderas dependerá de factores tales como:

- La cantidad de vapor requerida, presión, temperatura, calidad del vapor requerido.
- Futuros requerimientos.
- Localización de la unidad.
- Características de la carga.
- Tipos de combustibles disponibles.
- Diseño de quemadores.
- Calidad del agua de alimentación.
- Variaciones previstas de la carga.

“El ciclo del vapor es el ciclo de alta temperatura. Su objetivo es producir la mayor cantidad posible de potencia a partir del calor que se recupera en la caldera (por lo que sus prestaciones están a expensas del diseño de ésta)” (Montes Pita, Muñoz Domínguez, & Rovira de Antonio, 2014, p. 430).

3.2.3 CONCEPTOS DE ENERGÍA Y CALOR

La energía es una magnitud física derivada, es decir, que puede expresarse en función de las magnitudes básicas y que como se ha visto, se caracteriza por el hecho de que puede presentarse en diversas formas (cinética, potencial, química, eléctrica, etc.), pero todas tienen en común que pueden relacionarse con el concepto de trabajo. (Illán Gómez, 2015, p. 13)

La transferencia de calor es un factor de suma relevancia al tratarse del principal trabajo que realiza una caldera y depende del combustible seleccionado de acuerdo a los factores expuestos anteriormente. El desempeño también forma parte de la eficiencia que brinda la caldera en términos de producción de vapor. Es imprescindible comprender el funcionamiento del desplazamiento de energías que dan lugar en la cámara de combustión.

Ogata (2010) Afirma:

Los sistemas térmicos son aquellos que involucran la transferencia de calor de una sustancia a otra. Estos sistemas se analizan en términos de resistencia y capacitancia, aunque la capacitancia térmica y la resistencia térmica tal vez no se representen con precisión como elementos de parámetros concentrados, como, por lo general, están distribuidos en todas las sustancias. (p. 136)

El calor fluye de un elemento a otra de tres maneras distintas: por conducción, por convección y por radiación. En todas las calderas se tienen intercambios por radiación y por convección, difícilmente se encuentre uno solo de estos tipos. En el hogar el intercambio es predominantemente por radiación desde la llama que irradia la energía térmica hacia la tubería, pero hay zonas de este donde se puede producir intercambio por convección desde el flujo de humos.

La Conducción es la transmisión de energía que se produce desde las partículas más energéticas de un sistema hacia las menos energéticas. La velocidad con la que se produce la transmisión de calor por conducción viene determinada por la ley de Fourier.

La ley de Fourier establece que la cantidad de calor transmitida por unidad de tiempo en una dirección dada es proporcional al área de la superficie normal a la dirección del flujo de calor y al gradiente de temperaturas en esa dirección. («La conducción del calor. Ley de Fourier», s. f., p. 45)

$$\dot{Q}_x = -kA \frac{\partial T}{\partial x}$$

ECUACIÓN 1. LEY DE FOURIER

Fuente:(Montes Pita et al., 2014)

$$\text{Donde: } \dot{Q}_x = \frac{dQ_x}{dt}$$

Es la cantidad de calor que atraviesa por unidad de tiempo la superficie A en la dirección x. En donde k es el factor de proporcionalidad. Se trata de una propiedad del medio a través del cual se está transmitiendo el calor y que se denomina conductividad térmica.

La convección es un efecto de transmisión de calor especialmente interesante en aquellas situaciones en las que existe un flujo de movimiento en contacto con una superficie sólida a distinta temperatura. De forma simplificada, se puede definir la convección como aquel mecanismo de transmisión de calor que se produce entre un fluido y una superficie sólida como consecuencia de la combinación de dos efectos: conducción de calor dentro del fluido.

Independientemente de su naturaleza libre o forzada, la velocidad con la que se produce la transmisión de calor por convección viene determinada por la ley de enfriamiento de Newton, que establece que la cantidad de calor transmitida por unidad de tiempo es proporcional al área de la superficie de intercambio y a la diferencia de temperaturas entre la superficie y el fluido.(Montes Pita et al., 2014, p. 19)

$$Q_{conv} = hA(T_s - T_f)$$

ECUACIÓN 2. LEY DE ENFRIAMIENTO DE NEWTON

Fuente:(Montes Pita , 2014).

La radiación térmica se define como la energía emitida por un sistema cuando se encuentra a una temperatura superior al cero absoluto y está asociada a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas que lo componen. En este mecanismo de transmisión de calor la energía es transportada mediante ondas electromagnéticas (o mediante fotones), lo que propicia que, a diferencia de la conducción y la convección, la radiación no precise de un medio material para propagarse, pudiendo propagarse en el vacío. Tal como sucede en el interior de una cadera cuando esta se propaga en su interior.

$$Q_{rad} = \varepsilon\sigma AT_s^4$$

ECUACIÓN 3. LEY DE STEFAN-BOLTZMANN

Fuente:(Montes Pital., 2014)

Donde ε es una propiedad de la superficie llamada emisividad, que cuantifica la eficiencia con la que esa superficie emite radiación, σ es la constante de Stefan-Boltzmann, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}]$.

3.2.5 COMBUSTIÓN

En la industria se utiliza distintos tipos de combustibles y comburentes y todo de acuerdo a los factores que determinan un mejor desempeño con los que se pueden abstraer de los mismos. Dependiendo de la finalidad con la que se utilice dicho vapor. Desde generación de energía eléctrica, uso del vapor como tal, hasta para la implementación de la misma para ser utilizadas en procesos de teñido en la industria de textiles.

La combustión es un rol vital para toda caldera, pero de acuerdo a la estequiometría de los componentes seleccionados, se obtendrá un mejor poder calorífico y esto se rige de acuerdo al combustible seleccionado. En el área de combustibles se cuenta con una gran variedad con características distintas y de precios más elevados que otros; por mencionar el Gas Natural, diésel, Gas L.P, Combustóleo. En el caso de PRONORSA, utilizándose este último como combustible principal y el Diésel como combustible secundario utilizado para el encendido y

apagado de la caldera, aunque este es modestamente utilizado debido a que la caldera se encuentra trabajando 24 horas en la planta.

El combustóleo Tipo No. 6 bunker C, es considerado de muy baja calidad de acuerdo con los estándares internacionales. Aunque es económico también es altamente contaminante, sucio, de manejo problemático y requiere de mucho mantenimiento. Es necesario un precalentamiento en dos etapas: uno a 35°C para poderlo bombear y un segundo hasta 100°C para poderlo quemar. Considerando siempre una preparación antes de su combustión, para la separación de agua, sedimentos e impurezas. Por ende, requiere de un mantenimiento, vigilancia y limpieza de filtros y boquillas periódicamente.

Tabla 2. Especificaciones técnicas CB - 600 CC

Características combustibles					
COMBUSTIBLE	CARBÓN	HIDRÓGENO	AZUFRE	PODER CALORÍFICO	
Gas Natural (peso)	69.98 %	22.31 %	0 %	21 830 Btu/Lb	12.115 Kcal/Kg
Diesel (peso)	85.8 %	12.7 %	0.2 %	19 420 Btu/Lb	10.778 Kcal/Kg
Combustóleo (peso)	86.6 %	10.9 %	2.09 %	18 830 Btu/Lb	10.451 Kcal/Kg

Fuente: (Esquema Caldera Pirotubular)

El combustóleo llega a ser más económico siempre y cuando se trabaje al quemador de la caldera las 24 horas seguidas, sin necesidad de apagarlo. Cuando se trabaja únicamente un turno, no es recomendable trabajar con combustóleo ya que, durante el arranque se debe utilizar diésel y al apagarlo también. Si se llegase a extinguir la flama en el quemador de combustóleo con este en las tuberías, todas ellas al enfriarse formarían un tapón difícil de extraer al día siguiente. Ya que a una temperatura por debajo de los 20°C se forma un tapón difícil de mover y para poder retirar esta obstrucción sería necesario un calentamiento directo en las tuberías para que volviese a fluir de nuevo.

Es común en la práctica que una boquilla de combustóleo se tape y que para destaparlo se requiera de una limpieza total en la línea de combustóleo, lo que significa que durante este período de tiempo no se tendrá la caldera a disposición.

Es recomendable en la práctica que cuando se desea quemar combustóleo, se tenga otra caldera lista para su uso y de esta forma poder operar en forma confiable y continua cuando se lleven a cabo los procesos necesarios de limpieza y mantenimiento que derivan de la operación del combustóleo. En general, se puede decir que es favorable el quemar combustóleo únicamente si se trabajan los 3 turnos o sea las 24 horas del día o si la capacidad de la caldera que vamos a utilizar está al 100% de carga. Si los requerimientos de vapor del sistema son mucho menores a la capacidad de caldera, esto es si la caldera va a trabajar en flamas bajas, no vale la pena el tener combustóleo como principal combustible, puesto que es de poca viabilidad.

Adicionalmente a las ventajas que presenta el precio del combustóleo a primera vista, se deberán de tomar en cuenta los costos adicionales como son el aire comprimido para la atomización, el gas L.P. para su encendido, la operación necesaria de una parte del tiempo con diésel durante el arranque y el apagado de la caldera; El costo de la energía necesaria para precalentar el combustóleo (energía eléctrica y por medio de vapor) ya que el combustóleo se quema a 100 °C. Los mayores costos de mantenimiento que implican el quemar combustóleo (Limpiezas de boquillas, filtros y deshollinados generales de caldera). La confiabilidad del equipo, esto incide en la cantidad de veces que se tiene que parar para la limpieza de boquillas o de filtros quemando combustóleo. La mayor capacidad requerida del fogonero y su entendimiento práctico. Por último, lo más importante, el factor ecológico en la zona donde se va a trabajar con la caldera.

Para que se presente una buena combustión, se incurre a un principio tal como lo es el triángulo de la combustión (Combustible, Comburente, Energía de Activación) estipula.



