



**Universidad Técnica
Latinoamericana**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**“DISEÑO Y ELABORACIÓN DE SIMULADOR PARA ETAPAS DE OPERACIÓN DE
CENTRALES GEOTÉRMICAS”**

**PARA OPTAR AL GRADO DE:
INGENIERO/A ELECTRICISTA**

PRESENTADO POR:

Téc. Dinora Esther Reyes Segovia.
Téc. Carlos Mauricio Argueta Argueta.
Téc. Douglas Enrique Ortiz Clemente.

SANTA TECLA, FEBRERO 2025



AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

ING. ROSENDO MAURICIO SERMEÑO PALACIOS
RECTOR

ING. FRANCISCO ALFREDO CARRILLO LARREYNAGA
VICE-RECTOR

ING. ROOSELVET ADOLFO OSORIO
SECRETARIO GENERAL

LIC. CARLOS ALBERTO COCA MUÑOZ
FISCAL

ING. MAURICIO ANTONIO AGUIRRE ORELLANA
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ING. RENÉ EDUARDO CUÉLLAR FIGUEROA
DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

SANTA TECLA, FEBRERO 2025



ASESOR DE DOCUMENTO DE TESIS:
ING. JOSE ALFONSO ORTIZ QUINTANILLA

JURADO EVALUADOR:
ING. JOSE WILFREDO MARTINEZ LOPEZ
ING. LUIS ALBERTO MORALES HERNANDEZ
ING. RENÉ EDUARDO CUÉLLAR FIGUEROA

SANTA TECLA, OCTUBRE 2025

UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA

ACTA DE CALIFICACIÓN DE
DEFENSA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

No. TRES MIL QUINIENTOS SETENTA Y SEIS

A las diecisiete y treinta minutos del miércoles diez de diciembre de dos mil veinticinco. Reunidos los Miembros del Tribunal Examinador del Trabajo de Graduación presentado por DINORA ESTHER REYES SEGOVIA en el salón de sesiones de la UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA. Se procedió:

PRIMERO: Que habiendo analizado el Trabajo de Graduación titulado:

DISEÑO Y ELABORACIÓN DE SIMULADOR PARA ETAPAS DE OPERACIÓN DE CENTRALES GEOTÉRMICAS

SEGUNDO: Que, con base a dicha aprobación de la parte escrita, se procedió a instalar la respectiva defensa oral del trabajo.

De conformidad a los resultados en dicha defensa, este Tribunal Examinador acuerda dar por APROBADA, con una calificación de OCHO PUNTO CERO (8.0), el Trabajo de Graduación presentado por la alumna arriba detallada obteniendo a partir de esta fecha su calidad de: INGENIERA ELECTRICISTA

No habiendo más que hacer constar, damos por terminada el acta que firmamos.



ING. JOSE WILFREDO MARTINEZ LOPEZ



ING. LUIS ALBERTO MORALES HERNANDEZ



ING. RENE EDUARDO CUELLAR FIGUEROA



ING. ROOSELVEY ADOLFO OSORIO
SECRETARIO GENERAL



UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA

ACTA DE CALIFICACIÓN DE
DEFENSA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

No. TRES MIL QUINIENTOS SETENTA Y SIETE

A las diecisiete y treinta minutos del miércoles diez de diciembre de dos mil veinticinco. Reunidos los Miembros del Tribunal Examinador del Trabajo de Graduación presentado por CARLOS MAURICIO ARGUETA ARGUETA en el salón de sesiones de la UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA. Se procedió:

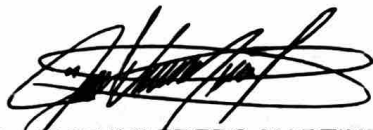
PRIMERO: Que habiendo analizado el Trabajo de Graduación titulado:

**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE SIMULADOR PARA ETAPAS DE OPERACIÓN
DE CENTRALES GEOTÉRMICAS**

SEGUNDO: Que, con base a dicha aprobación de la parte escrita, se procedió a instalar la respectiva defensa oral del trabajo.

De conformidad a los resultados en dicha defensa, este Tribunal Examinador acuerda dar por APROBADA, con una calificación de OCHO PUNTO CERO (8.0), el Trabajo de Graduación presentado por la alumna arriba detallada obteniendo a partir de esta fecha su calidad de: INGENIERO ELECTRICISTA

No habiendo más que hacer constar, damos por terminada el acta que firmamos.



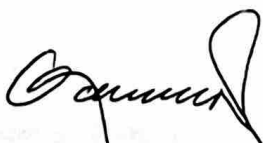
ING. JOSE WILFREDO MARTINEZ LOPEZ



ING. LUIS ALBERTO MORALES HERNANDEZ



ING. RENE EDUARDO CUELLAR FIGUEROA



ING. ROOSELVET ADOLFO OSORIO
SECRETARIO GENERAL



UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA

ACTA DE CALIFICACIÓN DE
DEFENSA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

No. TRES MIL QUINIENTOS SETENTA Y OCHO

A las diecisiete y treinta minutos del miércoles diez de diciembre de dos mil veinticinco. Reunidos los Miembros del Tribunal Examinador del Trabajo de Graduación presentado por DOUGLAS ENRIQUE ÓRTIZ CLEMENTE en el salón de sesiones de la UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA. Se procedió:

PRIMERO: Que habiendo analizado el Trabajo de Graduación titulado:

**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE SIMULADOR PARA ETAPAS DE OPERACIÓN
DE CENTRALES GEOTÉRMICAS**

SEGUNDO: Que, con base a dicha aprobación de la parte escrita, se procedió a instalar la respectiva defensa oral del trabajo.

De conformidad a los resultados en dicha defensa, este Tribunal Examinador acuerda dar por APROBADA, con una calificación de SIETE PUNTO UNO (7.1), el Trabajo de Graduación presentado por la alumna arriba detallada obteniendo a partir de esta fecha su calidad de: INGENIERO ELECTRICISTA

No habiendo más que hacer constar, damos por terminada el acta que firmamos.



ING. JOSE WILFREDO MARTINEZ LOPEZ



ING. LUIS ALBERTO MORALES HERNANDEZ



ING. RENE EDUARDO CUELLAR FIGUEROA



ING. ROOSELVEY ADOLFO OSORIO
SECRETARIO GENERAL



AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar agradezco a Dios todo poderoso, por permitirme finalizar este proyecto en el tiempo propuesto, también a mi familia por el apoyo moral e incondicional en todo momento, a las personas que directa e indirectamente estuvieron apoyando para la pronta realización de este proyecto de graduación, tales como: El ingeniero Mauricio Pérez que dio su aporte operativo y técnico para poder finalizar con éxito los últimos temas; también al ingeniero Fredy Agreda que no dudo en brindarnos su experiencia en sistemas de programación y compartió mucho conocimiento sobre programación de PLC e interacción HMI, al ingeniero asesor ing. José Alfonso Ortiz por apoyarnos y orientarnos para finalizar con éxito y con las mínimas o nulos errores en los temas desarrollados, a la escuela de ingeniería y a todos los docentes que en el largo y algunas veces difícil periodo de estudio ayudaron a llegar hasta aquí.

Gracias a todos ellos por ayudarme a concluir una etapa maravillosa de mi vida e hicieron posible este sueño.

Dinora Esther Reyes Segovia.

AGRADECIMIENTO.

En la vida hay varios caminos que una persona puede elegir, pero ¿cuál es el camino correcto?, nuestro Dios creador es el que lo sabe y nos guía, el más alto agradecimiento es para él, sin él no habría llegado a este punto de mi vida profesional y familiar, agradezco a nuestra madre del cielo por su intercesión.

Agradezco a mi esposa la que ha estado a mi lado en cada paso de este camino, ha sido difícil no solo para mí, sino también para ella y los dos nos hemos apoyado para seguir adelante.

Agradezco a mi madre y hermanos que me han dado ánimos y apoyo en el estudio.

Agradecimiento al Ingeniero Mauricio Pérez y al ingeniero Freddy Agreda por el apoyo brindado para la realización de este trabajo de graduación.

Finalmente, agradecimiento al Ingeniero Alfonso Ortiz Quintanilla, por asesorarnos para el correcto desarrollo paso a paso en la finalización y entrega de nuestro trabajo de graduación y a la Universidad Técnica Latinoamericana por brindarnos la oportunidad para seguir creciendo como profesionales y brindar nuestra fuerza para el desarrollo del país y las futuras generaciones.

Carlos Mauricio Argueta Argueta.

AGRADECIMIENTO.

Saludos, primeramente, agradezco la vida que DIOS me da cada día ya que sin la voluntad de él no podría hacer nada.

Hasta este momento Dios me ha dado la sabiduría, paciencia, fortaleza para seguir con mi carrera durante el proceso han surgidos muchos obstáculos, pero DIOS siempre me ha ayudado a superarlos.

Doy gracias a mis padres y hermanos que siempre han sido parte importante en todo este proceso de superación ellos han sido ese motor para que yo pueda seguir avanzando, además Dios ha ido añadiendo a más personas importantes en esta etapa de mi vida una de ellas es mi amada esposa que ahora es parte de ese triunfó, es mi apoyo incondicional a si mismo doy gracias a mis amistades que siempre fueron ese apoyo moral para seguir adelante con mi carrera. Agradecerle a la universidad y a todos sus docentes por brindarme sus conocimientos y prepararme para lograr alcanzar mi objetivo, al mismo tiempo dar gracias a las personas que fueron parte de ese apoyo, en brindarme sus conocimientos y asesorías para realizar esta tarea final de mi graduación como ingeniero eléctrico. ING Alonzo Ortiz, ING Mauricio Stanley Pérez, ING Fredy Agreda, no habiendo más que agregar muchas gracias a todos por ese gran apoyo "QUE DIOS LOS BENDIGA".

Douglas Enrique Ortiz Clemente.

INTRODUCCION

El presente trabajo tiene como objetivo principal el diseño y elaboración de un simulador completo y avanzado para las etapas de operación de centrales geotérmicas, con el fin de satisfacer las crecientes demandas de electricidad de una manera sostenible y sin dañar el medio ambiente. La energía geotérmica, proveniente del calor interno de la Tierra, se ha convertido en una de las fuentes más prometedoras y eficientes de energía renovable en la actualidad.

Este simulador pretende ser una herramienta educativa e interactiva que permita a los futuros operadores de las centrales geotérmicas adquirir nuevos conocimientos y habilidades técnicas, optimizando así su proceso de aprendizaje y capacitación. Además, se espera que este software contribuya significativamente a mejorar la eficiencia y el rendimiento de las centrales, maximizando la producción de electricidad y minimizando los costos, los tiempos de operación y mantenimiento.

Para lograr estos objetivos, se llevará a cabo una exhaustiva investigación y recopilación de antecedentes en el campo de la energía geotérmica y sus aplicaciones en la generación de electricidad. Se analizarán y evaluarán diferentes modelos y metodologías utilizados en la operación de centrales geotérmicas existentes, con el fin de identificar sus fortalezas y debilidades, y así diseñar un simulador que las supere y las mejore.

La justificación de este proyecto radica en la necesidad de contar con herramientas de capacitación más sofisticadas y actualizadas, que permitan a los operadores de las centrales geotérmicas enfrentar los desafíos técnicos y operativos de forma eficiente y segura. Además, el uso de simuladores en el campo de la educación y la formación profesional ha demostrado ser altamente efectivo, proporcionando un entorno de aprendizaje práctico y realista que facilita la adquisición de habilidades y conocimientos de manera más rápida y efectiva.

En resumen, este proyecto se propone desarrollar un simulador para las etapas de operación de centrales geotérmicas que brinde a los futuros operadores la posibilidad de aprender y entrenarse en un entorno virtual seguro y realista. Su implementación no solo mejorará la eficiencia y el rendimiento de las centrales, sino que también contribuirá en gran medida al avance y desarrollo de la energía geotérmica como una fuente de energía limpia y renovable.

El presente tema se evaluará por medio del método cualitativo ya que incluye entrevistas con los operadores, reuniones en la central generadora y reporte de visita.

CONTENIDO CAPITULAR

Capítulo 1: Aspectos generales del proyecto.

Se detallan las generalidades del proyecto las cuales incluyen los antecedentes del proyecto, seguido de la formulación del problema en el cual se plantea la necesidad de formar operadores de turbogeneradoras y la dificultad que representa para dichas empresas el no tener a la disposición operadores capacitados para la operación de máquinas de generación de potencia; se describe brevemente la importancia de la investigación, se detalla la justificación así como también el alcance del proyecto y las limitantes que se tuvieron durante la realización del mismo, se delimita el tema y se detallan los objetivos.