ILUSTRACIÓN 4. TRIÁNGULO DE LA COMBUSTIÓN

Fuente: Propia

“La energía de activación es el elemento desencadenante de la reacción de combustión; en los quemadores habitualmente suele obtenerse mediante una chispa eléctrica entre dos electrodos, en las calderas individuales de gas se obtiene por llama piloto, tren de chispas, etc.”(García, 2001, p. 3)

Lutech (2009) Menciona: En el ciclo térmico como puede observarse en esta simple figura, se producen las distintas transformaciones y transferencia de la energía. El proceso químico de la combustión en la caldera produce energía, parte de la cual es cedida al agua que está circulando elevando su temperatura al punto de ebullición, el vapor presurizado y caliente incide sobre los alabes de la turbina, la que se pondrá en movimiento rotacional junto con el rotor del generador produciendo energía eléctrica. (p. 6)

3.2.6 GENERALIDADES DE LAS CALDERAS

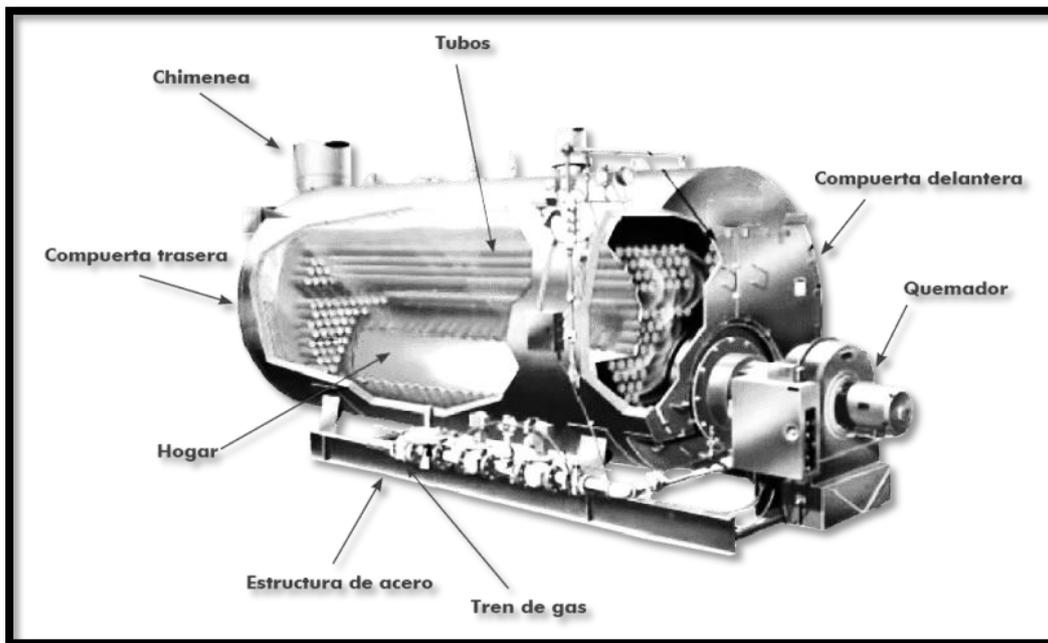


ILUSTRACIÓN 5. CALDERA PIROTUBULAR CB-600 CC

Fuente:(Alba G. et al., 1999)

Básicamente como se ha expuesto con anterioridad, existe una variedad considerable de calderas dependiendo de su utilización y de otros factores, pero en conjunto podemos resumir que tienen que cumplir con ciertas partes para poder calificarse como calderas generadoras de vapor. Como se detalla a continuación, en esencia las calderas poseen.

1. **Tubo Hogar o cámara de combustión:** Es en esta área es donde se lleva a cabo la reacción de combustión.
2. **Cámara hogar:** Es en este módulo es el que procesa los gases humos procedente del tubo hogar.
3. **Quemador:** Es el instrumento encargado de realizar la mezcla del combustible con el comburente para facilitar la combustión.
4. **Intercambiador de calor:** Es el lugar donde la entalpía del proceso es generada, es decir, donde se realiza la transferencia de energía térmica obtenida con la combustión al fluido térmico.
5. **Salida de humos:** Es el conducto que dirige los gases generados en la combustión hasta

la chimenea.

3.2.7 CALDERA PIROTUBULAR MODELO CB-600

En la sala de calderas se encuentran emplazadas dos calderas de 600HP, de las cuales solo una está en funcionamiento 24 horas del día, la segunda tendrá como propósito reemplazar la principal cuando se lleve a cabo mantenimientos generales en la primera.

Tiene un diseño de 4 pasos que brinda una mayor eficiencia que otras y adicionalmente está construida con un diseño de espejo individual con mínimas soldaduras y temperaturas consistentes que maximizan su vida útil. La construcción de esta facilita los mantenimientos e inspecciones.

En las calderas Cleaver-Brooks la ubicación del hogar por debajo de la línea de centros garantiza un margen de seguridad adecuado y una producción de vapor más seco.

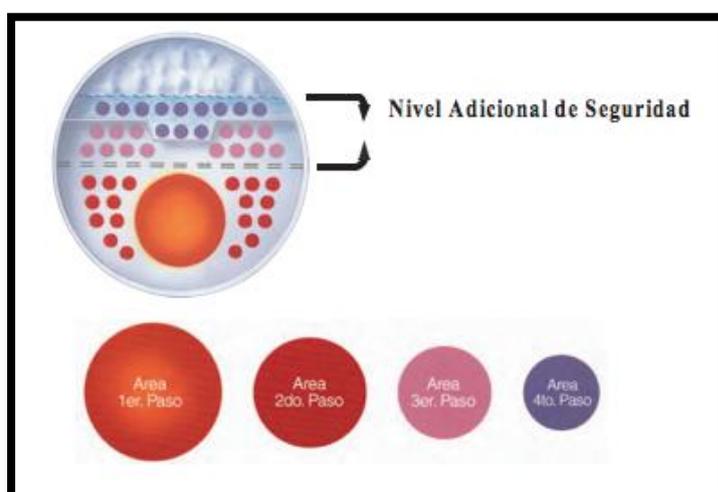


ILUSTRACIÓN 6. INTERIOR DE CALDERA PIROTUBULAR

Fuentes: (Catálogo Clever Brooks,2002)

3.3 SCADA - CONTROL DE SUPERVISIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS

Rodríguez Penin (2007) Afirma: "El paquete SCADA, en su vertiente de herramienta de interfaz hombre-máquina, comprende toda una serie de funciones y utilidades encaminadas a establecer una comunicación lo más clara posible entre el proceso y el operador" (p. 21)

El SCADA es uno sistemas de interfaz más utilizados en la industria para la adquisición de datos y monitoreo. Dicha aplicación presuponía una de las principales necesidades que figuraban en la lista de necesidades de la empresa. Tal como la obtención de datos de manera rápida, organizada y en tiempo real en una sola aplicación sin que el usuario se desplazase a los distintos puntos de la corporación.

Se concibe primordialmente entonces como una herramienta de supervisión y mando donde los objetivos principales tales como; la economía que nos presentan al vigilar lo qué ocurre en las instalaciones, el acceso a los distintos sistemas de arranque (velocidad de cada rotor, producción de electricidad), modificación de parámetros de funcionamiento, indicios de anomalías, etc. Y todo con unos cuantos clics del ratón, disponiendo de amplias acciones inmediatamente.

Además, es un sistema favorable para los empleados que no tengan un discernimiento profesional, puesto que es de fácil aprendizaje y amigable con el usuario. La misma aplicación se puede programar de manera que alerte al personal cuando se aproximen fechas de revisión o cuando una máquina tenga más fallos de los considerados normales.

(Rodríguez Penin, 2007, p. 20) Menciona que:

La ergonomía es la ciencia que procura hacer que la relación entre el usuario y el proceso sea lo menos tirante posible. Los modernos ordenadores, con sus prestaciones gráficas, intentan sustituir a los grandes paneles, repletos de cables, pilotos y demás aparellajes informativos. Pero persiste un problema: cómo presentar toda esa información sin aburrir ni fatigar al usuario.

Cabe destacar que un sistema que este sobrecargado de información puede ralentizar la productividad que tiene como objetivo la implementación de un sistema de retroalimentación. Al ser un sistema de mixto de lazo cerrado (arranque automático) y lazo abierto (arranque

manual), en este último es dependiente de las instrucciones que proporcione el usuario. Debido a lo anterior es de vital requerimiento que los paneles diseñados en la SCADA discurren de información concisa y necesaria, además de estar seccionadas por áreas de acuerdo con procedimientos de arranques o visualizadores de eficiencia energética, entre otros.

3.3.1 DESEMPEÑO DE UN SISTEMA SCADA

Entre las prestaciones de una herramienta de este tipo destacan:

- **La monitorización** Representación de datos en tiempo real a los operadores de planta. Analizadores de datos de los autómatas (temperaturas, velocidades, detectores...).
- **La supervisión** Mando y adquisición de datos de un proceso y herramientas de gestión para la toma de decisiones (mantenimiento predictivo, por ejemplo). Tienen además la capacidad de ejecutar programas que puedan supervisar y modificar el control establecido y, bajo ciertas condiciones, anular o modificar tareas asociadas a los autómatas. Evita una continua supervisión humana.
- **La adquisición de datos de los procesos en observación** Se puede observar mediante herramientas registradoras y valores obtenidos, evaluándolos a posterioridad (los parámetros de velocidad y temperatura de cada máquina de la línea se almacenan para su posterior proceso).
- **La visualización de los estados de las señales del sistema (alarmas y eventos).** Reconocimiento de eventos excepcionales acaecidos en la planta y su inmediata puesta en conocimiento a los operarios para efectuar las acciones correctoras pertinentes. Además, los paneles de alarma pueden exigir alguna acción de reconocimiento por parte del operario, de forma que queden registradas las incidencias. La puesta en marcha o paro de la bomba del pozo aparece en forma de aviso en la pantalla y que en sincronía advierte con un mensaje al celular de los encargados de planta.
- **Garantizar la seguridad en los accesos** Restringiendo zonas de programa comprometidas a usuarios no autorizados, registrando todos los accesos y acciones llevadas a cabo por cualquier operador.
- **Posibilidad de programación numérica** Permite realizar cálculos aritméticos de

elevada resolución sobre la CPU del ordenador (lenguajes de alto nivel, C y Visual Basic, generalmente).(Rodríguez Penin, 2007)

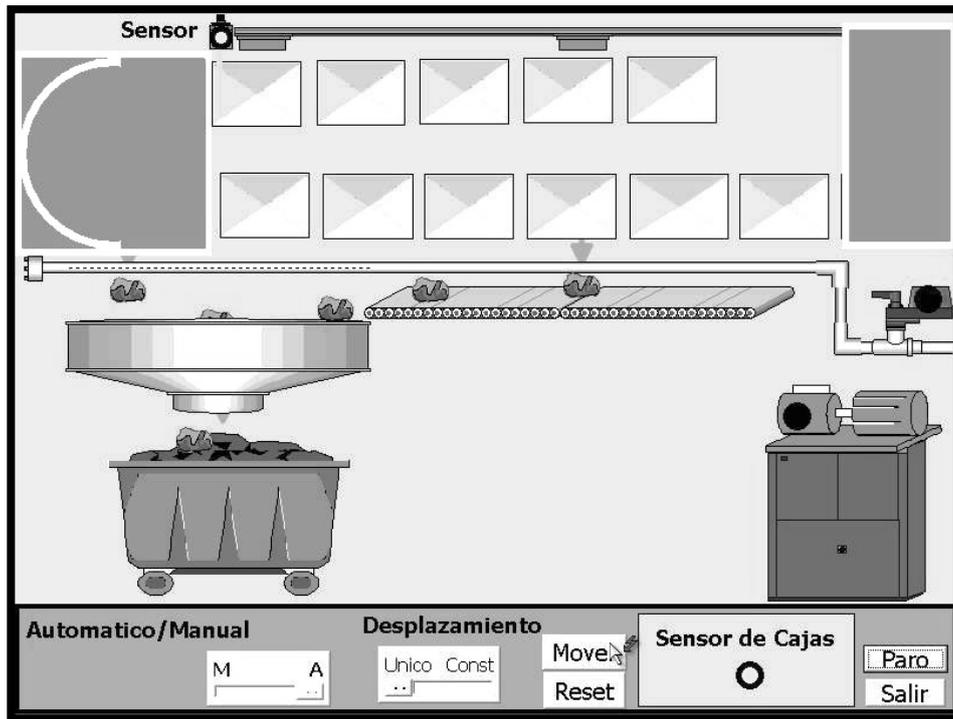


ILUSTRACIÓN 7. EJEMPLO DE CONTROL DE NIVEL EN SIMATIC WINCC

Fuente: (SIMATIC SCADA - El Futuro de la Industria - Siemens)

Soria (2018) Menciona:

Los SCADAS están formados por los siguientes módulos:

- **Módulo de configuración:** Donde el usuario define el entorno de trabajo del SCADA, adaptándolo a la aplicación que desea realizar.
- **Módulo de interfaz gráfica del usuario:** Donde el usuario puede realizar las funciones de control y supervisión de planta.
- **Módulo de proceso:** Realizara las acciones de mando reprogramadas en función de los nuevos valores adquiridos que presenten las variables del proceso.
- **Módulo de gestión y archivos:** Realiza las tareas de almacenar y procesar ordenadamente los datos obtenidos, que quedan disponibles para que cualquier otro dispositivo o aplicación puedan acceder a ellos.
- **Módulo de comunicaciones:** Es el responsable de las transferencias de información

entre el ordenador donde se ejecuta el SCADA y los dispositivos de planta, así como otros equipos de gestión. (p. 146)

3.3.2 COMPONENTES DE HARDWARE SCADA

En un sistema SCADA, como aplicación de software industrial específica, necesita ciertos componentes inherentes de hardware en su sistema, para poder tratar y gestionar la información captada. Dicha composición se puede representar como en la ilustración a continuación.

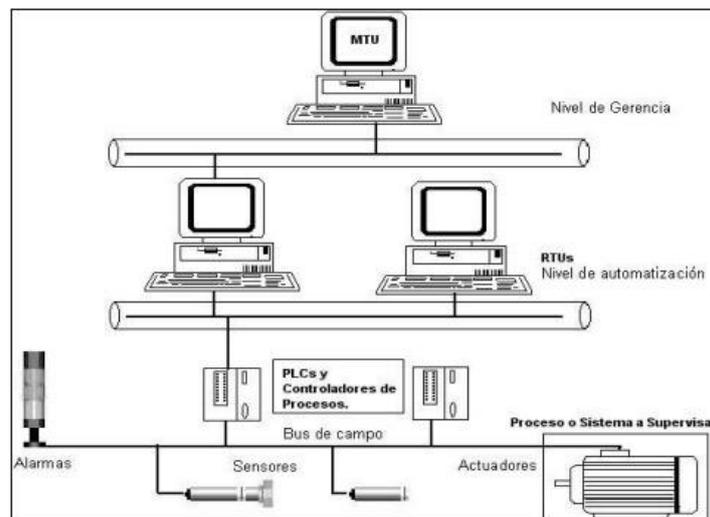


ILUSTRACIÓN 8. ESTRUCTURA BÁSICA DE UN SISTEMA SCADA

Fuente:(Tapia Chicaiza, Tubón Guevara, & Ruiz, 2009)

❖ **Ordenador Central o MTU (Master Terminal Unit):** Se adecúa como el computador principal del sistema el cual recoge y supervisa la información del resto de las subestaciones, bien sean otros ordenadores conectados (en sistemas complejos) a los instrumentos de campo o directamente sobre dichos instrumentos. Este ordenador suele ser un PC, el cual soporta el HMI. De esto se deriva que el sistema SCADA más sencillo es el compuesto por un único ordenador, el cual es el MTU que supervisa toda la estación. Las funciones principales de la MTU son:

- Interroga en forma periódica a las RTU's, y les transmite consignas; siguiendo usualmente un esquema maestro-esclavo.
- Actúa como interfase al operador, incluyendo la presentación de información de variables en tiempo real, la administración de alarmas, y la recolección y presentación de información histórica.

- Puede ejecutar software especializado que cumple funciones específicas asociadas al proceso supervisado por el SCADA.

❖ **Ordenadores Remotos o RTUs (Remote Terminal Unit):** Estos ordenadores están situados en los nodos estratégicos del sistema gestionando y controlando las subestaciones del sistema, reciben las señales de los sensores de campo, y comandan los elementos finales de control ejecutando el software de la aplicación SCADA. (Tapia Chicaiza et al., 2009, p. 98)

Como se representa en la ilustración 8 inferimos que las RTUs se encuentran en el nivel intermedio o de automatización, a un nivel superior está el MTU y a un nivel inferior los múltiples instrumentos de campo que son los que ejercen la automatización física del sistema, control y adquisición de datos.

Los RTU No necesariamente tiene que ser PCs, ya que la necesidad de soportar un HMI no es tan grande a este nivel y suelen ser computadores industriales tipo armarios de control, aunque en sistemas muy complejos puede haber subestaciones intermedias en formato HMI. Una tendencia actual es la de dotar a los PLCs (en función de las E/S a gestionar) con la capacidad de funcionar como RTUs gracias a un nivel de integración mayor y CPUs con mayor potencia de cálculo. Esta solución minimiza costes en sistemas donde las subestaciones no sean muy complejas sustituyendo el ordenador industrial mucho más costoso.

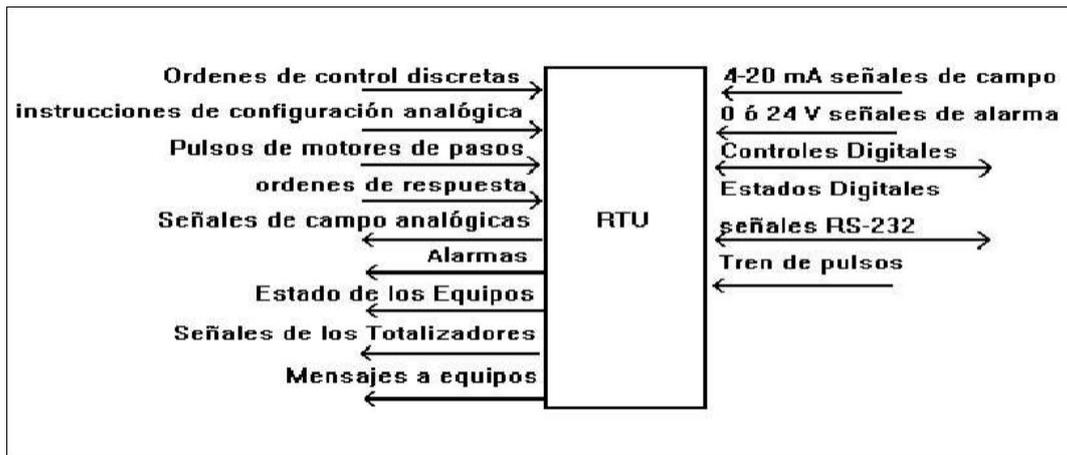


ILUSTRACIÓN 9. FUNCIONES BÁSICAS DEL RTU EN SISTEMAS SCADA

Fuente: (Tapia Chicaiza et al., 2009)

- ❖ **Red de comunicación:** Éste es el nivel que gestiona la información que los instrumentos de campo envían a la red de ordenadores desde el sistema. El tipo de BUS utilizado en las comunicaciones puede ser muy variado según las necesidades del sistema y del software escogido para implementar el sistema SCADA, ya que no todos los softwares (así como los instrumentos de campo como PLCs) pueden trabajar con todos los tipos de BUS.

En la actualidad las estandarizaciones de las comunicaciones con los dispositivos de campo, tiende a ser más accesible para implementar un sistema SCADA sobre prácticamente cualquier tipo de BUS. Sobre formatos estándares como los: RS-232, RS-422 y RS-485

Y mediante el protocolo TCP/IP, pasando por todo tipo de buses de campo industriales, hasta formas más modernas de comunicación como Bluetooth (Bus de Radio), Microondas, Satélite, Cable...

Otra característica de las comunicaciones de un sistema SCADA es que la mayoría se implementan sobre sistemas WAN de comunicaciones, es decir, los distintos terminales RTU pueden estar deslocalizados geográficamente.

- ❖ **Instrumentos de Campo:** Son todos aquellos que permiten tanto realizar la automatización o control del sistema (PLCs, controladores de procesos industriales, y actuadores en general) como los que se encargan de la captación de información del sistema (sensores y alarmas). (Tapia Chicaiza et al., 2009, p. 111)

3.3.3 SOFTWARE DE SCADA

En la industria existen una amplia variedad de herramientas y aplicaciones para el desarrollo de SCADAs. De acuerdo al fabricante de los PLC se opta por el programa correspondiente producido por la misma industria. Las utilidades aumentan considerablemente al utilizar el software correspondiente de los controladores lógicos programables, aunque pueden ser de distintas marcas puesto que con algunos coinciden en el tipo de comunicación, aun así, esta última no es recomendada puesto requiere de un trabajo más prolongado y susceptible a errores.

Rodríguez Penin (2007) Menciona:

Según la importancia del sistema, es posible especializar componentes, realizando tareas exclusivas dentro del sistema de control (servidores de datos, de alarmas, de históricos, de interfase hombre-máquina, etc.). Una vez los datos de planta se han procesado, pueden transferirse a otras aplicaciones de software, tales como hojas de cálculo o bases de datos. Esto es lo que podríamos denominar gestión de datos, que nos permite analizar eventos, alarmas, emergencias, etc., ocurridos durante la producción. (p. 44)

Daneri (2008) Menciona:

Las características y prestaciones propias de un sistema SCADA, internamente para su software deben presentar las siguientes funciones:

- Manejo del soporte o canal de comunicación.
- Manejo de uno o varios protocolos de comunicación (Drive).
- Manejo y actualización de una Base de Datos.
- Administración de alarmas (Eventos).
- Generación de archivos históricos.
- Interfaces con el operador (MMI - Man Machine Inteface).

- Capacidad de programación (Visual Basic, C).
- Transferencia dinámica de datos (DDE).
- Debe tener capacidad para comunicarse con múltiples redes de instrumentos, aun siendo de distinta procedencia y fabricante. (p. 28)

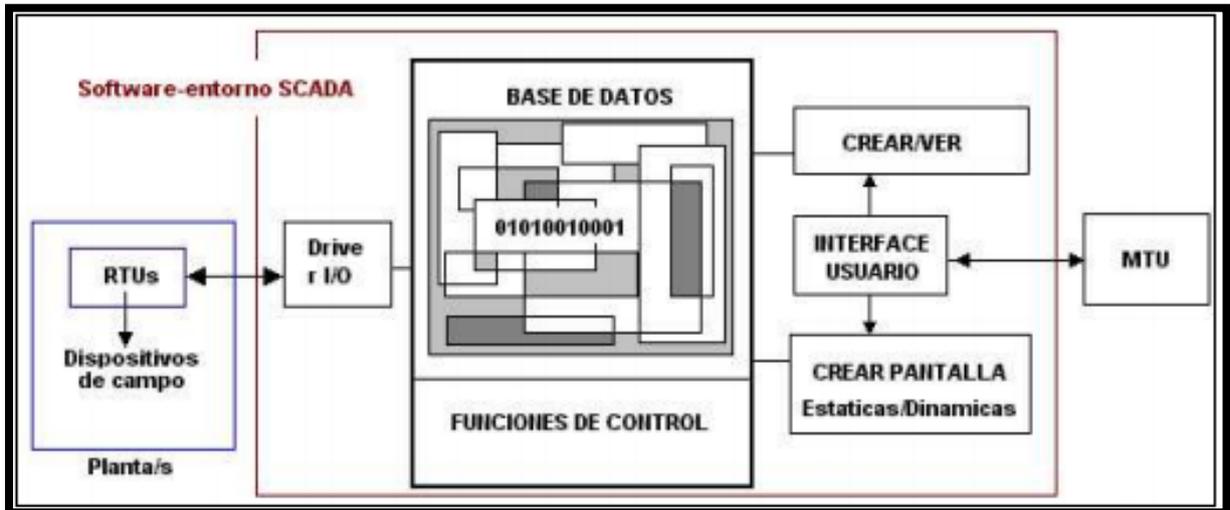


ILUSTRACIÓN 10.CONTEXTO DE UN SOFTWARE SCADA

Fuente:(Daneri, 2008, p. 28)

Para la realización del proyecto se utilizó la interfaz Totally Integrated Automation (TIA) es la plataforma de soluciones continuas de la marca Siemens, para todos los sectores industriales. El programa utilizado para el desarrollo de la SCADA en TIA PORTAL V15, fue el SIMATIC WinCC Advanced.