Capítulo 2: Generación de energía eléctrica y plantas de generación geotérmicas.

En el presente capítulo se da a conocer la definición de energía y cómo se manifiesta como corriente eléctrica; se presenta la introducción teórica que se emplea como base para el diagnóstico del uso de la energía eléctrica en los procesos industriales al interior de las plantas generadoras. Así mismo, se busca presentar la ubicación geográfica y el tipo de generadoras de energía eléctrica con que cuenta el país, logrando de esta manera cumplir con uno de los objetivos de análisis de antecedentes. Se trató de la creación de energía eléctrica a partir de energías primarias, las **llamadas primarias renovables** como el viento, la radiación solar, el agua y el vapor geotérmico. **Las no-renovables** como el carbón y el gas natural.

Se explican las tres tecnologías principales que utilizan las generadoras geotérmicas, se definen los conceptos de generación geotérmica, como funciona y se presentan ejemplos de cada una de ellas, sus ventajas y desventajas, y como es que se aprovecha la energía; cuando se utiliza cada una de ellas, como se obtiene el recurso primario de la generación geotérmica y los tipos de yacimientos que se conocen. También se dará a conocer las 10 mayores plantas de generación geotérmicas del mundo, las generadoras geotérmicas de nuestro país, los componentes principales de una planta geotérmica y la forma de obtener la energía para generación.

Capítulo 3: Autómatas Programables o PLC'S.

En este capítulo estudiaremos su evolución, algunas aplicaciones y algunos desafíos a los cuales se ha enfrentado; se dará a conocer la clasificación, estructura, arquitectura, lenguaje de programación del RSLogix 5000 utilizado en el diseño y elaboración de simulador para etapas

de operación de centrales geotérmica, algunas aplicaciones industriales, protocolos de comunicación y dispositivos con los cuales comunica.

Capítulo 4: Sistema SCADA y HMI.

En este capítulo se dará una introducción a la automatización industrial. Se expondrán conceptos fundamentales de SCADA y HMI, daremos a conocer arquitectura y componentes de un sistema SCADA, presentación de las interfaces de usuario en HMI, integración de sistemas SCADA y HMI, seguridad y protección en sistemas SCADA, y por último casos de estudio y aplicaciones prácticas.

Capítulo 5: Simulador Operacional.

Descripción breve de la planta a simular, protecciones eléctricas y mecánicas del turbo generador y transformador principal, descripción breve de la aplicación y softwares utilizados en el proyecto simulación de planta geotérmica con sus etapas, equipos auxiliares que se encuentran en la simulación y operación de la unidad 1 a sincronizar. También se contestarán interrogantes que ayudarán a entender, la importancia, justificación y objetivos del trabajo de graduación.

¿El simulador proyectado para qué servirá?

¿Función de el simulador operacional para etapas de operación de centrales geotérmicas?

¿Qué beneficios tiene nuestro simulador?

¿El tipo de software utilizado en el simulador diseñado?

Y por último se entregará como anexo un manual de operación del simulador proyectado que será la guía para poder operar desde cero el simulador.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
INTRODUCCION	VI
CONTENIDO CAPITULAR.....	VII
Capitulo1: Aspectos generales del proyecto.....	VII
Capítulo 2: Generación de energía eléctrica y plantas de generación geotérmicas.	VII
Capítulo 3: Autómatas Programables o PLC'S.	VII
Capítulo 4: Sistema SCADA y HMI.	VIII
Capítulo 5: Simulador Operacional.	VIII
CAPITULO 1: ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO.	11
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.2 TITULO DESCRIPTIVO DEL PROYECTO.....	11
1.3 ANTECEDENTES Y/O GENERALIDADES DEL PROBLEMA.....	11
1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.	11
1.5 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	12
1.6 IMPORTANCIA DEL PROYECTO.	13
1.7 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.	13
1.8 ALCANCES DEL PROYECTO.....	14
1.9 LIMITANTES DEL PROYECTO.	14
1.10 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO.....	15
1.11 OBJETIVOS.....	25
1.11.1 OBJETIVO GENERAL.	25
1.11.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	25
1.12 MARCO DE REFERENCIA.	26
1.13 ANTECEDENTES DEL TEMA DE ESTUDIO.	27
1.14 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.	28
1.14.1 Entrevista realizada a personas que han tenido un proceso para ser operadores de una central geotérmica.	28
CAPITULO 2: GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA Y PLANTAS DE GENERACION GEOTERMICA.....	31
2.1 Energía eléctrica:.....	31
2.1.1 Como se manifiesta la energía eléctrica:	31

2.1.2 Diagnóstico eléctrico en procesos industriales en plantas eléctricas.....	33
2.2 Centrales generadoras de energía eléctrica	34
2.2.1 Centrales eléctricas registradas en el país.....	34
2.3 Tipos de generación eléctrica	34
2.3.1 Centrales hidroeléctricas	34
2.3.2 Centrales Térmicas:	34
2.3.3 Centrales geotérmicas:.....	35
2.3.4 Centrales hidroeléctricas	35
2.3.5 Central Térmica.....	38
2.4 Energías primarias renovables.	41
2.4.1 Generación solar.	41
2.4.2 La energía eólica.	42
2.5 Energías no renovables.	43
2.5.1 Petróleo	43
2.5.2 Carbón.....	43
2.5.3 Gas natural.	43
2.6 Plantas de Generación Geotérmica.	44
2.6.1 Vapor Seco:	44
2.6.2 Vapor de destello:.....	46
2.6.3 Ciclo binario:	46
2.7 Como funciona una central geotérmica.	47
2.7.1 Proceso de generación.	47
2.8 Ventajas y desventajas de la generación geotérmica.	48
2.8.1 Ventajas.	48
2.8.2 Desventajas.....	48
2.9 ¿Cómo se aprovecha la energía y cómo se obtiene el recurso primario?	48
2.9.1 Ciclo directo sin condensación:	48
2.9.2 Ciclo directo con condensación:	49
2.9.3 Ciclo indirecto con condensación y recuperación de aguas mineralizadas:	49
2.9.4 Plantas con ciclo de doble flash:.....	51
2.10 Componentes de una planta geotérmica y su forma de obtener energía.	52
2.11 ¿Cómo se obtiene el recurso primario para la generación geotérmica?	56
2.11.1 Proceso de generación.	56
2.12 Tipos de yacimiento.....	56

2.12.1 Tipos de yacimientos geotérmicos:.....	56
2.13 Las 10 mayores plantas geotérmicas del mundo	57
2.13.1 Complejo Geotérmico The Geysers.....	57
2.13.2 Central de Energía Geotérmica Cerro Prieto.....	58
2.13.3 Complejo Geotérmico Larderello.....	58
2.13.4 Central geotérmica Olkaria.....	58
2.13.5 Complejo Geotérmico Makban.....	59
2.13.6 Complejo Geotérmico Saltón Sea.....	59
2.13.7 Complejo Geotérmico Hellisheidi.....	60
2.13.8 Complejo Geotérmico Tiwi.....	60
2.13.9 Complejo Geotérmico Darajat.....	60
2.13.10 Complejo Geotérmico Malitbog.....	61
2.14 Generación de energía geotérmica en El Salvador.	61
2.14.1 Central Geotérmica Berlín, Usulután.....	61
2.14.2 Central Geotérmica Ahuachapán.....	62
2.14.3 Central Geotérmica Ahuachapán, datos actualizados de LaGeo y del MARN sobre la capacidad instalada actual, producción promedio, y avances tecnológicos.....	63
2.14.4 Ventajas, desventajas de la generación geotérmica (costos, sostenibilidad, mantenimiento, impacto ambiental, etc.) En nuestro país	64
CAPITULO 3. AUTOMATAS PROGRAMABLES O PLC.	65
3.1 Historia de los Automatas Programables.....	65
3.2 Aplicaciones, desafíos de los PLC, y computadoras industriales.....	66
3.2.1 Equipos para la automatización industrial	66
3.2.2 Aplicaciones Industriales típicas del PC y desafíos enfrentados con relación al tiempo.	69
3.3 Clasificación, Estructura, Arquitectura y sistema de programación de PLC'S.	71
3.3.1 Clasificación por estructura:.....	71
3.3.2 Arquitectura del PLC:	72
3.3.3 Lenguaje de programación:	77
3.3.4 Aplicaciones industriales.....	78
3.3.5 Protocolos de comunicación y dispositivos con los cuales comunica el PLC RSLogix 5000 utilizado para el “diseño y elaboración de simulador para etapas de operación de centrales geotérmica”	80
3.3.6 Dispositivos con los cuales comunica el PLC RSLogix 5000	81
CAPITULO 4: SISTEMA SCADA Y HMI.....	83

4.1 Concepto de SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).	83
4.1.1 <i>Arquitectura y componentes de un sistema SCADA.</i>	84
4.1.2 <i>Arquitectura.</i>	84
4.1.3 <i>Componentes.</i>	84
4.1.4 <i>Programación y configuración de un sistema SCADA.</i>	86
4.1.5 <i>Integración de los sistemas SCADA y HMI.</i>	86
4.1.6 <i>Seguridad y protección en los sistemas SCADA.</i>	87
4.1.7 <i>Estudio de casos y aplicaciones prácticas.</i>	88
4.2 HMI	90
4.2.1 <i>Introducción a los Sistemas de Interfaz Humano-Máquina.</i>	90
4.2.2 <i>Definición y Conceptos Fundamentales de HMI.</i>	91
4.2.3 <i>Tipos de HMI, desde la conceptualización no tradicional.</i>	91
4.2.4 <i>Funciones básicas de las HMI:</i>	92
4.2.5 <i>Entre las industrias que utilizan HMI destacan.</i>	93
4.2.5 <i>DIAGRAMA FUNCIONAL DE COMUNICACIÓN ENTRE PLC-SCADA-HMI.</i>	94
4.2.6 <i>Ejemplos De Cómo El SCADA Se Integra Con PLC En El Simulador Geotérmico.</i>	95
4.3 APLICACIONES	99
4.3.1 <i>Aplicaciones industriales de las HMI:</i>	99
4.3.2 <i>Ejemplos de sectores industriales que utilizan HMI:</i>	99
4.3.3 <i>Beneficios de las HMI en la industria:</i>	100
.....	100
CAPÍTULO 5: SIMULADOR OPERACIONAL.	101
5.1 Descripción de la planta a simular:	101
5.1.1 <i>Elementos que conforman extracción de vapor:</i>	101
5.1.2 <i>Colector, Separador de humedad y turbina de vapor.</i>	102
5.1.3 <i>Válvula de regulación o de gobernación llamadas comúnmente de paro y control.</i>	104
5.1.4 <i>Sistema de lubricación.</i>	106
5.1.5 <i>Sistema de extracción.</i>	107
5.1.6 <i>Sistema de refrigeración del aceite.</i>	108
5.1.7 <i>Sistema de aceite de control.</i>	109
5.1.8 <i>Sistema de sellado laberíntico de vapor.</i>	109
5.1.9 <i>Virador.</i>	110
5.1.10 <i>Turbina de condensación.</i>	111
5.1.11 <i>Especificaciones técnicas de la turbina a simular.</i>	112