ILUSTRACIÓN 11. LOGO DE APLICACIÓN DE SIMATIC WINCC

Fuente: (Página Oficial de Siemens)

3.4 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

De todos los dispositivos utilizados para controlar operaciones de manufactura, el controlador lógico programable es uno de los más importantes. Los primeros PLCs fueron introducidos a principios de la década de 1960, principalmente por la industria automotriz. Hasta entonces, el control automático de equipo de manufactura se realizaba con cientos, e incluso miles, de relevadores contenidos en gabinete metálicos.(Wildi, 2007, p. 879)

Para toda invención siempre ha acaecido un predecesor, como ser la necesidad de solventar una dificultad. Esta dificultad para la industria fue la implementación de tecnología que pudiera resolver la demanda de producto y para ello convenía la automatización de procesos que aumentaría la producción e impediría el error humano. Un controlador que pudiera leer y escribir datos de acuerdo con la programación que se le haya instruido. Siendo así el PLC un componente en la industria que logro irrumpir de una manera que el beneficio se limita a nuestra inspiración.

(Daneri, 2008, p. 17)Menciona: "Este programa consiste en una secuencia en instrucciones que el PLC ejecutará en forma repetitiva dándole una funcionalidad específica. Una vez programado, el PLC almacena este programa y no se requiere la conexión de la PC

para su funcionamiento” (p. 17)

Lo anterior aplica para cualquier instrucción una vez realizada y compilada con éxito al PLC. Ejecutándose en un bucle hasta que sea detenido, ya sea por un paro de emergencia o intervenido desde una central de control como ser una HMI o MTU.



ILUSTRACIÓN 12. PLC SIMATIC S7-1200 1214c

Fuente: (Página Oficial de Siemens)

3.4.1 REDES INDUSTRIALES

Las comunicaciones industriales son aquellas que permiten el flujo de información de los controladores a los diferentes dispositivos a lo largo del proceso de producción: detectores, actuadores, sensores entre otros.

Dependiendo del equipo seleccionado su comunicación puede basarse en una conexión de red profibus o profinet, como es el caso de la nueva familia de CPUs de Siemens, en este caso los SIMATIC S7-1200, soportan la comunicación basada en los protocolos TCP/IP, lo que permite conexiones y comunicaciones a alcance para el intercambio de datos a través del programa de usuario con otros interlocutores vía Ethernet.



ILUSTRACIÓN 13. CONEXIÓN PROFINET EN PLC SIEMENS S7-1200

Fuente: (Página Oficial Siemens)

“Mediante la comunicación abierta entre usuarios e instrucciones I/O, el S7-1200 puede comunicarse con otras CPUs, con dispositivos PROFINET I/O (e.g. ET 200 y SINAMICS) y con dispositivos que utilizan protocolos Ethernet Industrial de comunicación estándar TCP”(Martí Prieto & Serrano Sánchez, 2016, p. 233)

Esto significa que, antes de enviar los bloques de datos, dos estaciones establecen una conexión que se volverá a deshacer una vez finalizado el intercambio. TCP dispone de mecanismos para la vigilancia permanente de las conexiones establecidas.

3.4.2 ESTRUCTURA GENERAL DE LOS PLC

El PLC cuenta con lo último en tecnología para acoplarse a las constantes necesidades de las compañías, dicho lo anterior se infiere en que las partes que conforman a un PLC no divergen demasiado de acuerdo con su marca y siempre resultan ser muy similares los equipos como ser módulos u otro tipo de conexiones. Se pueden contextualizar de la siguiente forma.

La parte principal es la denominada "unidad central de procesamiento" o CPU que contiene la parte de procesamiento del controlador y está basada en un microprocesador que permite utilizar aritmética y operaciones lógicas para realizar diferentes funciones. Además, la CPU, testea también frecuentemente el PLC para lograr encontrar errores en su debido tiempo. Los primeros PLCs utilizaron chips que habían sido procesados mediante la técnica denominada "bit-slice", como el AMD2901, 2903, etc.(Wildi, 2007, p. 847)

El siguiente diagrama de flujo muestra los componentes y la estructura de un PLC:

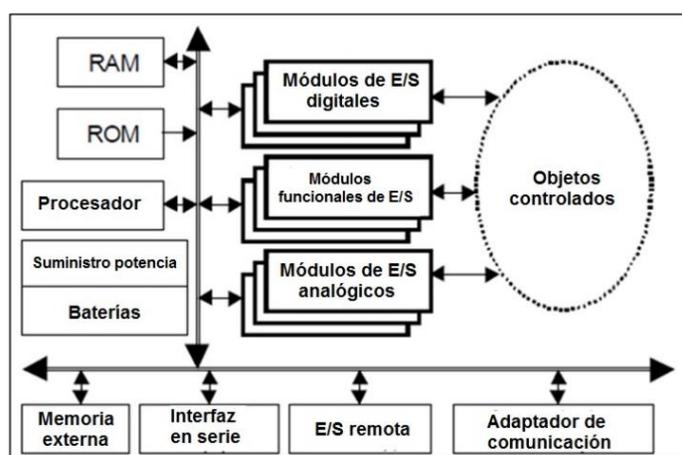


ILUSTRACIÓN 14. DIAGRAMA GENERALIZADO DE UN PLC

Fuente:(Wildi, 2007)

Como se visualiza en la ilustración anterior, para que el sistema opere su ciclo de lectura es necesario un suministro de potencia cuyo propósito principal es garantizar los voltajes de operación internos del controlador y sus bloques.

Los valores más frecuentemente utilizados son:

- $\pm 5V$,
- $\pm 12V$
- $\pm 24V$

De los cuales existen principalmente dos módulos de suministro de potencia:

- Los que utilizan un voltaje de entrada en la red de trabajo
- Los que utilizan suministradores de potencia operacionales para el control de los objetos.

La transferencia de datos o direcciones en los PLCs es posible gracias a cuatro tipos de buses diferentes:

- **Bus de datos**, para la transferencia de datos de los componentes individuales
- **Bus de direcciones**, para aquellas transferencias entre celdas donde se habían guardado datos
- **Bus de control**, para las señales de control de los componentes internos
- **Bus de sistema**, para conectar los puertos con los módulos de E/S.

3.4.3 COMPONENTES DE HARDWARE PLC

Una PLC puede contener un casete con una vía en la que se encuentran diversos tipos de módulos, como puede observarse en la siguiente figura, correspondiente a una PLC de la empresa Siemens:

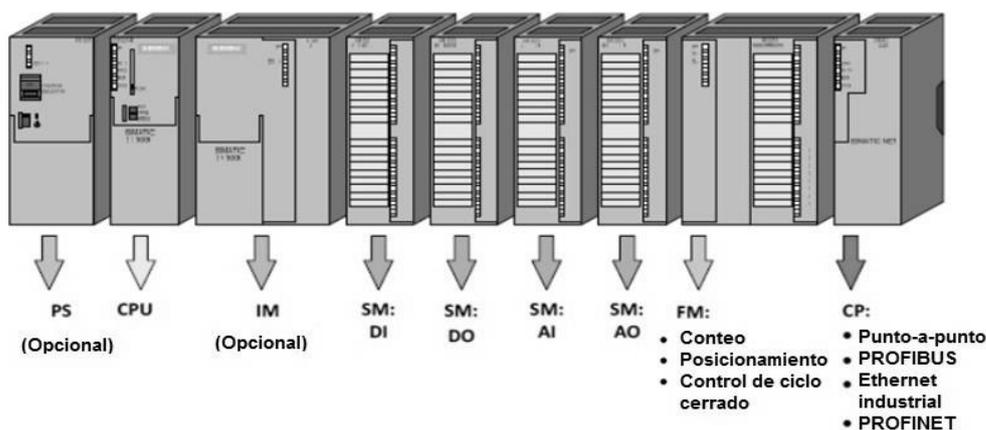


ILUSTRACIÓN 15. ORGANIZACIÓN MODULAR DEL PLC SIEMENS S7-300

Fuente: (Página Oficial de Siemens)

Como puede observarse en la figura, el PLC dispone de módulos que, aunque en este tipo no puede ser intercambiada, esto sí es posible para PLCs de otras compañías. Los módulos más importantes son:

- ❖ **Módulo de interfaz (IM):** Adhiera a los diferentes casetes individuales con un único PLC;
- ❖ **Módulo funcional (FM):** Dependiendo del seleccionado, son módulos tecnológicos de procesamiento complejo en tiempo-crítico de procesos independientes de la CPU.
- ❖ **Módulos de E/S:** son aquellos módulos de señal (SM) que coordinan la entrada y salida de las señales, con aquellas internas del PLC. Estas señales pueden ser digitales (DI, DO) y analógicas (AI, AO), y provienen o van a dispositivos como sensores, interruptores, actuadores, etc.
- ❖ Regulador PID o control de la posición;
- ❖ **Procesador de la comunicación (CP):** conecta el PLC en una red de trabajo industrial, ej. Industrial Ethernet, PROFIBUS, AS – interfaz, conexión serie punto-a-punto;
- ❖ **Interfaz hombre-máquina (HMI):** Son pantallas táctiles de variedad de tamaños, que acceden a funciones principales y pueden ser instaladas en paneles de operaciones donde está al alcance del personal de planta.

Como bien expuesto en lo anterior, este autómatas programables forma parte de la familia de PLC más equipados, siendo este mismo el S7-300 el más básico en cuanto a entradas y salidas. Aun así, el proyecto suscitado fue trascendido en un PLC S7-1200, uno más compacto, más reciente. Aunque la especificación de esta es más limitada, fue proporcional para las dimensiones de lo que se llevó a cabo y en conjunto con los módulos que ofrece la marca SIEMENS, hace más accesibles los proyectos para su elaboración y mucho más económicos, puesto que no se invierte más de lo necesario.

3.4.4 TIPOS DE PLCs

Debido a la gran variedad de tipos distintos de PLC, tanto en sus funciones, en su capacidad, en el número de salidas y entradas, análogas o digitales, en su tamaño de memoria, en su aspecto físico y otros, es que es posible clasificar los distintos tipos en varias categorías:

- 1) **PLC Compactos:** son aquellos que incorporan CPU, módulos de entrada y salida en un único paquete. A menudo existe un número fijo de E/Ss digitales (no mayor a 30), una o dos canales de comunicación (para programar el PLC y la conexión de los buses de campo) y HMI. Además, puede haber una entrada para el contador de alta velocidad y una o dos E/Ss analógicas. Para aumentar el número de las E/Ss de una PLC compacta individual se incrementa (además) los módulos que pueden ser conectados. Estos se colocan en un paquete, similar al del mismo PLC. Estos PLCs de tipo compacto se utilizan en automoción



ILUSTRACIÓN 16. PLC COMPACTOS. FESTO FEC FC660, SIEMENS LOGO, SIMATIC S7-1200.

como substitutos de los relés.

Fuente: (Página Oficial FESTO y SIEMENS)



ILUSTRACIÓN 17. PLC MODULARES. SIEMENS S7-300, ALLENBRADLEY COMPACT LOGIX.

Fuente: (Página Oficial SIEMENS y ALLENBRADLEY)

- 2) **PLC Modular** Es el PLC de mayor capacidad y contiene más funciones que los PLC compactos. La CPU, SM, CP y otros módulos se encuentran generalmente en paquetes separados en un riel DIN o en un riel con una forma especial y que se comunica con la CPU a través de un sistema bus. Tiene un número limitado de lugares para los módulos, pero, en la mayoría de los casos, este puede aumentarse. Además, los PLCs modulares pueden utilizar un elevado número de entradas/salidas, pueden soportar programas más grandes, guardar más datos y operar bajo el modo de multitarea. Normalmente se utilizan para el control, regulación, posicionamiento, procesamiento de datos, manipulación, comunicación, monitorización, servicios-web, etc.
- 3) **PLC de tipo montaje en rack** son aquellos que prácticamente tienen las mismas capacidades y funciones que el PLC modular. Sin embargo, existen algunas diferencias en el bus o en el rack dónde se colocan los módulos del PLC. El rack contiene ranuras para los módulos y un sistema de bus integrado para intercambiar información entre los diferentes módulos. La mayoría de los módulos PLC no tienen sus propias cajas, disponen solamente de un panel frontal con una interfaz-HIM. La ventaja principal es que pueden permitir un intercambio más rápido de los datos entre los módulos y el tiempo de reacción por parte de los módulos es menor. I



ILUSTRACIÓN 18. SIEMENS S7-400

Fuente: (Foro Oficial Siemens)

3.4.5 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

Un PLC funciona cíclicamente, como se generaliza seguidamente:

- 1) En el primer lapso hace un trabajo interno de revisión del PLC de parámetros tales como el diagnóstico, control de memoria etc. Al efectuarse tan rápidamente el usuario no percibe su ejecución.
- 2) Seguidamente ejecuta un reajuste de las entradas si hace falta. Los estados de las entradas de los módulos de señal se leen y convierten en señales digitales o binarias, las mismas que se envían seguidamente a la CPU donde se almacenan en datos de memoria.
- 3) Posteriormente, la CPU ejecuta la programación que se haya realizado. Dichas instrucciones, son interpretadas y ejecutadas secuencialmente en la memoria y producen nuevas señales de salidas.
- 4) Para finalizar el ciclo, se actualizan las salidas y tras la ejecución de la última parte del programa, las señales de salida (binaria, digital o analógica) se remiten a los módulos de señal desde los datos de la memoria. Estas señales son convertidas en las señales apropiadas para las señales de los actuadores. Al finalizar el ciclo, este es repetido nuevamente hasta que se intervenga en su ejecución.

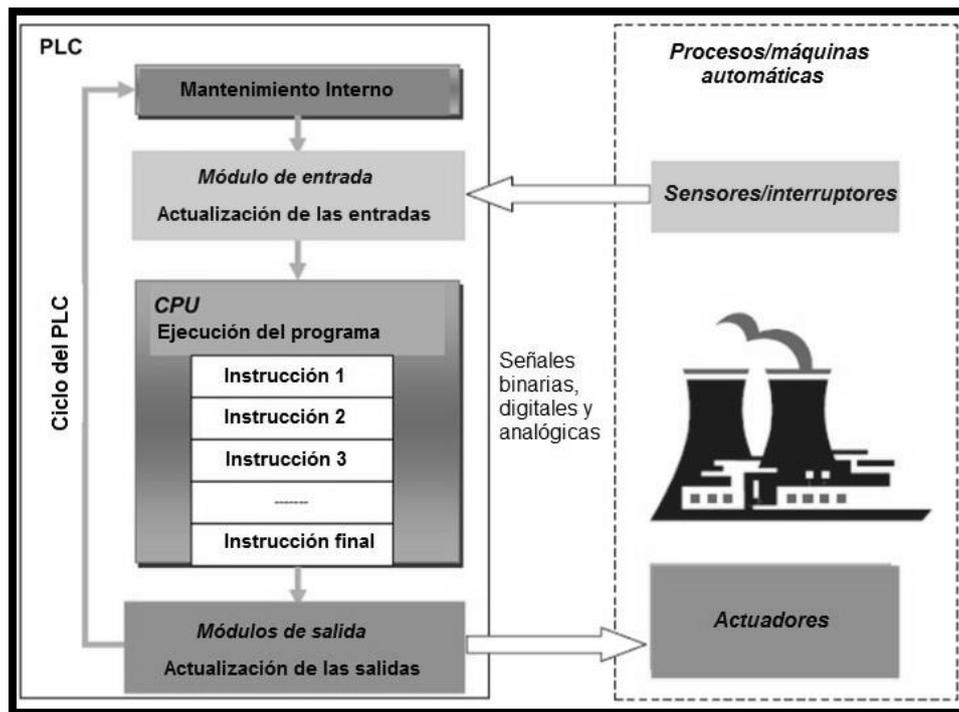


ILUSTRACIÓN 19. CICLO DE OPERACIÓN DE PLC

Fuente: (Foros oficial Siemens)

3.4.6 SIMATIC S7-1200

Este pertenece a la familia de los controladores SIMATIC S7 y es un controlador modular compacto para soluciones de gama baja de automatización.

El SIMATIC s7-1200 es un microprocesador compacto que sustituye a las disposiciones de control de relés y contactores. Además, los controladores SIMATIC s7-200 sustituyen cada vez más a los circuitos electrónicos específicos en aplicaciones de ingeniería mecánica y de sistemas. SIMATIC s7-1200 puede utilizarse como sistema autónomo o en red con otros sistemas de control. Están disponibles varios módulos de ampliación para la conexión a la máquina o instalación. El lenguaje de programación utilizado es STEP 7 Micro. (Berger, 2011, p. 23)

Se trata de un controlador flexible, al ser compacto y modular, además de ser potente, este nos permite controlar pequeños sistemas de automatización que requieren funciones simples o avanzadas de lógica programable y que además son compatibles a futuros cambios o complementación que requieran de pantallas de interfaz de usuario (HMI) o inclusive conectar más PLCs en condición de esclavo. Cuenta con interfaz PROFINET integrada, que es una comunicación TCP/IP sencilla. este proyecto considera este gran potencial como base para crear una aplicación industrial dentro de una red cliente/servidor.

TABLA 3.LINEA DE SINAMIC PLC.



Fuente: (Foro Oficial de Siemens)

Más, sin embargo, existen mayor variedad de PLC y versiones que salen al mercado atreves de los años. Concluyendo, la complejidad del PLC involucra directamente la finalidad para la cual este será utilizado.

IV. METODOLOGÍA

La necesidad de la realización del proyecto surge a raíz de la constante e ineficiente tiempo invertido para encender las bombas que suministran agua de los pozos hacia el tanque y de este hacia la caldera.

La evolución del proyecto se basaría en la estructura de la programación y seguidamente se efectuaría el diseño de la pantalla de SCADA a partir de las variables designadas.

Para que ello convergiese de tal manera se procedió en una investigación empírica y un enfoque claro de lo deseado.

1. Enfoque Cuantitativo. Todos los datos recopilados en la primera visita técnica al cliente permitieron esclarecer el problema y las posibles soluciones.
 2. Enfoque Cualitativo. Se contó durante todo el proceso la ayuda de los técnicos y supervisores, esto debido a que ellos conocían el funcionamiento y procesos de la subestación.
- ❖ Posteriormente con los datos sustraídos de las visitas técnicas y de la información recopilada acerca del proyecto. Se logró iniciar la esquematización de las pantallas de lo que sería el proyecto final.

Grawitz (2000) Menciona: La causa de la multiplicidad de sentidos que se dan al término *método*, reside básicamente, en que se usa para designar diversos procedimientos situados a muy distintos niveles, a diferentes grados de abstracción, o al modo como influyen en las etapas más o menos concretas del proceso de investigación empírica. (p. 331).

El nivel del método o de los métodos no tiene tampoco nada en común con el de las técnicas.

Alonso (1998) Enuncia:

“Entendemos las técnicas como los procedimientos operativos rigurosos, bien definidos, transmisibles y susceptibles de ser aplicados repetidas veces en las mismas condiciones. La elección de las técnicas depende del objetivo buscando y del método de trabajo” (p. 20)

De forma contextualizada acaece en nuestra metodología mediante el análisis correspondiente con respecto a la labor desarrollada describiendo técnicas o procedimientos de investigación llevados a cabo que retroalimenten nuestro conocimiento de factores que indirecta o directamente trastornen el resultado de nuestro cometido.

4.1 VARIABLES DEPENDIENTES

De acuerdo con la investigación de datos sustraídos para el correcto funcionamiento de las calderas y sistemas semejantes para la empresa PRONORSA, se lograron esquematizar las variables de mayor distinción para que los operarios en base a los criterios pertinentes realizaran las permutaciones que conllevaran los procesos suscitados.

Las variables categorizadas como dependientes:

- ❖ La presión interna de la caldera.
- ❖ La temperatura de operación.
- ❖ La velocidad de las bombas hidráulicas.
- ❖ Cantidad de agua en el tanque.
- ❖ La presión del vapor en todo el conducto en la empresa.

4.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables independientes es la variable predictiva o la que se conoce como controlada, desde el punto de vista matemático podemos decir que la variable independiente son los elementos de entrada de la ecuación.

- ❖ La cantidad de bunker y diésel suministrado.
- ❖ La apertura y suministro del blower hacia el interior de la caldera.
- ❖ Abastecimiento de agua constantemente.

4.3 MÉTODO Y ENFOQUE

El Enfoque Sistémico Convergente de la Calidad (ESCC) que se desarrolla propone una metodología sistémica y concurrente que se fundamenta en la gestión del conocimiento de los diferentes enfoques técnicos de la calidad, constituyéndose dicha metodología sistémica en una nueva concepción que le permite a los interesados de la calidad aplicar, construir y desarrollar nuevas metodologías de calidad para su aplicación en las organizaciones de bienes y servicios en los diferentes contextos empresariales.(Fontalvo, 2010, p. 10)

El método aplicado de investigación empírica, con lleva todo un hilo de procedimientos prácticos que en este proyecto se realizaron y con los subsecuentes medios investigativos permitieron revelar las características fundamentales y relaciones esenciales del mismo; que son accesibles a la contemplación sensorial y procede fundamentalmente de la experiencia, el cual es sometido a cierta elaboración racional y expresado en un lenguaje determinado.

Las necesidades de nuestro cliente PRONORSA que en base a la experiencia de los operadores de la sala de caldera fundamentaron los esquemas que luego fueron plasmados de forma específica en la pantalla de la MTU. Como bien dicho con anterioridad, la investigación empírica en base a la observación científica que inicialmente diagnostica el problema y es el mismo de gran utilidad en el diseño del correctivo.

4.4 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

TABLA 4. DESARROLLO LABORAL.