5.1.12 Turbina de un solo flasheo" o de proceso de evaporización instantánea.....	113
5.1.13 Bombas hidráulicas o de extracción de condensado.....	117
5.1.14 Condensador de vapor:	118
5.1.15 sistema de eyector híbrido.....	120
5.1.16 Válvulas de rompimiento de vacío.....	125
5.1.17 Torre de refrigeración.....	126
5.1.18 Generador Eléctrico.....	128
5.1.19 Especificaciones técnicas del generador a simular.	129
5.1.20 Sistema de excitación sin escobillas (Brushless):	129
5.1.21 Transformador principal elevador 13.8 KV 115 KV.....	131
5.1.22 Especificaciones técnicas del Transformador principal a simular:.....	133
5.2 PROTECCIONES MECANICAS Y ELECTRICAS DEL TURBO GENERADOR.	135
5.2.1 Protecciones mecánicas clave:.....	135
5.2.2 Protecciones Eléctricas en Plantas Generadoras de Energía.	135
5.2.3 Filosofía de Protección en Generadores de Potencia.....	137
5.2.4 Lógica de Disparo de las Protecciones del Generador	138
5.2.5 Funciones de Protección en Subestaciones de Transmisión.....	139
5.2.6 Protección de Transformadores de Potencia.	141
5.3 DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN Y SOFTWARES UTILIZADOS.....	142
5.3.1 VMware Workstation 16 Player.	143
5.3.2 VDA (Virtual Delivery Agent) y X86.	144
5.3.3 Clave de acceso a cuenta de usuario VDA.....	145
5.3.4 Dispositivo virtual (PLC virtual).....	146
5.3.5 Interacción con el software factory talk view site edition e información de este.....	149
5.3.6 Diferentes pantallas creadas en el software FactoryTalk View Studio.....	151
5.4 Equipos Auxiliares que existen en la simulación.....	153
5.4.1 Equipos de pantalla sistema de aceite y su funcionamiento:	153
5.4.2 Equipos en pantalla diagrama unifilar.	154
5.4.3 Pantalla de alarmas.....	155
5.4.4 Pantalla Principal.	156
5.4.5 Pantalla general para arranque y puesta en marcha U1.....	161
5.5 Procedimiento de arranque de unidad 1.....	162
5.6 ¿El simulador operacional para qué sirven?	164

5.7 ¿Qué función tiene los simuladores actualmente?	165
5.8 ¿Qué beneficios tiene un simulador?	167
5.8.1 <i>El papel y los beneficios de los simuladores en la educación y la formación.</i>	<i>167</i>
5.9 ¿Qué es un simulador digital?	169
5.9.1 <i>Qué se entiende por simulación de procesos industriales?.....</i>	<i>169</i>
5.10 ¿Qué tipo de software es el simulador?	170
5.11 ¿Dónde se utiliza la simulación ejemplos?	170
Anexos	172
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	182
PRESUPUESTO.....	183
GLOSARIO	184
BIBLIOGRAFÍA.....	187

TABLA DE CONTENIDO DE IMÁGENES

Imagen 1: mini-intel CPU HP EliteDesk	15
Imagen 2: Especificaciones y Características del Monitor táctil.	16
Imagen 3: parte frontal de pantalla táctil	17
Imagen 4: parte posterior de pantalla táctil.	17
Imagen 5: Permite la depuración de programas y la verificación de la lógica de control sin necesidad de hardware real.	18
Imagen 6: Procesamiento de entrada analógica de la simulación.	18
Imagen 7: : Diagrama de escalera de alarma y disparo por baja presión de aceite de lubricación turbina.	19
Imagen 8: Diagrama de escalera principal de equipos principales y auxiliares.	19
Imagen 9: : Diagrama de escalera principal de programación de alarmas.	20
Imagen 10: Diagrama de escalera de monitoreo de presiones, niveles etc.	20
Imagen 11: Software de diseño para simulación.	21
Imagen 12: Simbología para estructurar simulación.	21
Imagen 13: Se puede exportar e importar imágenes si no están las adecuadas en la galería.	22
Imagen 14: Estructura de sincronismo con Factory.	22
Imagen 15: Modelo, usando valores simulados a cada entrada y valores fijos de las entradas conocidas para obtener resultados .	23
Imagen 16: Software de visualización.	23
Imagen 17: Software para conexión remota.	24
Imagen 18: Alarmas generadas según su criticidad, rojo grave, azul anormal y verde aviso.	24
Imagen 19: Laboratorios mejorados.	27
Imagen 20: visión futura de simulador operacional.	27
Imagen 21: Movimiento de cargas.	31
Imagen 22: Centrales de generación eléctrica en El Salvador	34
Imagen 23: Central Geotérmica Berlín.	35
Imagen 24: Central Hidroeléctrica Guajoyo.	35

Imagen 25: Central Hidroeléctrica Cerrón Grande.	36
Imagen 26: Central Hidroeléctrica 5 de Noviembre.	37
Imagen 27: Central Hidroeléctrica 15 de Septiembre.	37
Imagen 28: Proceso Termoeléctrico.	38
Imagen 29: Grupo CASSA.	39
Imagen 30: Central Termoeléctrica Acajutla.	39
Imagen 31: Central Termoeléctrica Nejapa.	40
Imagen 32: Proceso de Generación Fotovoltaica.	41
Imagen 33: Aprovechamiento de energía termosolar.	41
Imagen 34: Energía solar Termoeléctrica.	42
Imagen 35: Energía Eólica.	42
Imagen 36: Excavaciones de carboneras.	43
Imagen 37: Generación de energía eléctrica geotérmica.	44
Imagen 38: Central de vapor seco.	45
Imagen 39: Proceso central de vapor seco.	45
Imagen 40: Proceso de generación con vapor de destello.	46
Imagen 41: Ciclo sin condensación.	49
Imagen 42: Ciclo con condensación.	49
Imagen 43: Proceso con condensación y pozo de reinyección.	50
Imagen 44: Ciclo con doble flasheo.	51
Imagen 45: Componentes de una planta Geotérmica	55
Imagen 46: Clasificación de la energía geotérmica según la temperatura	57
Imagen 47: Central Geotérmica Ahuachapán	62
Imagen 48: Personajes históricos de los PLC'S.	65
Imagen 49: Evolución y padre de sus PLC'S.	65
Imagen 50: Evolución de los Automatas Programables basados en microprocesador en Europa.	66
Imagen 51: Diferentes formatos de computadores industriales.	67
Imagen 52: Diferencia de enlace de comunicación entre PLC y DCS.	67
Imagen 53: Herramienta de programación RSLogix5000.	68
Imagen 54: Automata programable conectado a una unidad programadora (PC).	68
Imagen 55: Aeroespacial (VxWorks) investigación (MATLAB SIMULINK).	69
Imagen 56: Sistemas electrónicos de control utilizados para procesos industriales.	69
Imagen 57: Computador Industrial y Automata Programable ("PC-PLC")	70
Imagen 58: Computador Industrial y Software de Automata Programable (Soft-PLC)	70
Imagen 59: Clasificación y programación.	72
Imagen 60: Partes de un PLC.	82
Imagen 61: Ejemplo de un diagrama básico con sistema SCADA.	83
Imagen 62: Arquitectura de un sistema SCADA.	85
Imagen 63: Interacción HMI.	93
Ejemplo integración de alarmas PLC- SCADA.	96
Integración PLC sistema de protección con el SCADA.	97
PID control de nivel del condensador en el PLC.	97
Imagen 64: HMI del sistema escada para la simulación operación de central geotérmica.	98
Imagen 65: HMI del sistema SCADA diagrama eléctrico del simulador para generación geotérmica.	98
Imagen 66: HMI utilizada para el simulador del proyecto presentado.	100

Imagen 67: Operador de pozo productor de vapor.	101
Imagen 68: Colector, Demister y turbina en el simulador proyectado.	104
Imagen 69: Valvula de gobernación de la unidad 1 de Ahuachapán físico y en la simulación proyectada.	106
Imagen 70: Arranque de bomba de aceite auxiliar en el simulador	107
Imagen 71: Bombas de aceite de emergencia y su arrancador.	107
Imagen 72: Extractor de gases del tanque principal.	108
Imagen 73: Sistema de enfriamiento de aceite , enfriador "A" y Enfriador "B"	108
Imagen 74: Impulsor del gobernador con 7.54 Kg/cm ²	109
Imagen 75: Sellos laberínticos.	110
Imagen 76: Extractor de vapor de sellos y presión de entrada a 0.39Kg/cm ²	110
Imagen 77: bomba del tornaflecha y tornaflecha debajo de la turbina.	111
Imagen 78: Rotor de turbina y condensador con sus valores representado en la simulación.	112
Imagen 79: colector de vapor con sus respectivos valores en la simulación.	117
Imagen 80: Pozo de bombas de extracción de condensado.	118
Imagen 81: Condensador de vapor simulado.	119
Imagen 82: Bomba de anillos líquidos (NASH).	122
Imagen 83: Identificación de los elementos de un eyector a presión.	123
Imagen 84: : Identificación de los puntos de un eyector a presión.	124
Imagen 85: Sistema de eyector híbrido en el simulador.	125
Imagen 86: Valvula de rompimiento de vacío del condensador.	126
Imagen 87: torre de enfriamiento en la simulación.	127
Imagen 88: Rotor de un generador y representación en el simulador.	128
Imagen 89: Diagrama del sistema de excitación U1 Ahuachapán	130
Imagen 90: Rectificador de diodos giratorios y Generador de imanes permanentes.	131
Imagen 91: Selección de excitación del Generador Simulado.	131
Imagen 92: Transformador elevador unidad 1 de Ahuachapán.	133
Imagen 93: Esquema y vista física de un relé Bucholz.	134
Imagen 94: : Esquema de protección para generadores de potencia.	137
Imagen 95: Esquema de protección de alimentación del transformador principal.	141
Imagen 96: Enlace de virtualización.	142
Imagen 97: Cargando sistema operativo Windows.	145
Imagen 98: ventana de activación de Windows .	145
Imagen 99: Cargando emulador de Rockwell Automati3n	147
Imagen 100: Chasis del emulador.	147
Imagen 101: botones de entrada a la simulaci3n SCADA.	149
Imagen 102: pantalla general U1	151
Imagen 103: Pantalla sistema de aceite.	152
Imagen 104: Diagrama Unifilar.	152
Imagen 105: Pantalla de alarmas.	153
Imagen 106: Consola de aceite.	154
Imagen 107: Diagrama Unifilar.	155
Imagen 108: Pagina de alarmas.	156
Imagen 109: bombas de aceite y sus botones de arranque y local remoto.	156
Imagen 110: Bombas de sello y anillos líquidos.	158
Imagen 111: ciclo de condensaci3n con todos sus equipos.	159

Imagen 112: Sistema de vapor con sus componentes.	161
Imagen 113: Pantalla general donde servira para la puesta en marcha de la unidad.	161
Imagen 114: Válvulas rompimiento de vacio y válvula descarga hacia silenciador.	162
Imagen 115: Entrenamiento con simulación.	165
Anexo 1: Mini PC compacta HP Elite Desk.	172
Anexo 2: Especificaciones tecnicas del Adaptador CA, con 1.6 A de 90 W	172
Anexo 3: Cable HDMI (Interfaz Multimedia de Alta Definición).	172
Anexo 4: Adaptador de video DisplayPort a HDMI.	173
Anexo 5: Monitor tactil	173
Anexo 6: Adaptador AC para monitor táctil.	173
Anexo 7: Cable de red o cable Ethernet.	174
Anexo 8: AnyDesk software de escritorio remoto.	174
Anexo 9: Raton para mover el cursor en la pantalla.	174
Anexo 10: teclado	175
Anexo 11: Consola de aceite U1 con sus respectivos equipos principales.	175
Anexo 12: Sistema hibrido de extracción de gases no condensables.	176
Anexo 13: Bombas principales de circulación de condensado y Demister	176
Anexo 14: Torre de enfriamiento de condensado.	177
Anexo 15: Recorrido a colectores de vapor	177
Anexo 16: Transformador reductor de 13.8 KV a 4.16 KV.	178
Anexo 17: Pantalla HMI sala de control Ahuachapán.	178
Anexo 18: PLC ALLEN BRADLEY controlador U1.	179
Anexo 19: Factura de Pantalla Táctil.	179
Anexo 19: Entrevista a operador sala de control.	180
Anexo 20: Sala de control Ahuachapán.	180
Anexo 21: Entrevista operador de campo.	181

CAPITULO 1: ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.2 TITULO DESCRIPTIVO DEL PROYECTO.

" Diseño y elaboración de simulador para etapas de operación de Centrales Geotérmicas."

1.3 ANTECEDENTES Y/O GENERALIDADES DEL PROBLEMA.

La generación de energía geotérmica ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años debido a sus ventajas ambientales y su potencial de generación constante de electricidad en muchas ocasiones clasificadas como centrales bases. Sin embargo, la operación de las centrales geotérmicas requiere un alto nivel de conocimiento y experiencia debido a su complejidad y particularidades. En este contexto, es importante contar con simuladores que permitan entrenar a los operadores en un entorno virtual antes de enfrentar situaciones reales. Los simuladores existentes en la actualidad presentan limitaciones y carencias tales como: costos, accesos limitados, limitaciones técnicas en cuanto al alcance máximo de lo que pueden simular, transferencia de habilidades, el hecho de que el software de simulación depende del uso de los componentes reales de un sistema de automatización (PLC y SCADA), y carencia de dinamismo. Todo lo anterior justifica la necesidad de desarrollar un nuevo simulador que se enfoque en las etapas de operación de las centrales geotérmicas de una forma dinámica.