Actividad	Semana									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Visita técnica de Panadería Popular (Copán)										
Comunicación de Lector de Eficiencia LTMR27EFM										
Visita técnica COINSU-GEOPALSA-ALIANZA										
Visita técnica NOVALACE										
Investigación de Campo PRONORSA										
Visita Técnica PRONORSA										
Asistencia en Panel de Control UTH										
Investigación de Equipo WinCC										
SCADA de PRONORSA										
Investigación de comunicación de SENTRON PAC 3100										
Instalación y Puesta en Marcha de SENTRON PAC en BIOSA										
Visita técnica en DELICIA										
Comunicación LOGO! Con modulo CMR2040										
Entrega de Proyecto Final de Comunicación COINSU										

Fuente: (Propia)

V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS

El proyecto desplegado para el control y monitoreo de la sala de calderas de PRONORSA fue realizado a lo largo de un periodo previsto de 2 meses el cual fue suscitado a partir de la metodología de investigación empírica, llevada a cabo a finales del mes de octubre de 2018. Dicho proyecto consistió en la elaboración de un sistema capaz de reflejar los procesos críticos de la caldera y su sistema de bombas. Se contaban con un panel de control que con precedencia AINSA había elaborado para un proyecto en la misma instalación y que con el mismo PLC se disponían de entradas análogas perfectas para acoplar los sensores de presión y de temperatura además de espacio para controladores de accionamiento y motorización de bombas. Subsecuentemente se inició la elaboración de la plataforma en paralelo con la elaboración de comunicación del equipo y de la correcta elección de sensores en cuanto a rangos de lectura y a las especificaciones de la caldera. Junto con el equipo de ingeniería se especificaron las tareas a realizar y seguidamente designaron al grupo correspondiente. La clasificación *in situ* residió en:

- Elaboración esquemática de componentes para la red.
- Preparación, rotulación e instalación de sensores en la caldera.
- Programación de antenas de comunicación (Entre Pozo 9 y Sala de Calderas).

La clasificación *ex situ* extendida en el laboratorio de Ingeniería en AINSA consistió en:

- Programación y elaboración del texto estructurado.
- Diseño y elaboración del sistema SCADA (El cual es sintetizado por este medio).
- Pruebas con equipo de mismas especificaciones instaladas en el lugar de ejecución.

Las pruebas que como se menciona anteriormente son expuestas en el lugar de trabajo con equipo de la misma índole instalada, y que con esto se prevén errores o posibles complicaciones en el lugar de instalación. Para la prueba de puesta en marcha sin las bombas instaladas se utilizó el activado de contactores que simulaban ser las mismas.

En la fase II del proyecto se prevé el resultado y obtención de datos que comparta el cliente, es decir la evaluación de dicho proyecto y la comparación del antes y después de lo elaborado. De esta manera se enfoca en la satisfacción del cliente que de manera crítica justifica el desempeño para la consideración de trabajos o servicios a efectuar en el futuro.

Se espera que con lo logrado hasta el momento el proceso de control y monitorización se optimice a tal punto que facilite al operario, los procesos para el cual dicha aplicación fue instalada.

5.1.1 SENSORES DE LECTURA

Para poder exponer la temperatura de la caldera se necesitaría implementar un sensor análogo de temperatura como su nombre lo indicaba. Es así que mediante los rangos de temperatura de operación de la caldera se optó por el sensor PT100 con cabezal de conexión, el rango más habitual abarca desde -50°C a los 400°C .

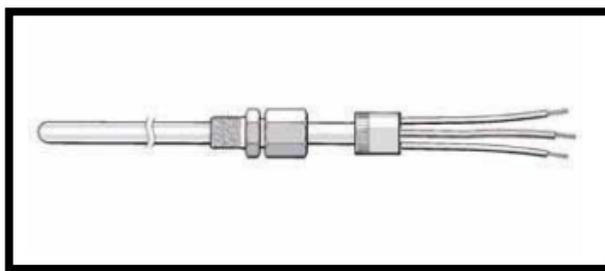


ILUSTRACIÓN 20. SONDAS RTD DE AISLAMIENTO MINERAL

Fuente: (SRC sensores PT100, 2010)



ILUSTRACIÓN 21. SENSOR DE PRESIÓN PT100.

Fuente: (Elaboración Propia)

Para la obtención de la señal de presión tanto en la caldera como en el contenedor del bunker, fue precisa la adquisición de un sensor analógico de presión en un rango de 0 a 10 bar, que mediante un escalado y normalizado en la programación se obtendría la tolerancia conmensurable para el proyecto.



ILUSTRACIÓN 22. SENSOR DE PRESIÓN 0 A 10 BAR.

Fuente: (Elaboración Propia)

5.2 RESULTADOS

5.2.1. INTERFAZ DE LA SCADA

El resultado devengado a través de la planificación resulto tal como lo esperábamos. La aplicación satisfacía las necesidades para la cual fue desarrollada y también los requisitos que requerían para el control completo de la caldera y de las operaciones de las bombas y demás anexos que se hicieron, como la integración de envío de mensajes mediante el módulo GSM, la ignición de bombas, estados de operación y demás datos de interés. Cabe destacar que el alcance propuesto al inicio residía el control de caldera y sistemas contra incendios, además del control del POZO 9, sin embargo, el cliente a medida que suscitaba el proyecto decidió agregar más control sobre su planta mediante la plataforma.

Seguidamente se detallará la interfaz de cada ventana que se creó con el programa de TIA PORTAL V15 de Simatic WinCC.

5.2.1.1. PANTALLA PRINCIPAL



ILUSTRACIÓN 23. PANTALLA DE SCADA, INICIO.

Fuente:(Elaboración Propia)

Esta es la pantalla principal y es donde el usuario tendrá el acceso para supervisar y controlar los procesos requeridos desde la Sala de Calderas. Cada uno de los recuadros son ventanillas que nos brindan acceso a distintas pantallas de la aplicación. Compuesta en el orden de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo tenemos; la Alimentación de la Caldera, las Bombas del Bunker, La Caldera CB-600 como tal, Consumo del Pozo 9, Gráfico de PID y sus Usuarios y para finalizar el nivel del Pozo 9 y el estado de Sistema Contra Incendios.

5.2.1.2. PANTALLA DE ALIMENTACIÓN DE CALDERA CB-600



ILUSTRACIÓN 24. PANTALLA DE SCADA, ALIMENTACIÓN CALDERA CB-600

Fuente:(Elaboración Propia)

La pantalla anterior esta exclusivamente diseñada para seleccionar la bomba que se suplirá del combustible principal, en este caso el Bunker, para quemar posteriormente en la caldera. En esta pantalla se visualizará la bomba que está en funcionamiento. Además una de ella será activada con un solenoide al suministrarle corriente, será accionada cuando el sensor de flote sea activado debido a la ausencia de combustible para quemar en la caldera.

5.2.1.3. PANTALLA DE BOMBAS BUNKER

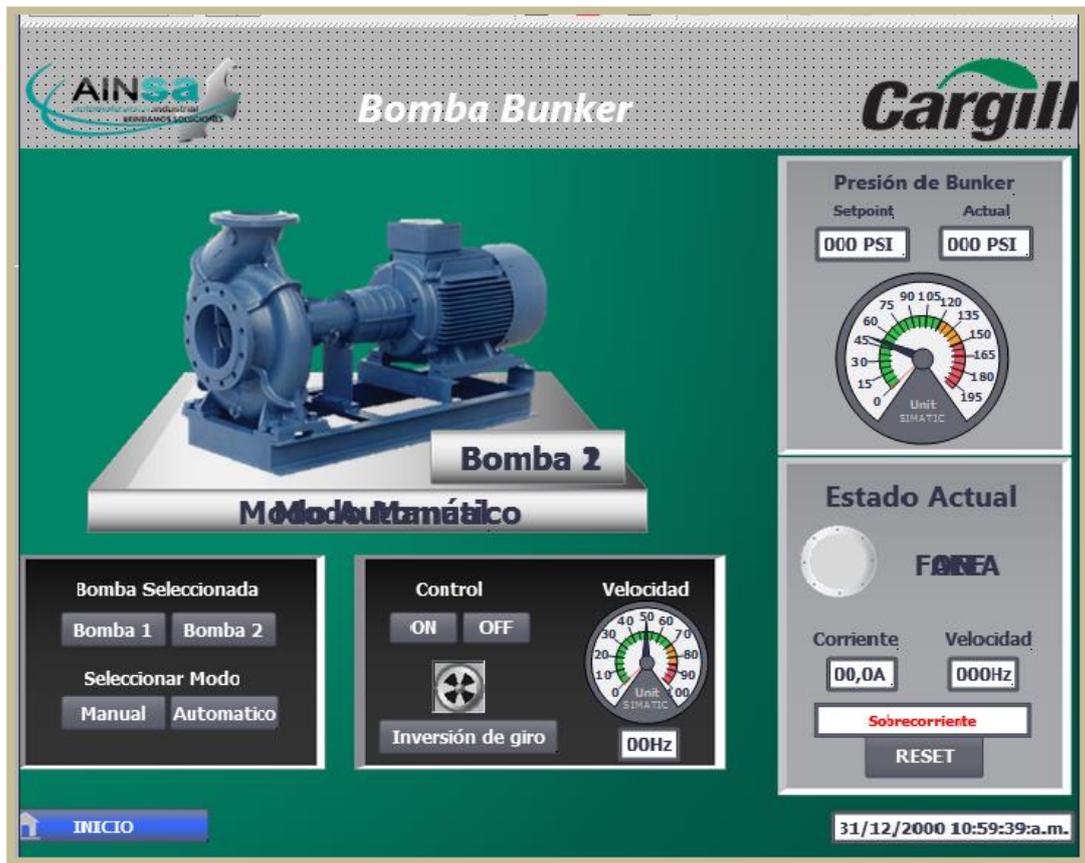


ILUSTRACIÓN 25. PANTALLA DE SCADA, BOMBAS 1 Y 2 DE BUNKER.

Fuente:(Elaboración Propia)

Esta pantalla está diseñada para ver a profundidad y detalle las presiones, velocidades, estado a la que estará en funcionamiento cada bomba. Cada bomba se puede pasar de un estado manual a un estado automático mediante la selección de la misma. Es aquí donde también se retroalimenta el operador sobre el estado de las bombas, de esta manera se pueden realizar acertadamente los mantenimientos preventivos al ver el estado en que se desempeña cada bomba.

5.2.1.4. PANTALLA DE CALDERA CB-600



ILUSTRACIÓN 26. PANTALLA DE SCADA, CALDERA CB-600

Fuente:(Elaboración Propia)

El diseño y objetivo principal de la interfaz expuesta era la monitorización de los subprocesos para la generación de vapor que subsecuentemente sería utilizado internamente en la planta. En esta podemos visualizar la temperatura interna de la caldera, estará regulada para que de esta forma la caldera no queme en exceso combustible y esta produzca un vapor sobrecalentado, más bien se busca la producción de vapor saturado o húmedo ya que el área de transferencia de calor requerida es menor, permitiendo la reducción del costo inicial del equipo.