1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

Se ha encontrado que en los laboratorios de la universidad no se dispone de un programa de simulación que favorezca la transferencia de conocimientos con una operatividad cercana a la operatividad real de una planta geotérmica. Los aprendizajes universitarios no son suficientes en la vida real de un profesional ya que los retos a que se enfrenta en el ambiente laboral requieren de entrenamiento práctico previo para la solución de eventualidades en los sistemas de generación. No obstante, el acceso al conocimiento en un contexto donde hay un fuerte componente experimental, se ve delimitado por programas contruidos que, desde la simulación y desde un modo de operar basado en el ensayo y error impiden el trabajo con situaciones que requieren no

sólo de aprendizajes técnicos sino también estratégicos. En este sentido, si bien desde el diseño de clase en la resolución de problemas propuesta por los docentes se van favoreciendo procesos de resolución de problemas, los programas de simulación en sí mismos favorecen procesos de ensayo y error.

Debido a lo anterior se ha propuesto a la universidad equipar con una donación de un simulador virtual operacional conformado por un software de HMI con los componentes de programación para aplicación en centrales geotérmicas, de tal manera que sea utilizado para prácticas de laboratorio.

1.5 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

El interés creciente en las energías renovables ha convertido a la energía geotérmica en un valioso recurso real en muchos países del mundo. Las centrales geotérmicas (CG) suministran energía eléctrica de forma continua, independientemente de los factores meteorológicos y sin necesidad de depender de combustibles fósiles.

Debido a lo especializado de la energía geotérmica en el país, no se cuenta en el mercado laboral con profesionales en el ramo, por lo que el presente trabajo está orientado a capacitar personal para la oferta laboral en dicha rama. Las instancias formativas requieren estudiantes activos, a quienes se les ofrezca la posibilidad de manipular aspectos concretos del entorno y explorar sus consecuencias como camino para adquirir conocimientos. El desarrollo de simuladores proporciona formaciones eficientes en entornos controlables que permiten al estudiante un aprendizaje activo y constructivo, trabajando sobre el conocimiento generando interés y motivación para capacitarse.

El acceso y la disposición libre de la energía son indispensables para el buen funcionamiento de las sociedades que desarrollan tecnologías para aprovechar sus beneficios y suplir sus carencias. Las tecnologías empleadas están adaptadas a las características del entorno, dando lugar a los diversos sistemas que actualmente conviven en un país con un contexto específico.

Es por esto por lo que se ha tenido a bien en trabajar en el diseño y elaboración de un simulador para etapas de operación de centrales geotérmicas que permita hacer un aporte para la comunidad académica.

1.6 IMPORTANCIA DEL PROYECTO.

Es importante destacar que existen estudios que demuestran que los estudiantes que utilizan herramientas de simulación logran un aprendizaje más rápido y efectivo de los procesos y conceptos, en comparación con aquellos que solo consideran el aprendizaje a través de textos o exposiciones.

En el contexto de la formación de ingenieros en universidades no se considera como requisito el uso de este tipo de herramientas en el currículo. Sin embargo, en la realidad, los procesos de formación profesional muestran un gran interés por parte de las empresas en formar profesionales con conocimientos en sistemas eléctricos, termodinámicos, SCADA, automatización y control, así como en certificarlos en este tipo de herramientas especializadas.

Las universidades y, en general, el sistema de educación superior, deben preparar y entrenar al profesional en su futura realidad laboral. Sin embargo, esto no siempre es posible, especialmente en casos específicos donde se requiere el uso de herramientas específicas. Uno de estos casos es la formación de profesionales para el sector de operación y generación de energía eléctrica.

1.7 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

La justificación de este proyecto radica en la necesidad de contar con un simulador especializado en las etapas de operación de centrales geotérmicas. Actualmente, los simuladores existentes no abordan de manera completa y precisa estas etapas, lo que dificulta el aprendizaje y entrenamiento de los operadores. Además, la operación de las centrales geotérmicas es un proceso crítico que requiere una alta eficiencia y un manejo óptimo de los recursos. El simulador propuesto permitirá mejorar la capacitación de los operadores, minimizar los tiempos de inactividad y maximizar la producción eléctrica.

Respecto a los estudiantes, proporcionará un real acercamiento a la aplicación de sus conocimientos a un caso concreto. Además, les brinda una práctica que difícilmente podrían ejercer sin acceder a un campo geotérmico correspondiente, por razones de los cada vez más estrictos requisitos de seguridad y protección ambiental. Además, sirve para comprender mejor los procedimientos de gestión de la planta en cambios de potencia.

El simulador de centrales geotérmicas es una herramienta realmente potente, capaz de enseñar en la práctica conceptos y procedimientos demasiado complejos para incorporarlos en el contenido de una materia en pocas horas semanales durante un semestre.

Por ello el trabajo de graduación propone el diseño y elaboración del simulador para etapas de operación de Centrales Geotérmicas y brindará un sistema eficaz de monitoreo y control a centrales geotérmicas y facilitará las operaciones de equipo principal y auxiliar, registro de fallas, y minimiza los tiempos de indisponibilidades por la atención temprana de anomalías operativas. También de esta manera, se dotará a la Universidad Técnica Latinoamericana de una herramienta de aprendizaje para estudiantes de ingeniería eléctrica sobre operación de una central Geotérmica con todas sus etapas a través de la pantalla HMI. Los estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica podrán usarlo para fortalecer los conocimientos y competencias técnicas en las asignaturas de Sistemas de Potencia, Ingeniería de Sistemas de Control, y Electrónica Industrial.

1.8 ALCANCES DEL PROYECTO.

Durante el desarrollo del tema se propone una aplicación o herramienta constituida por un sistema virtual de PLC (Controladores Lógicos Programables), esta herramienta será donada a la universidad con fines educativos con su respectivo manual de procedimiento operativo, con el objeto de que los estudiantes conozcan las nuevas tecnologías aplicables no solo a sistemas de generación eléctrica sino en la industria en general. Además de explicar de una forma general como se programa un PLC, también será demostrativo para prácticas de arranque y paro de unidades generadoras específicamente aplicado a unidades de centrales eléctricas del tipo geotérmico. Será explicado teóricamente la arquitectura de control distribuido conformada por "Switch de comunicaciones", módulos de entrada/salida de señales digitales y analógicas, PLC en conexión redundante, diferentes protocolos de comunicación como Modbus, Profibus, Device Net, etc. A través del PLC virtual se hará una interfaz hombre - máquina para la operación del sistema. La interfaz hombre máquina se hará por medio de una computadora, la cual presentará el sistema HMI en un monitor táctil de 22 in. La interfaz será una computadora de última generación, del tipo compacta junto con el equipo ya mencionado de pantalla táctil y el respectivo software de estudiante. Éstos serán donados a la Universidad después de la presentación. El resultado esperado, será una herramienta de aprendizaje para estudiantes de ingeniería eléctrica, sobre operación de una central Geotérmica con todas sus etapas a través de la pantalla HMI.

1.9 LIMITANTES DEL PROYECTO.

El proyecto estará limitado a la operación y monitoreo de una central geotérmica.

El software de interface hombre máquina, será de uso exclusivo del proyecto estudiantil.

No se dará licencia de los softwares aplicados, ya que serán de uso libre para estudio.

La herramienta, el hardware y software de uso libre quedara en poder de la universidad

La aplicación estará orientada únicamente para PLC Allen Bradley.

La aplicación correrá en forma virtual.

La operación y simulación de los equipos y variables del proceso están limitados a un ambiente de simulación los más cercano a la realidad, y con la lógica real de operación, sin embargo, siendo un simulador, las condiciones reales de variables eléctricas y de proceso, pueden llegar a ser un poco diferentes en una planta real.

La aplicación será ejecutada en forma virtual.

1.10 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO.

El sistema estará conformado por:

- **Computadora compacta:**

HP ELITE DESK mini-Intel core i5- 4th 3.0 GHz 8 Gbits de Memoria, windows 8.



Imagen 1: mini-intel CPU HP EliteDesk

- **Monitor táctil:**

PCAP de escritorio de 21.5" y 1080p, D22ZD-A2-45P0.

D22ZD-A2-45P0

WWW.GVISION-USA.COM

Monitor táctil PCAP de escritorio de 21.5" y 1080p



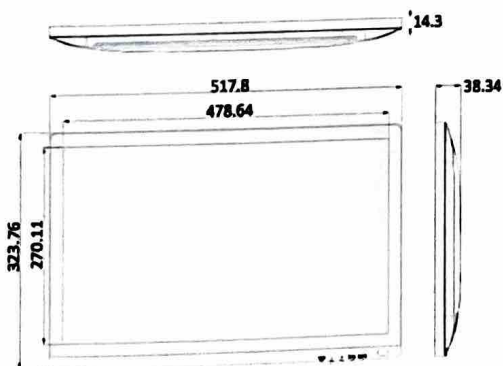
CE FCC

CARACTERÍSTICAS

- Tamaño de pantalla ancha de 21.5 pulgadas
- Resolución Full HD de 1920 x 1080
- Interfaz: HDMI/VGA/USB Tipo A
- Pantalla táctil capacitiva proyectada PCAP de 10 puntos
- Monitor con retroiluminación LED
- Pantalla táctil sin bisel
- Brillo de 250 nits
- Garantía de 3 años

DIMENSIONES

UNIDAD: MM



D22ZD-A2-45P0

ESPECIFICACIONES	
Tamaño	21.5 pulgadas
Resolución	1920 x 1080
Área de visualización (mm)	476.064 (H) x 267.786 (V)
Relación de aspecto	16 : 9
Tiempo de respuesta	14 ms
Ángulo de visión	178° / 178°
Brillo	250 cd/m²
Relación de contraste	3000 : 1
Color	16.7 M
Retroiluminación	LED
Interfaz	HDMI x1, VGA x1, USB-A x1
Altavoz	2 W x 2
Tipo táctil	PCAP capacitivo proyectado
Punto táctil	10 puntos
Interfaz táctil	USB tipo A
Sistema operativo compatible	Windows / Linux
Materiales de la carcasa	Plástico
Color de la carcasa	Negro
Modo de ahorro	-1 W
Entrada de energía	CC 12 V a 5 A
Temperatura de funcionamiento	32° F-122° F (0 °C - 50 °C)
Temperatura de almacenamiento	-4 °F - 140 °F (-20 °C - 60 °C)
Humedad	10 % - 90 %
Dimensiones (pulg./mm)	20.38 x 12.74 x 1.50 / 517.80 x 323.76 x 38.34
Peso neto	8.95 lbs (4.06 kg)
Certificación	CE / FCC
VESA™	75 x 75

**Las especificaciones pueden cambiar sin previo aviso

30398 Esperanza,
Rancho Santa Margarita, CA 92688
888-651-9688 / 949-586-3338
sales@gvision-usa.com
https://www.gvision-usa.com

GVISION

Imagen 2: Especificaciones y Características del Monitor táctil.



Imagen 3: parte frontal de pantalla tactil

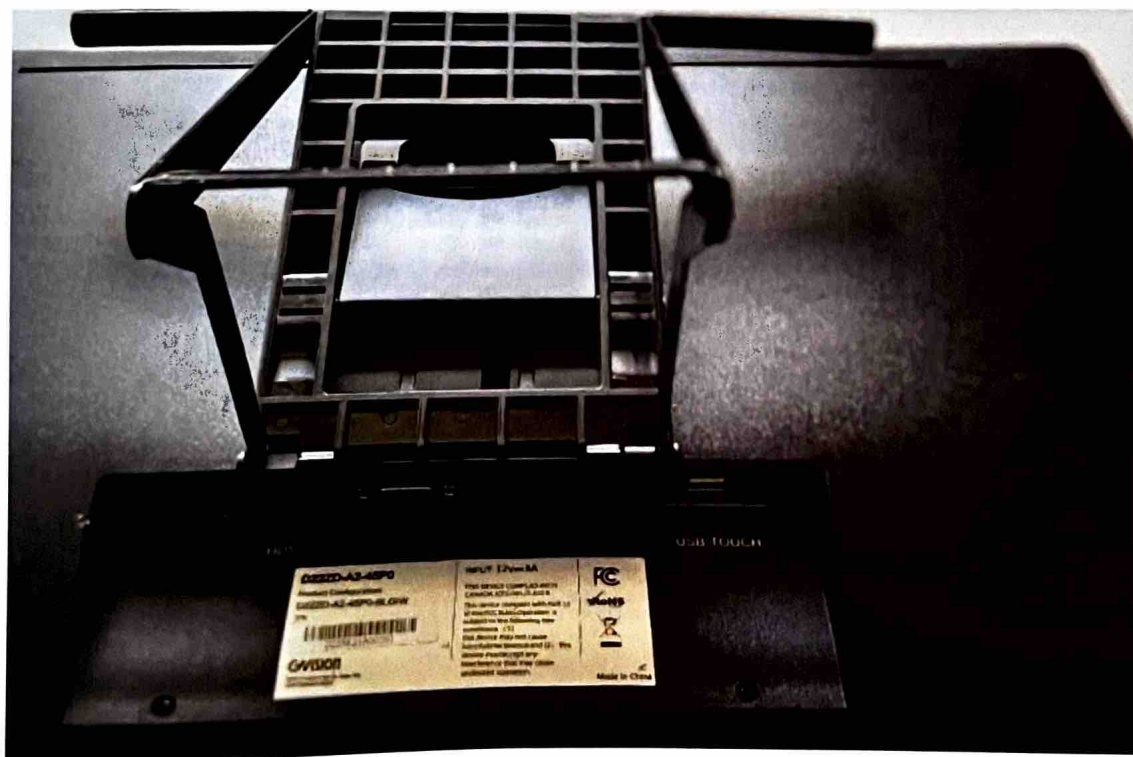


Imagen 4: parte posterior de pantalla tactil.

- Softwares estudiantiles y programación simulada en diagramas de escalera.

RSLogix emulator 5000:

RSLogix Emulator 5000 es un simulador de software para la línea de controladores Logix 5000 de Allen Bradley (ControlLogix®, CompactLogix®, FlexLogix®, SoftLogix5800® y DriveLogix®).



Imagen 5: Permite la depuración de programas y la verificación de la lógica de control sin necesidad de hardware real.

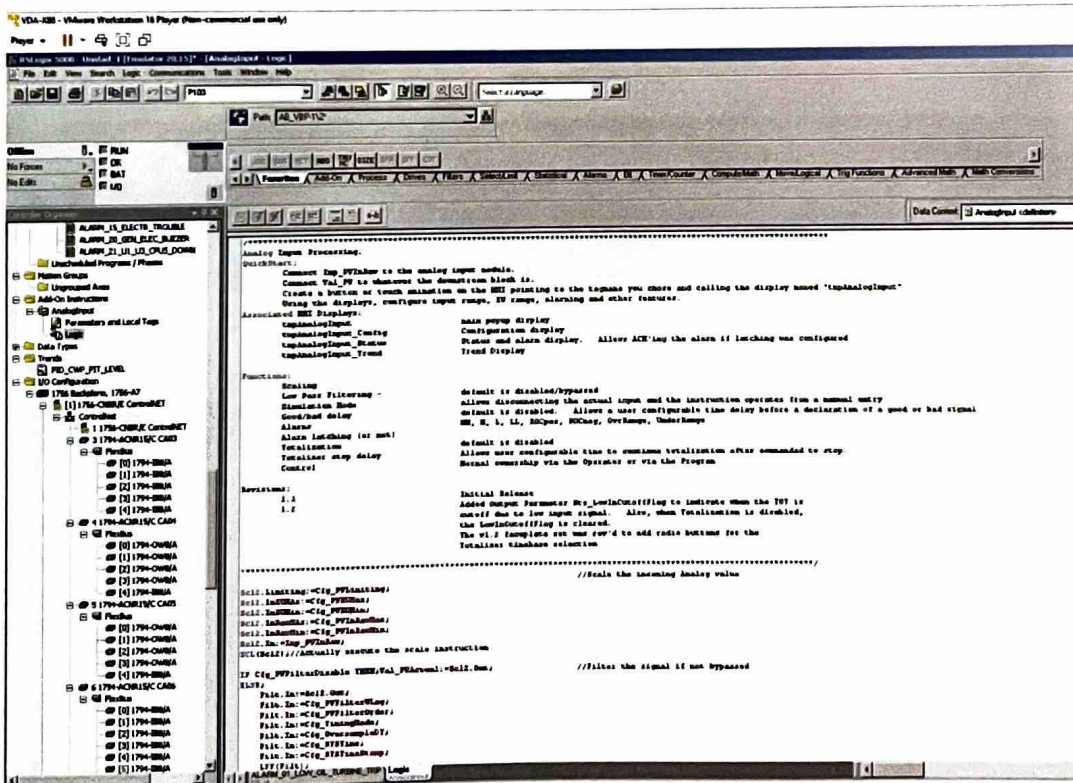


Imagen 6: Procesamiento de entrada analógica de la simulación.

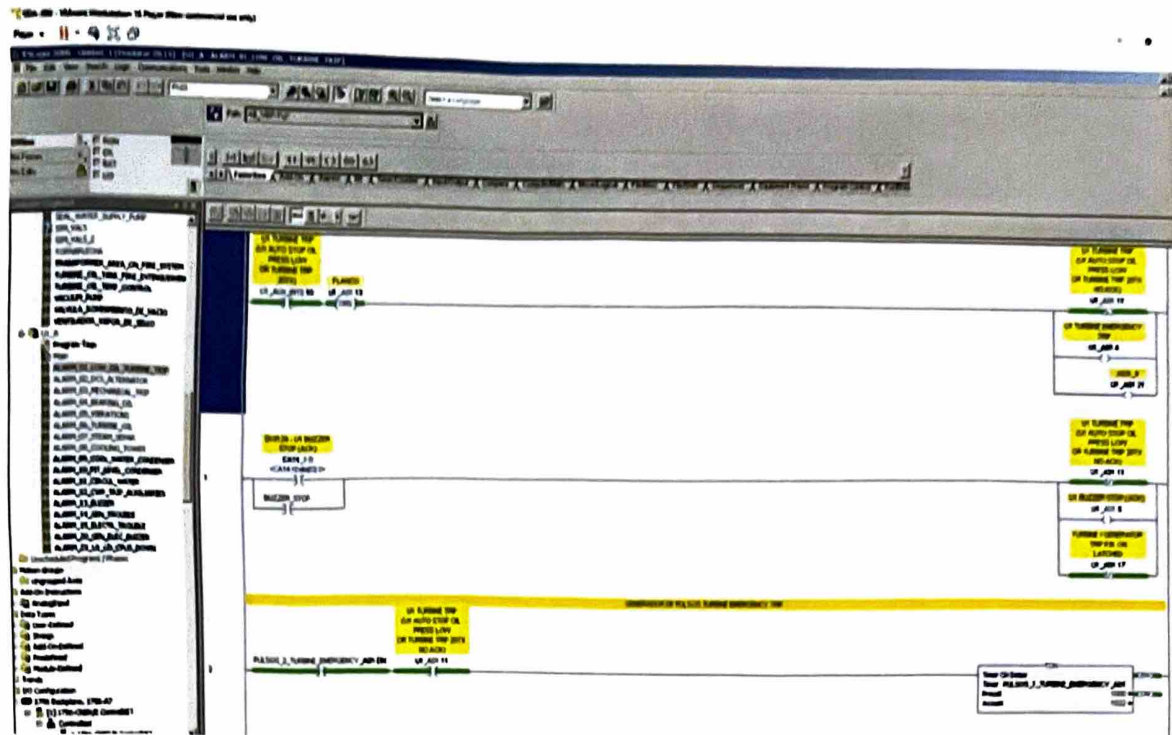


Imagen 7: : Diagrama de escalera de alarma y disparo por baja presión de aceite de lubricación turbina.

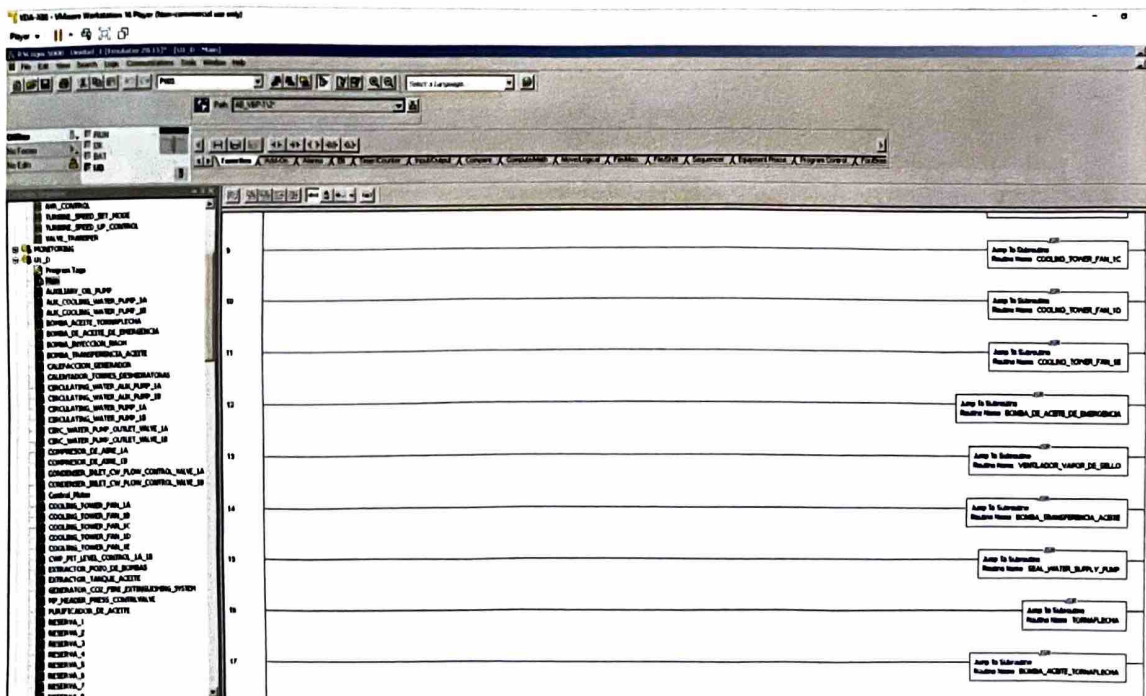


Imagen 8: Diagrama de escalera principal de equipos principales y auxiliares.

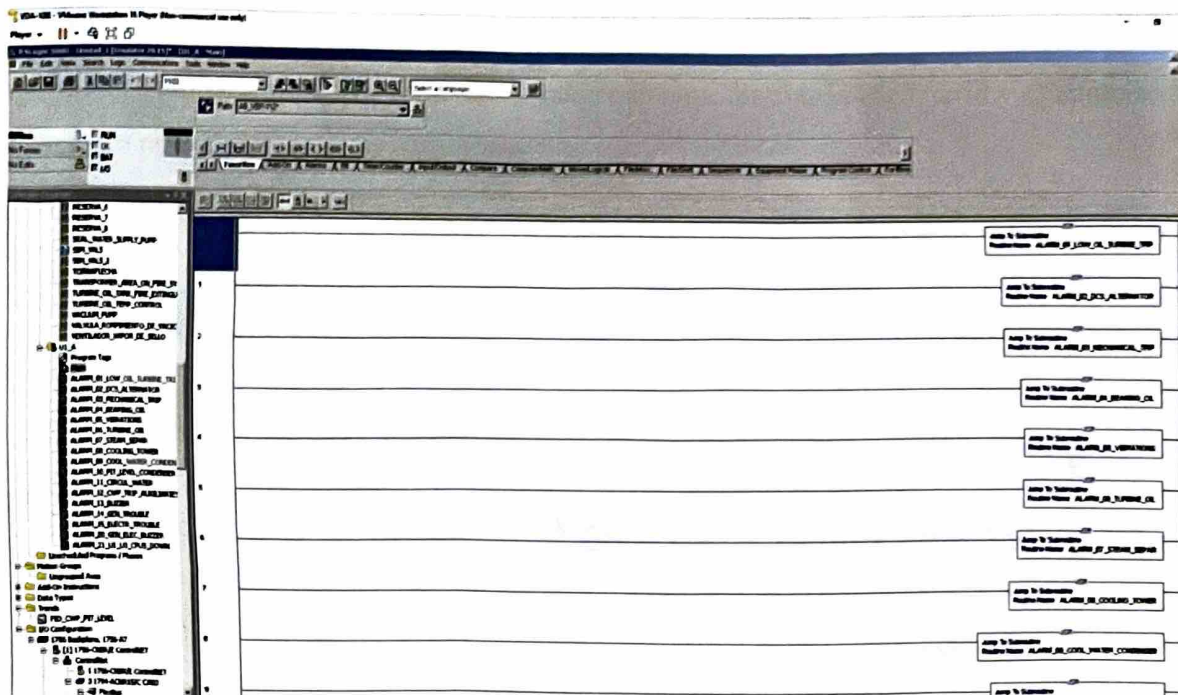


Imagen 9: : Diagrama de escalera principal de programación de alarmas.