5.2.1.5. PANTALLA DE CONSUMO DE BOMBA, POZO 9

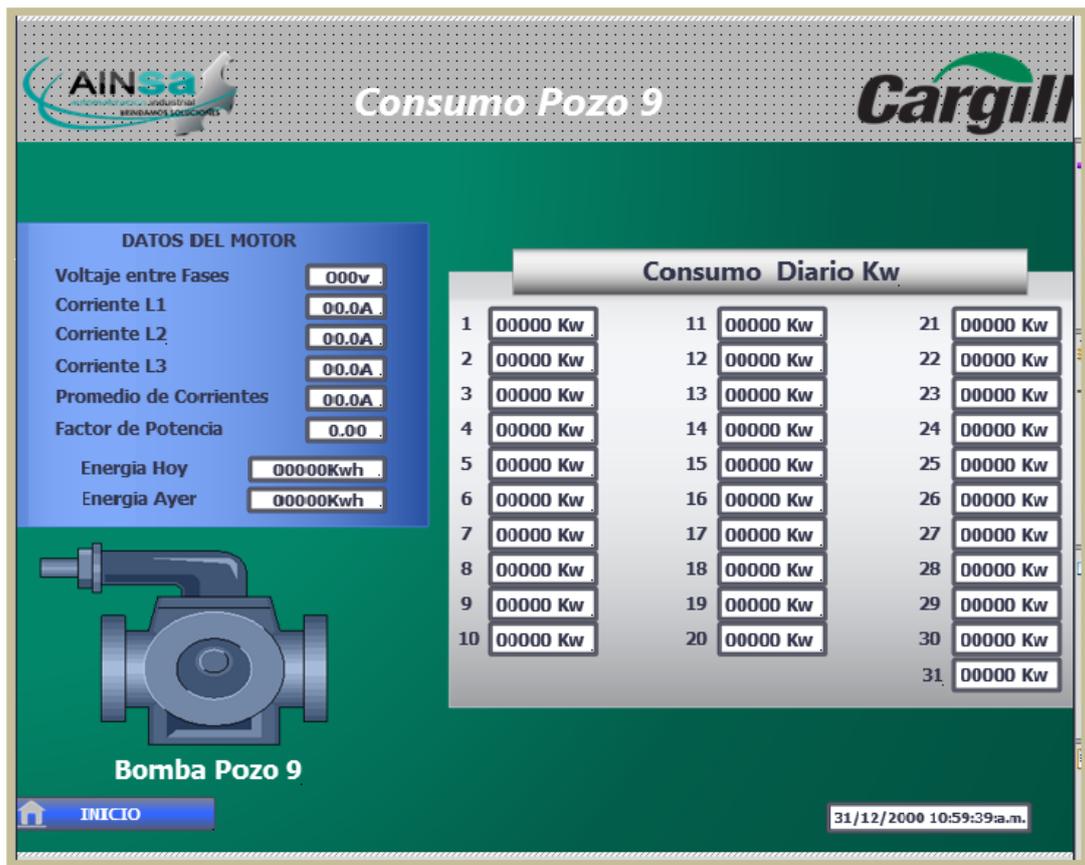


ILUSTRACIÓN 27. PANTALLA DE SCADA, CONSUMO DE POZO 9

Fuente:(Elaboración Propia)

La pantalla de consumo como su nombre lo indica es la representación de los kW consumidos en el mes, dicho consumo requerido por los operadores para una correcta supervisión y la elaboración de antecedentes históricos sobre esta bomba. Esta medición es interpretada por un SIMOCODE que es un medidor de eficiencia de la familia de componentes de SIEMENS. Dicha base de datos mensual se reinicia al finalizar cada mes.

5.2.1.6. PANTALLA DE GRÁFICO PID Y USUARIOS

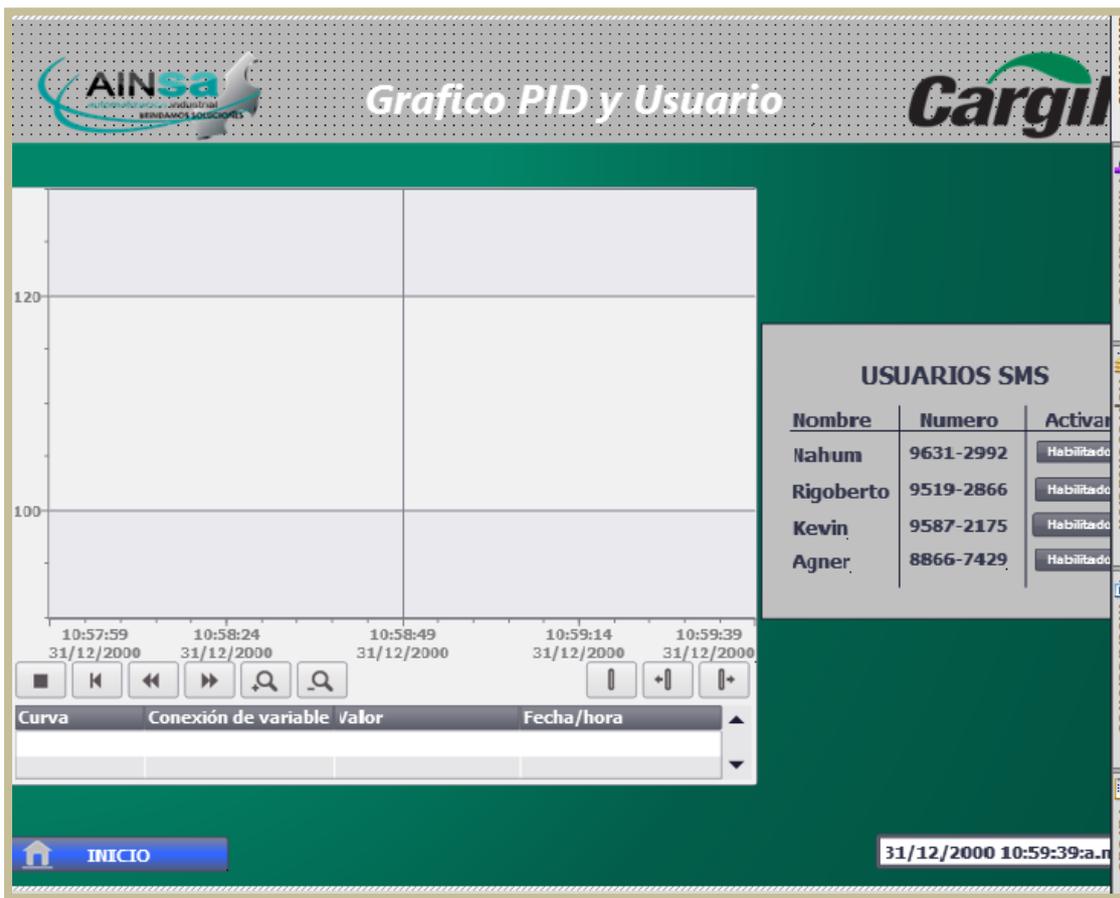


ILUSTRACIÓN 28. PANTALLA DE SCADA, GRAFICO PID Y USUARIOS DE MENSAJERÍA.

Fuente:(Elaboración Propia)

Esta pantalla tiene 2 funciones como finalidad, la primera despliega la información graficada obtenida del PID a lo largo del tiempo de ejecución y la segunda que activa o desactiva la mensajería a los encargados y envía el estado de operación de la bomba también si existe un error en su funcionamiento. Dicho sistema fue solicitado por el cliente mientras el proyecto estaba en curso.

5.2.1.7. PANTALLA DE PRINCIPAL DE POZO#9 Y SISTEMA CONTRA INCENDIOS.

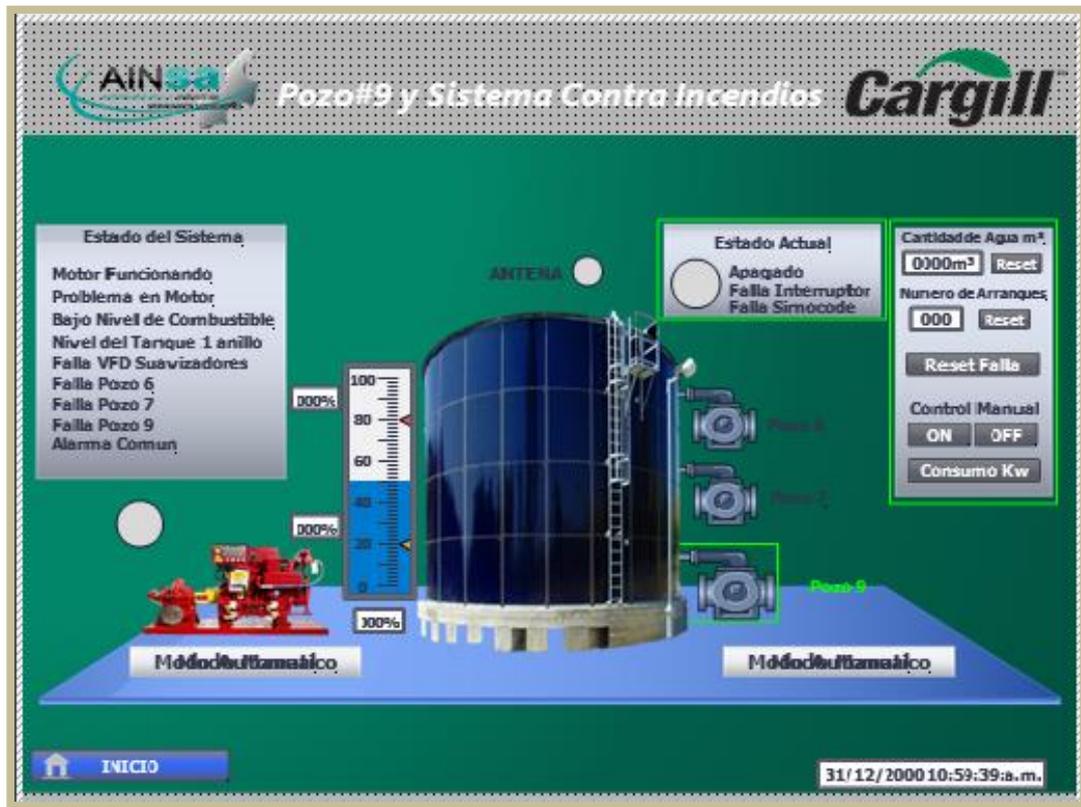


ILUSTRACIÓN 29. PANTALLA DE SCADA, POZO 9 Y SISTEMA CONTRA INCENDIOS.

Fuente:(Elaboración Propia)

En esta última ventana se visualizan la cantidad de agua que tiene el tanque de reserva de agua que luego diseminara la misma a las tuberías correspondientes. En esta también se podrá reconocer de que pozo se subtrae el fluido siendo la bomba del pozo 6 y 7 activadas de forma manual y la bomba 9 debido a que está ubicada fuera de las instalaciones de PRONORSA la única que puede ser activada desde la SCADA. Desde aquí también el operador de turno podrá ver el estado del sistema de protección contra incendios y el modo de su operación. Esta última será activada en modo manual para la supervisión de la presión en toda la tubería que usualmente hacen los domingos.

VI. CONCLUSIONES

Zapata (2005) afirma: "La coherencia de todo el trabajo se configura con las conclusiones e informan de la respuesta que se logró en relación con el problema planteado." (p. 246).

Basados en el enunciado anterior podemos a la vez exponer la derivación del proyecto aplicado para concebir que el alcance del mismo fue culminado. De los objetivos propuestos se sintetiza lo siguiente:

- De acuerdo a la adaptabilidad que expresaron los operarios tras la primera semana de prueba se dedujo que el sistema desarrollado, captó todas las necesidades del cliente para el correcto funcionamiento operativo de la sala de calderas además se provee un servicio de soporte en caso de ser requerido.
- El facilitar la interfaz de la SCADA exponiendo eventos de la subestación, además de permitir gestionar procesos para conducir una situación específica de acuerdo a la retroalimentación recibida, podemos sintetizar que incurre en un mejoramiento del tiempo requerido para el control en la sala de calderas comparándolos con anterioridad.
- Al integrar la recolección de datos del consumo energético de la bomba del pozo número 9 para la evaluación mensual de su eficiencia se prolonga la vida útil del mismo puesto permite ver el desempeño a través de un periodo de tiempo y así se programan mantenimientos preventivos.

VII. RECOMENDACIONES

7.1 PARA LA EMPRESA

El trabajo elaborado fue dirigido por la empresa AINSA, para implementarse en PRONORSA de Grupo CARGILL. Bajo la supervisión del departamento de ingeniería y ejecutado bajo las exigencias y necesidades del cliente. Consecutivamente se detallarán las recomendaciones para la empresa.

- Para proyectos de tal magnitud como lo fue éste, siempre se desea que haya una mejora continua de la misma; por lo tanto se recomienda el seguimiento de las necesidades que presente el cliente con respecto a lo instalado , para que el equipo de ventas ofrezca la complementación de elementos que se crean necesarios para su implementación en el sistema como ser de ejemplo el control y recolección de consumo de las bombas del pozo 6 y 7 que abastecen el agua utilizado en la planta y poder realizar posteriormente comparaciones entre los resultados devueltos por estas.
- Otra recomendación sería la inclusión de un catálogo de proyectos para la demostración de estos a empresas de trabajo similar para mostrar la disposición y mejoramiento que conllevaron y mostrar el alcance del proyecto, tiempos y costos, aunque este último siempre diferirá puesto a que las necesidades del cliente siempre serán una aproximación. Dicho lo anterior se podrá licitar con mayor fluidez con respecto a la competencia.

7.2 PARA LA UNIVERSIDAD

En primera instancia dar reconocimiento de la excelente labor de las directrices encargadas de la implementación para con las herramientas e instrumentación de las que se ha hecho acreedor la universidad para la implementación en los laboratorios y clases de la carrera de mecatrónica y poder por ello profundizar en el campo investigativo con propósito didáctico.

- Expandir el uso de aplicaciones de base de datos y de los más significativos en el mercado para tener una idea de la importancia y la creciente demanda que presentan en la actualidad dichos programas.
- Se instiga a la universidad a impartir programas o laboratorios que conlleven el uso de aplicativos de programación de PLCs de las marcas más utilizadas en el mercado actual como ser de la familia SIEMENS, OMRON, etc.
- Profundizar y adquirir diversos sensores como ser capacitivos, inductivos, de fibra óptica, de barrera, difusos, reflectivos, etc. Todo ello para estar al tanto de las capacidades y o maneras de solventar una aplicación en el campo laboral.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alba G., M., Martínez S., D., & Sandoval C., A. (1999). *Análisis de riesgos del tratamiento del agua para calderas*. México, D.F., MEXICO: Plaza y Valdés, S.A. de C.V. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3216056>
2. Alonso, J. A. (1998). *Metodología*. Editorial Limusa.
3. Berger, H. (2011). *Automating with SIMATIC: Controllers, Software, Programming, Data Communication Operator Control and Process Monitoring*. John Wiley & Sons.
4. Daneri, P. A. (2008). *PLC: automatización y control industrial*. Buenos Aires, ARGENTINA: Editorial Hispano Americana HASA.
5. Entrena González, F. J. (2013). *Eficiencia energética en las instalaciones de calefacción y ACS en los edificios (UF0565)*. Málaga, SPAIN: IC Editorial. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtual-ebooks/detail.action?docID=4507786>
6. Esquema Caldera Piro tubular. (s. f.). Recuperado 15 de noviembre de 2018, de <http://www.industriaminera.cl/producto/energias-industriales-esquema-caldera-piro tubular/>
7. Flórez Malagón, A. (2008). *El poder de la carne: historias de ganaderías en la primera mitad del siglo XX en Colombia*. Bogotá, COLOMBIA: Editorial Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3218154>
8. Fontalvo, T. (2010). *El método: enfoque sistémico convergente de la calidad: E.S.C.C.* Bogotá, COLOMBIA: Corporación para la gestión del conocimiento ASD 2000.

- Recuperado de
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3188066>
9. García, R. (2001). *COMBUSTION Y COMBUSTIBLES* (p. 23). Costa Rica: UPC.
10. Grawitz, M. (2000). *Méthodes des sciences sociales* (Dalloz). 11 edition.
11. Illán Gómez, F. (2015). *Eficiencia energética en las instalaciones de calefacción y ACS en los edificios: UF0565*. Madrid, SPAIN: Cano Pina. Recuperado de
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4310296>
12. La conducción del calor. Ley de Fourier. (s. f.). Recuperado 16 de noviembre de 2018, de
http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica_/transporte/cond_calor/conduccion/conduccion.html
13. Lutech, L. (2009). Energía térmica. Recuperado de
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3180288>
14. Martí Prieto, J. M., & Serrano Sánchez, R. (2016). *MF0822_2 Instalaciones eléctricas automatizadas e instalaciones de automatismos*. Barcelona, UNKNOWN: Cano Pina. Recuperado de
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=5307389>
15. Montes Pita, M. J., Muñoz Domínguez, M., & Rovira de Antonio, A. (2014). *Ingeniería térmica*. Madrid, SPAIN: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado de
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtual-ebooks/detail.action?docID=3226895>
16. Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna* (5 Edición). Madrid, SPAIN: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.

17. Palacios, L. (2016). *Ingeniería de métodos: movimientos y tiempos (2a. ed.)*. Bogotá, COLOMBIA: Ecoe Ediciones. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4870547>
18. Rodríguez Penin, A. (2007). *Sistemas SCADA (2a. ed.)*. Barcelona, SPAIN: Marcombo. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3175459>
19. SIMATIC SCADA - El Futuro de la Industria - Siemens. (s. f.). [WCMS3PortletPage]. Recuperado 21 de noviembre de 2018, de <http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/hmi/pages/scada.aspx>
20. Soria, F. M. A. (2018). *Puesta en marcha de sistemas de automatización industrial. ELEM0311*. IC Editorial.
21. Tapia Chicaiza, J. M., Tubón Guevarra, J. P., & Ruiz, C. (2009). *Automatización de la central de generación Cuyabeno de petroproducción mediante la implementación de un sistema SCADA*. La Habana, CUBA: B - Escuela Politécnica Nacional. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3201701>
22. Tubbs, S. P. (2016). *Programmable Logic Controller (Plc) Tutorial, Siemens Simatic S7-1200*. Stephen P. Tubbs.
23. Villarreal de la Garza, S. (2007). *Introducción a la computación: teoría y manejo de paquetes (2a. ed.)*. Distrito Federal, UNKNOWN: McGraw-Hill Interamericana. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/laureatemhe/detail.action?docID=4676078>
24. Wildi, T. (2007). *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia*. Pearson Educación.

25. Zapata, O. A. (2005). *Herramientas para elaborar tesis e investigaciones socioeducativas*. Editorial Pax México.

IX. ANEXOS

ANEXO 1. CONTENEDOR DE BUNKER EN PRONORSA



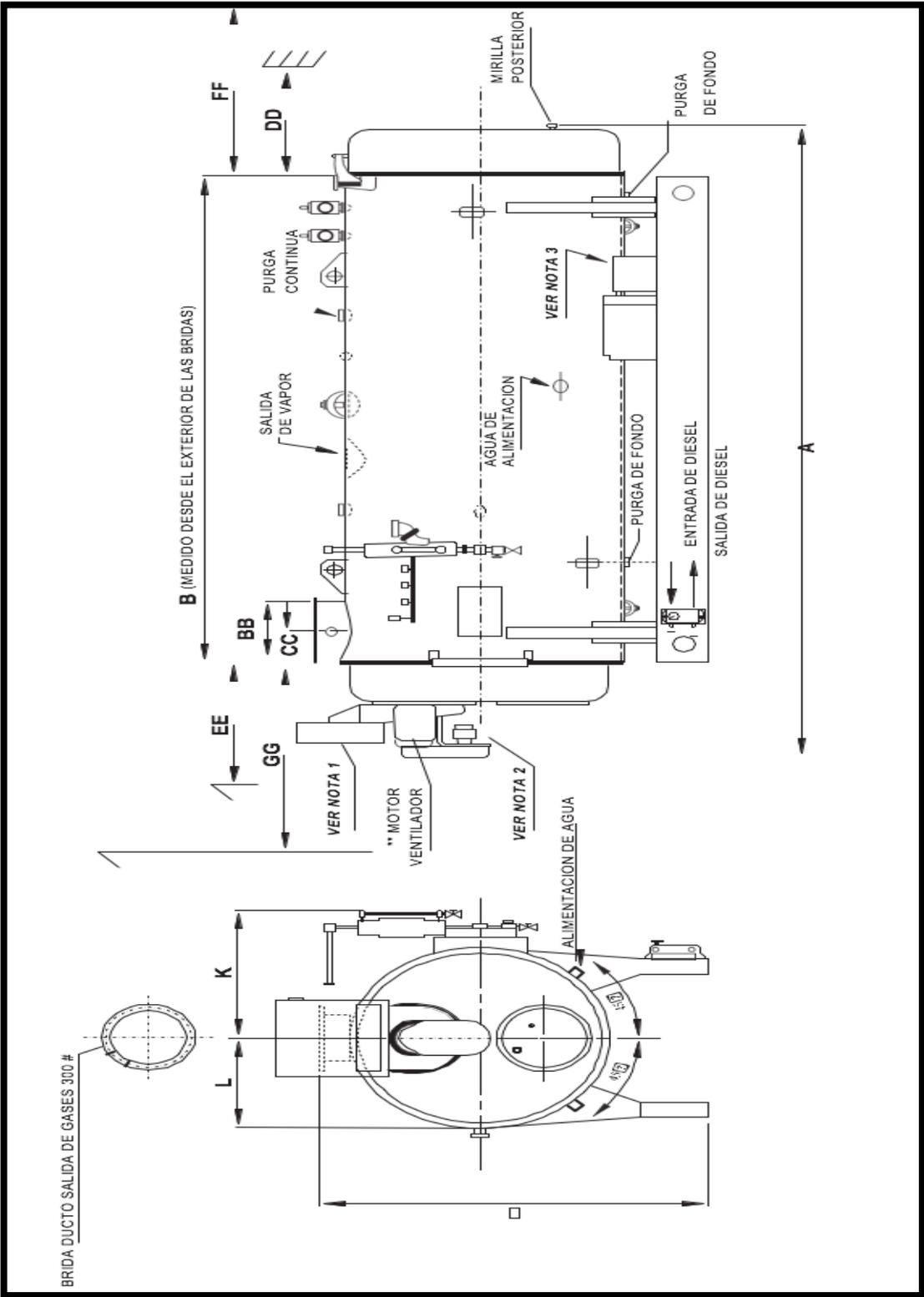
Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 2. ANTENA DE COMUNICACIÓN CONTIGUO A SALA DE CALDERAS.



Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXOS 2. PLANOS DE CALDERA CB-600 CC.



Fuente: (Catálogo Clever Brooks,2002

ANEXO 3. SALA DE CALDERAS DE PRONORSA.



Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 4. INTERIOR DE CALDERA PIROTUBULAR



Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 5. CALDERA CB-600 CLEAVER BROOKS



Fuente: (Elaboración Propia)