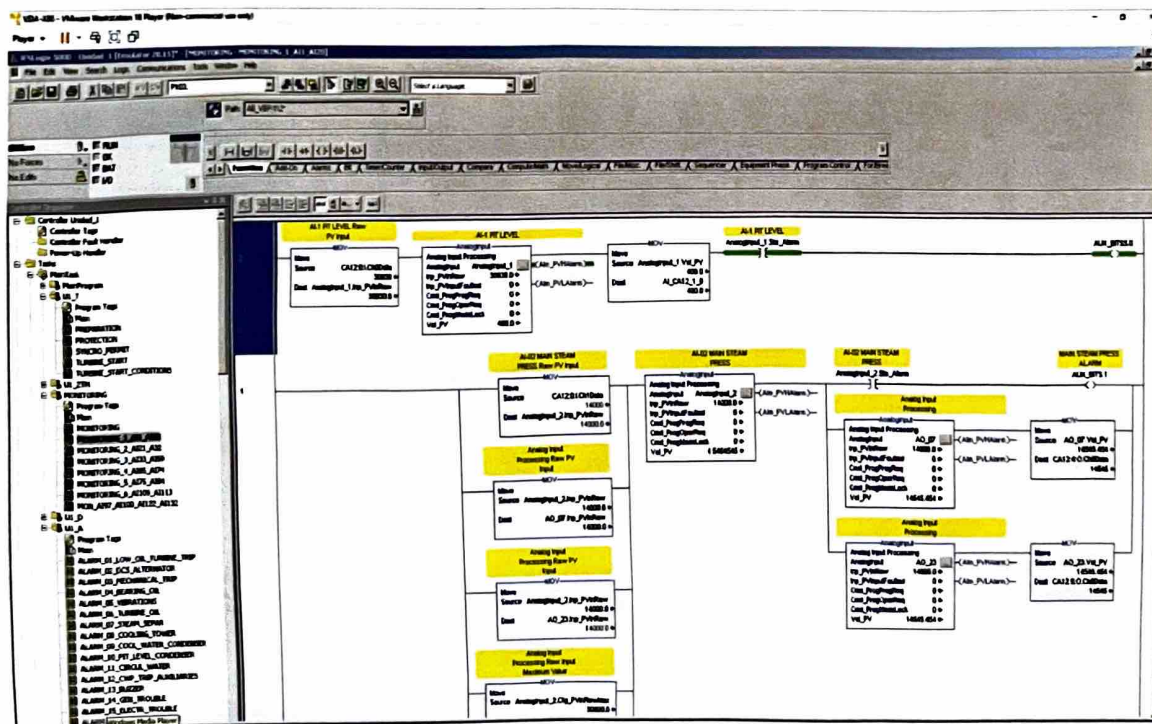


Imagen 10: Digrama de escalera de monitoreo de presiones, niveles etc.

- El software factory Talk view.

Con el cual se utiliza la galería o se insertas imágenes para diseñar la ingeniería y estructura de la simulación a proyectar.



Imagen 11: Software de diseño para simulación.

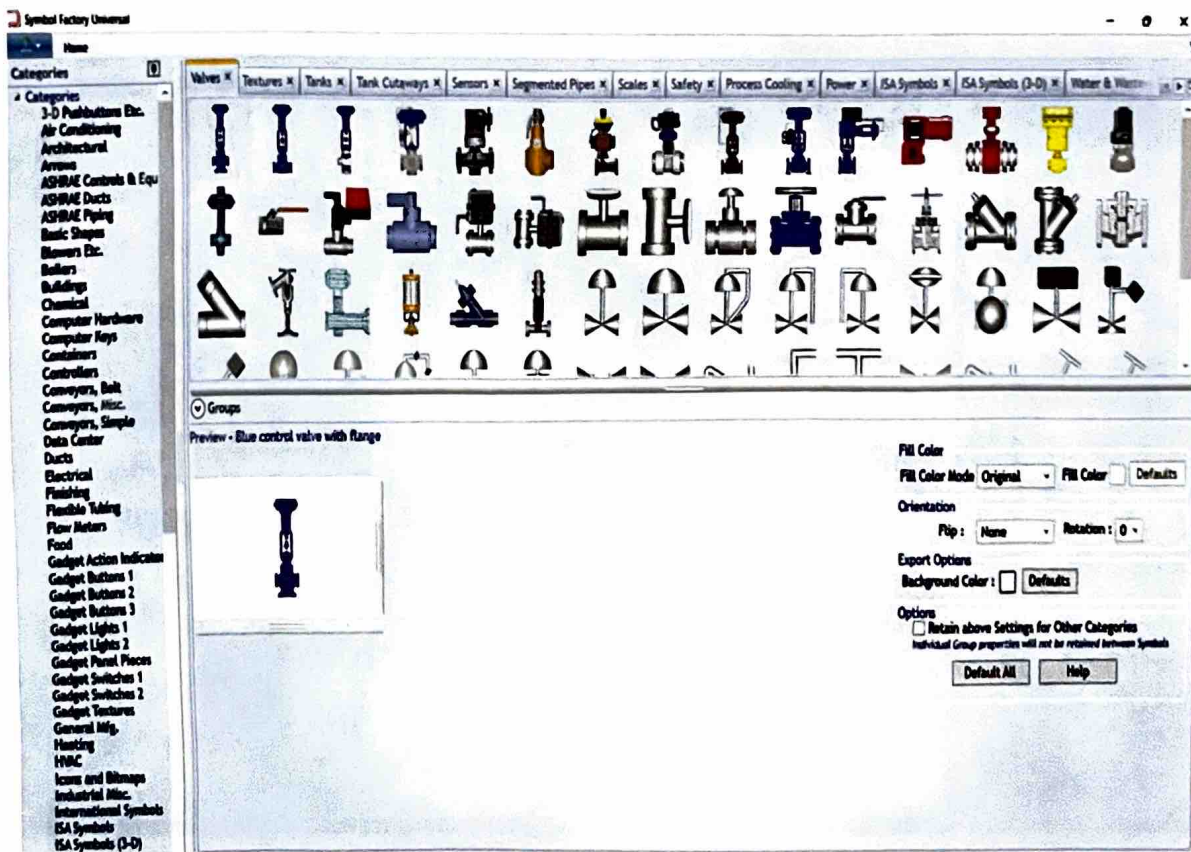


Imagen 12: Simbología para estructurar simulación.

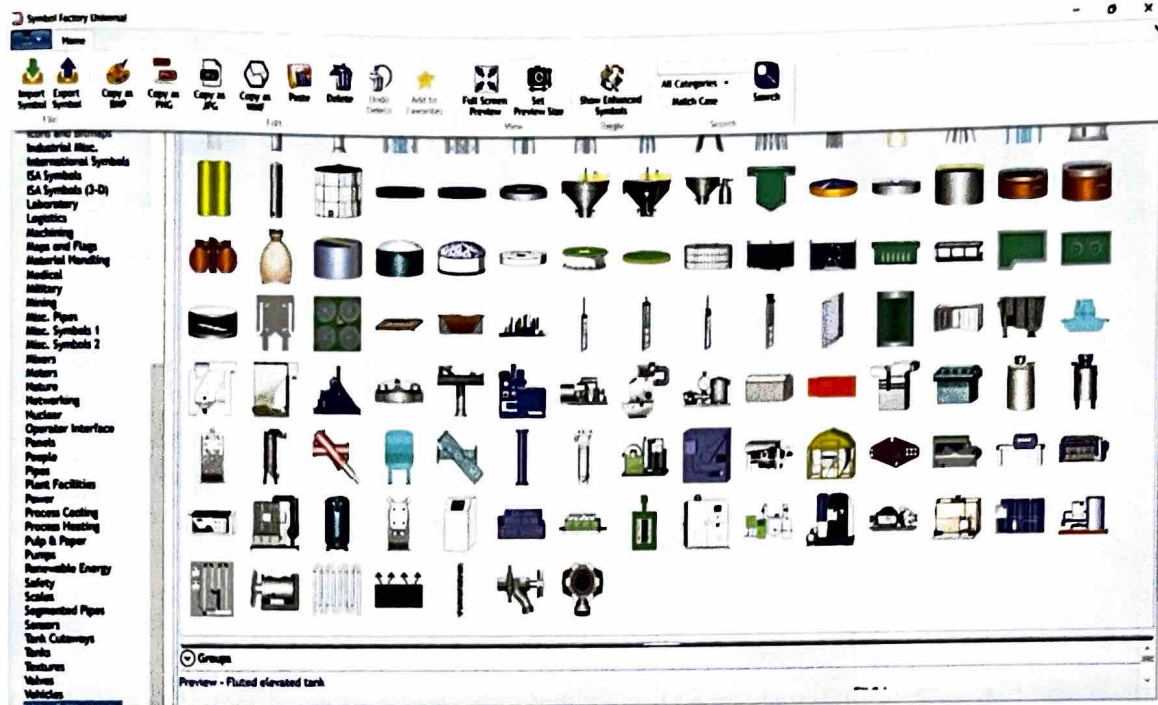


Imagen 13: Se puede exportar e importar imágenes si no están las adecuadas en la galería.

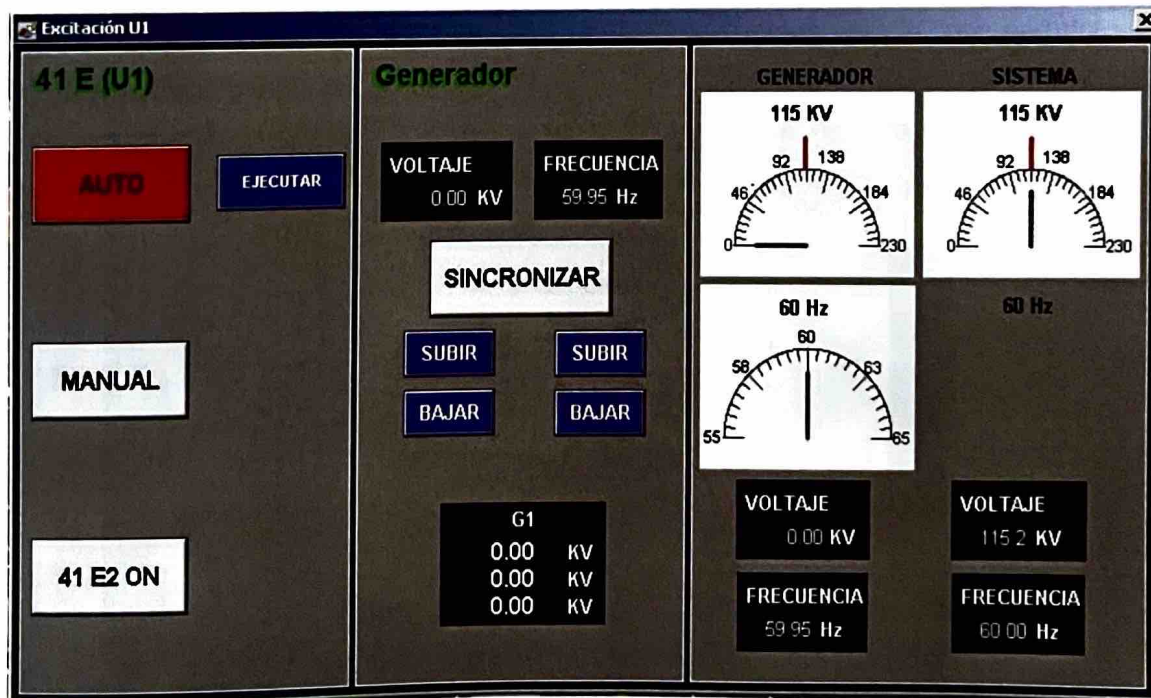


Imagen 14: Estructura de sincronismo con Factory.

- **valores simulados.**

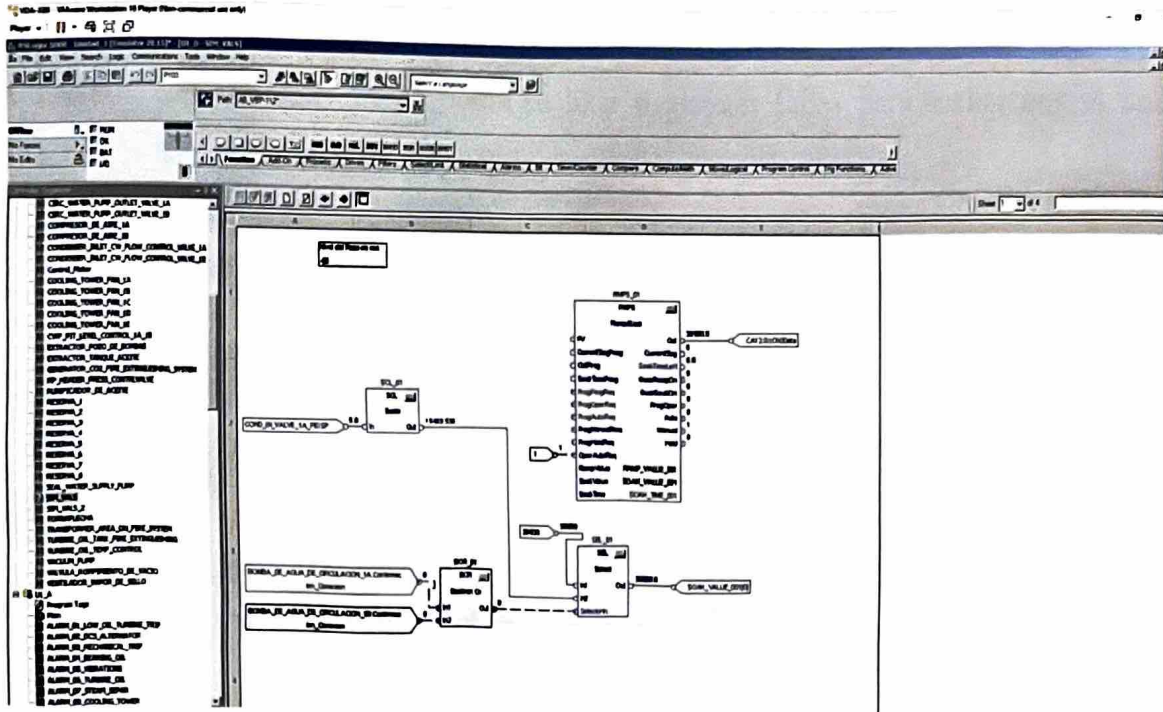


Imagen 15: Modelo, usando valores simulados a cada entrada y valores fijos de las entradas conocidas para obtener resultados .

- **El software VMware Workstation 16 Player.**

El Mware Workstation 16 Player es un software de virtualización para PC que permite ejecutar múltiples sistemas operativos.

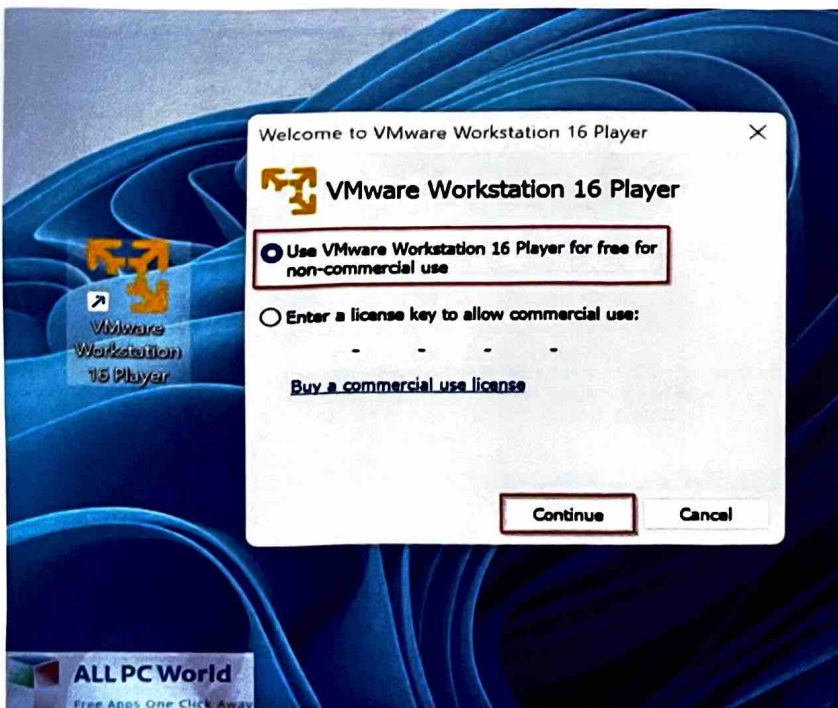


Imagen 16: Software de visualizaci3n.

- **Software A nyDesk.**

AnyDesk es un software de acceso remoto que permite conectar y controlar dispositivos a través de internet, con este software se podrá realizar o generar fallas para insitar que el operador encuentre la falla y la corrija de ser posible.



Imagen 17: Software para conección remota.

Al generar un disparo de bomba de circulación principal (1B), se podrá observar en la pagina de alarmas el disparo del equipo

In Alarm Time	Message	Unidad
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	AI-115 U1 SEÑAL ANORMAL TEMPERATURA ESTATOR MOTOR B.A.E.-B	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-221 NORMAL VENTILADOR DE CABINETE	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-243 COM SYSTEM FAILURE	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-98 U1 PARO POR VAPOR DE EYECTOR VALVULA CERRADA	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-258 FALLA ARRANQUE EYECTOR U1	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-260 INSUFICIENTE FLUJO AGUA ENFRIAMIENTO EYECTOR U1	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-261 INSUFICIENTE FLUJO AGUA SELLO EYECTOR U1 "A"	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-262 INSUFICIENTE FLUJO AGUA DE SELLO EYECTOR U1 "B"	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-103 U1 DISPARO CWP 1B	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	AI-29 U1 SEÑAL ANORMAL POSICION LIMITADOR DE CARGA IZQ.	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	AI-30 U1 SEÑAL ANORMAL POSICION LIMITADOR DE CARGA DR.	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	AI-51 U1 SEÑAL ANORMAL 4.16 KV VOLTAJE DE BUS	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	AI-54 U1 SEÑAL ANORMAL CORRIENTE SECUNDARIO AT2	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	AI-45 U1 SEÑAL ANORMAL POTENCIA ACTIVA DEL GENERADOR	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	AI-126 U1 SEÑAL ANORMAL TEMPERATURA 5 EMBOBINADO ESTATOR DEL GENERADOR	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	AI-69 U1 SEÑAL ANORMAL TEMPERATURA AGUA ENTRADA CONDENSADOR	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	AI-114 U1 SEÑAL ANORMAL TEMPERATURA ESTATOR MOTOR B.A.E.-A	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-148 U1 SECONDARY CB 15UT2 CLOSE	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-13 U1 PRESION BAJA DE ACEITE DE PARO AUTOMATICO	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	U1 AUX. PUMP INTERLOCK START	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	AI-05 U1 BOMBAS AUXILIARES A.C. PRESION SALIDA BAJO	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-184 U1 CB 1-02 13.8KV ABIERTO	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-104 U1 PERTURBACION MOTOR DE TORRE DE ENFRIAMIENTO	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-107 U1 OPERACION BOMBA DE ACEITE DE EMERGENCIA	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-94 U1 ALTA EXCENRICIDAD DEL EJE	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-91 U1 VALVULA DE EMERGENCIA CERRADA	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-128 U1 ANORMALIDAD EN BOMBA DE VACIO	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-97 U1 ALTO O BAJO NIVEL DE TANQUE ACEITE PRINCIPAL	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	U1 OPERACION DE BOMBA AUXILIAR DE ACEITE	Unidad 1

Imagen 18: Alarmas generadas según su criticidad, rojo grave, azul anormal y verde aviso.

1.11 OBJETIVOS

1.11.1 OBJETIVO GENERAL.

Diseñar y elaborar un simulador para las etapas de operación de centrales geotérmicas. El simulador operacional tendrá aplicación para centrales geotérmicas, que integre los distintos componentes del ciclo termodinámico, con la finalidad de proporcionar demostraciones realistas de operación de los equipos y sistemas que conforman una central geotérmica, en un ámbito educativo.

1.11.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Identificar las componentes y variables relevantes en las etapas de operación de las centrales geotérmicas, para desarrollar un monitoreo del funcionamiento óptimo de la misma.

Seleccionar las herramientas de simulación más adecuadas para el diseño del sistema de monitoreo de central geotérmica y que pueda ser utilizado como insumo didáctico para la universidad.

Desarrollar el simulador y realizar pruebas de funcionamiento para mejorar el rendimiento de este y que se logre recrear escenarios muy aproximados a la realidad laboral en el campo de generación de energía eléctrica.

Validar el simulador mediante comparaciones con datos reales en el campo para optimizar su funcionamiento e implementación final.

Mejorar la capacitación de los operadores para mejorar la productividad en el área de la generación eléctrica en las plantas geotérmicas.

1.12 MARCO DE REFERENCIA.

Para aprovechar los recursos geotérmicos se requiere la construcción de un complejo de pozos que servirán de intercambio térmico. Estos y otros equipos deben integrarse en forma conjunta para formar una planta con un fin específico. El mecanismo para convertir energía calorífica en energía mecánica corresponde a una máquina térmica cuyo ciclo termodinámico es tal que, al ceder calor al sistema, éste trabaja y al ceder el trabajo realizado se obtiene un saldo de trabajo positivo, es este saldo de trabajo positivo el cual es convertido a energía mecánica. En el caso de las centrales de tipo geotérmico, la transferencia de calor a la máquina térmica se realiza desde el vapor generado encontrado en bolsas hirvientes bajo la corteza terrestre, técnica que consiste en realizar perforaciones a cierta profundidad convenientemente llamada pozos geotérmicos.

En regiones específicas, hay una gran fuente de recursos de calor conocidos como depósitos de energía geotérmica. La energía geotérmica es el recurso energético que proviene del campo térmico de la Tierra; puede ser obtenido por vertimientos en forma natural o mediante obtención de vapor en yacimientos secos y semisecos. El calor que fluye a la superficie y el calentamiento de los recursos geotérmicos son procesos naturales que varían con el tiempo. Debido a la distribución geográfica de las centrales explotadoras de energía geotérmica, existen regiones con yacimientos geotérmicos de gran importancia. La mayoría de las plantas geotérmicas que existen en el mundo se ubican en regiones tectónicas activas cerca de los límites entre placas continentales, conocidos como zonas de convección. La actividad volcánica y sísmica están asociadas a estas zonas, que concentran la mayor parte de los recursos geotérmicos y se caracterizan por su actividad hidrotérmica. En líneas generales, la superficie de la Tierra funciona como el reservorio de un calefactor, el cual es atravesado por una corriente de agua constante.

En los pozos geotérmicos el fluido producido es bifásico (agua-vapor) el cual es separado por medio de separadores ciclónicos, el vapor es conducido hacia la central y se distribuye a las turbinas las cuales tienen acoplados generadores de energía eléctrica, luego esa energía es elevada por medio de transformadores de potencia a voltajes de las líneas de transmisión para el despacho de energía a los centros de carga del sistema.

1.13 ANTECEDENTES DEL TEMA DE ESTUDIO.

Actualmente en el laboratorio de la Universidad no se dispone de una aplicación demostrativa para conocimientos y prácticas de estudiantes de ingeniería eléctrica en lo referente a la operación de centrales eléctricas específicamente del tipo geotérmica. Con este proyecto se pretende preparar al estudiante para enfrentar los retos para optar cargos operativos en el mercado eléctrico. Actualizando así, el laboratorio de la universidad con las tendencias de última generación en la industria eléctrica y mantener constantemente actualizado al profesional ante los avances tecnológicos.



Imagen 19: Laboratorios mejorados.



Imagen 20: visión futura de simulador operacional.

1.14 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

El presente tema se evaluó por medio del método cualitativo ya que incluye entrevistas con los operadores, reuniones en la central generadora y reporte técnico.

A continuación, se presentan 2 de las 5 encuestas entrevistado a los operadores de las diferentes centrales:

1.14.1 Entrevista realizada a personas que han tenido un proceso para ser operadores de una central geotérmica.

Primera persona entrevistada; Cesar Adalid Pineda.

¿Como llego a ser operador?

En primer lugar, se deben tener sólidos conocimientos sobre electricidad, sobre mecánica, conocimientos sobre termodinámica; en mi caso pase por varias áreas dentro de la geotérmica pero el principal puesto que uno debe experimentar y conocerlo a profundidad es el de Auxiliar de Operación o también se le llama “Turbinero”, este es el puesto base para llegar a ser un Operador que es el puesto donde se tiene la responsabilidad de mantener en óptimas condiciones la planta generadora.

En mi caso pase 15 años como Auxiliar de operación para llegar a ser Operador.

¿Qué dificultades encontró en cada puesto?

La dificultad más grande en cada puesto es el poco conocimiento que se puede encontrar fuera de una central geotérmica, un Auxiliar de operación debe aprender dentro de la Generadora, considero que el tiempo mínimo para aprender básicamente es seis meses.

¿Cuánto tiempo se lleva para formar un “Turbinero”?

De acuerdo con mi experiencia el tiempo mínimo para formar un “Turbinero” es de 2 años.

¿Considera que hay un camino más fácil que el que tuvo usted para ser Operador?

Podría haber un camino más fácil, pero para ser Operario se debe tener alto criterio y sólidos conocimientos que solo se pueden obtener por la experiencia.

¿Cree usted que un simulador de operación sería buena herramienta para capacitarse sobre el tema de proceso de operación?

Para poder solucionar algunas fallas básicas podría ser una herramienta útil, o para ser una introducción básica a la Operación de una central geotérmica.

¿Cree usted que un estudio previo con un simulador operacional de una generadora geotérmica le habría minimizado el tiempo de aprendizaje en la generadora?

Considero que, si el simulador está muy cerca de los procesos reales en la generadora, si me hubiese acortado mucho el tiempo de aprendizaje.

¿Cree usted que un estudiante universitario sin conocimientos previos en operación de centrales geotérmicas podría llegar a ser Operador?

No lo creo, porque como he dicho los conocimientos de operación fuera de una central geotérmica son muy pocos y para ser operario debe ser un proceso experimental técnico más que teórico.

¿Podría un estudiante universitario con el uso previo de un simulador llegar a ser Operador sin antes haber experimentado los puestos de trabajo previos al de Operador?

Podría ayudar como lo he expresado previamente a los procesos básicos o fallas de operación básicas, pero no para ser un operador experto.

Segunda persona entrevistada; Douglas Salinas.

¿Cómo llego a ser operador?

Yo inicié como ayudante del operario previo a serlo yo, él me enseñó todo lo que conozco sobre la operatividad de una central geotérmica, en específico de esta generadora.

¿Qué dificultades encontró en cada puesto?

Bueno la dificultad más grande es saber cómo solucionar una falla, estar preparado con conocimientos previos ante cualquier tipo de falla, las fallas son impredecibles y se siente una inmensa presión al no saber cómo solucionarla.

¿Cuánto tiempo se lleva para formar un "Turbinero"?

El "Turbinero" se lleva un tiempo entre 2 a 3 años dependiendo de las habilidades de la persona.

¿Considera que hay un camino más fácil que el que tuvo usted para ser Operador?

El operario debe tener conocimientos sólidos que debe adquirir mediante la experiencia y el apoyo de alguien que conozca sobre el trabajo.

¿Cree usted que un simulador de operación sería buena herramienta para capacitarse sobre el tema de proceso de operación?

Si para un proceso teórico y luego ponerlo en práctica con el conocimiento de la maquinaria y el proceso en campo.

¿Cree usted que un estudio previo con un simulador operacional de una generadora

geotérmica le habría minimizado el tiempo de aprendizaje en la generadora?

Eso dependería de que tan cerca de los procesos se encuentra el simulador, que tan preciso con cada magnitud física de los dispositivos utilizados en los procesos reales se encuentra el simulador.

¿Cree usted que un estudiante universitario sin conocimientos previos en operación de centrales geotérmicas podría llegar a ser Operador?

Para una persona ajena a los procesos de una generadora geotérmica, aun para personas con procesos en otro tipo de generación renovable, sería difícil llegar a ser operador no porque no conozcan algo sobre el trabajo, sino más bien porque se necesitan muchos años de experiencia.

¿Podría un estudiante universitario con el uso previo de un simulador llegar a ser Operador sin antes haber experimentado los puestos de trabajo previos al de Operador?

El simulador podría ayudar a procesos básicos, pero no para formar a un operador al 100%, pero pienso que un simulador podría ser una manera excelente a que alguien sin cero conocimientos o pocos conocimientos se inicie en el ámbito de una central geotérmica y el proceso para operar una central geotérmica.

Nota:

Para la realización de este cuestionario se entrevistaron a 5 personas altamente experimentados como Operadores de central geotérmica, sus respuestas han sido similares por lo que se decidió solo conservar el de las dos personas más experimentadas en años permanecidos en este puesto de trabajo.

Se hizo investigación con visita de campo a las centrales geotérmicas de la empresa La Geo en Ahuachapán, Berlín y San Vicente con la finalidad de recabar información de los diferentes dispositivos para recolección de data, infraestructura de hardware y software, sistema de redes de comunicación, modos de operación de la central en lo que respecta al monitoreo en tiempo real, arranques y paros de unidades, procesos críticos, fallas frecuentes, limitantes operativas y organigrama de recurso humano.

El proyecto se programó dividirlo en tres etapas las cuales consisten:

Visitas de campo para recolección de información (1 mes)

Vaciado de información teórica a documento de tesis (3 meses)

Programación e implementación de la herramienta del simulador (2 meses)

CAPITULO 2: GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA Y PLANTAS DE GENERACION GEOTERMICA.

2.1 Energía eléctrica:

Es la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos (cuando se pone en contacto por medio de un conductor eléctrico) y obtener trabajo. La energía eléctrica puede transformarse en muchas otras formas de energía, tales como la energía luminosa o luz, la energía mecánica y la energía térmica

2.1.1 Como se manifiesta la energía eléctrica:

La energía eléctrica se manifiesta como corriente eléctrica, es decir, como el movimiento de cargas eléctricas negativas, o electrones, a través de un cable conductor metálico como consecuencia de la diferencia de potencial que un generador esté aplicando en sus extremos

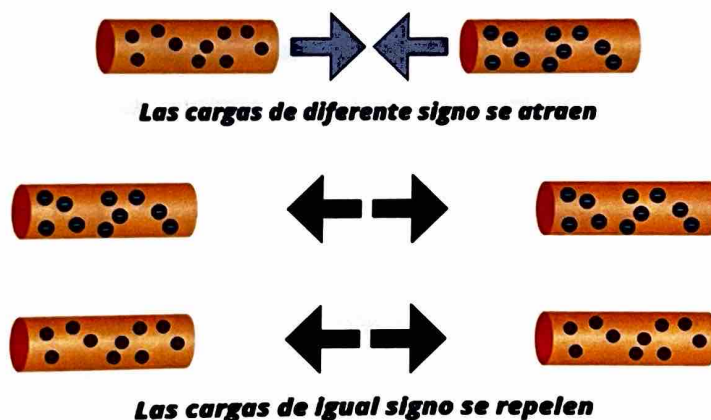


Imagen 21: Movimiento de cargas.

La generación de energía eléctrica engloba al conjunto de procesos distintos a través de los cuales puede producirse electricidad, o lo que es lo mismo, transformar otras formas de energía disponibles en la naturaleza (energía química, cinética, térmica, lumínica, nuclear, etc.) en energía eléctrica aprovechable.

La generación eléctrica se clasifica, normalmente, por el tipo de central eléctrica en la que se produce, o lo que es lo mismo, según qué procedimiento específico se utiliza para movilizar la turbina que hace girar la bobina que a su vez genera la electricidad. Así, tenemos:

- **Energía termoeléctrica de combustibles fósiles.** Las centrales termoeléctricas son aquellas que producen electricidad a partir de la energía calórica, hirviendo de grandes

cantidades de agua, o calentando similarmente otros gases, gracias a la combustión de diversos materiales orgánicos (carbón, petróleo, gas natural u otros combustibles fósiles) en una caldera interna. En estos casos, el gas en expansión es responsable de movilizar la turbina, y luego es enfriado para poder repetir el ciclo.

- **Energía termonuclear.** El principio de funcionamiento de la energía termonuclear no es distinto al de la termoeléctrica, con la salvedad de que el calor necesario para hacer girar las turbinas se obtiene a través de diversos procesos químicos de fisión de átomos pesados, es decir, bombardeando con partículas los núcleos atómicos de ciertos elementos, para forzarlos a convertirse en otros elementos más livianos y liberar una inmensa cantidad de energía. En estas plantas, conocidas como reactores, se sigue la misma lógica de la bomba atómica, pero aplicada a fines pacíficos. La desventaja es que produce residuos radiactivos de difícil manejo y altísima toxicidad.
- **Energía geotérmica.** En este caso el funcionamiento de la planta eléctrica obedece al modelo termoeléctrico, pero sin la necesidad de combustibles ni de calderas, pues se aprovecha el calor interno de la corteza terrestre. Para ello, se requiere de un emplazamiento tectónico conveniente, o sea, de un área con actividad tectónica que permita verter agua hacia las profundidades terrestres y aprovechar el vapor resultante para movilizar las turbinas eléctricas.
- **Energía termo solar.** Este tipo de plantas eléctricas aprovechan la luz del sol, enfocándola y concentrándola mediante un complejo sistema de espejos, para así calentar líquidos a temperaturas de entre 300 y 1000 °C, e iniciar así el proceso termoeléctrico de generación.
- **Energía fotovoltaica.** Este tipo de energía también se obtiene aprovechando la luz solar, pero en un sentido distinto: mediante grandes campos de células fotovoltaicas, compuestas por diodos sensibles a la luz solar, que generan pequeños diferenciales de potencial en sus extremos. Se requieren grandes emplazamientos de estos paneles solares para generar electricidad, pero al mismo tiempo se lo hace sin requerir de materia prima y sin contaminar demasiado el ambiente.
- **Energía hidroeléctrica.** En este caso, las turbinas eléctricas de la planta de generación no se mueven por acción del calor, sino aprovechando la energía mecánica de una caída de agua. Se requiere de una topografía específica para ello, como cataratas, saltos, ríos

caudalosos o cuerpos de agua en los que puedan implantarse diques o represas. Más allá de la brutal modificación de estos cuerpos de agua y de sus ecosistemas propios, se trata de una forma de energía limpia, barata y segura.

- **Energía mareomotriz o undimotriz.** Se llama así a las plantas de obtención de energía eléctrica a partir de las mareas o de las olas marinas, a través de instalaciones costeras que a través de dispositivos flotantes aprovechan el empuje del agua para movilizar las turbinas. Se trata sin embargo de formas poco potentes y rentables de obtención de energía, al menos por el momento.
- **Energía eólica.** En las plantas eólicas se aprovecha el empuje del viento, especialmente en regiones en que sopla constantemente, como las zonas costeras, las grandes planicies, o similares. Para ello se disponen de campos enteros de hélices gigantes, sensibles al paso del viento, que al moverse transmiten la energía mecánica a una turbina eléctrica. Se trata de una forma relativamente económica y segura de producción de electricidad, pero desafortunadamente muy poco potente y con un costo importante en materia del paisaje.

2.1.2 Diagnóstico eléctrico en procesos industriales en plantas eléctricas

Un diagnóstico completo del sistema eléctrico debe incluir mediciones eléctricas con equipo especializado para análisis de calidad de energía.

1. **Mediciones eléctricas:** Se realiza con equipo especializado para analizar la calidad de la energía.
2. **Análisis termográfico:** Se realiza como parte del diagnóstico.
3. **Revisión del sistema de puesta a tierra:** Se realiza como parte del diagnóstico.
4. **Inspección de la instalación:** Se realiza por un ingeniero especialista.
5. **Pruebas de resistencia o presión:** Se realizan para garantizar que no haya riesgo al energizar el circuito.
6. **Pruebas de CC:** Se realizan para obtener información adicional, como la medición de la polarización o la resistencia del aislamiento.
7. **Pruebas de CA:** Se realizan para obtener un mayor nivel de flexibilidad de diagnóstico.

Para hacer un diagnóstico energético, se pueden seguir los siguientes pasos:

- **Análisis previo.**
- **Levantamiento de datos.**

- Mediciones.
- Identificación de oportunidades.
- Contabilidad energética.

2.2 Centrales generadoras de energía eléctrica

2.2.1 Centrales eléctricas registradas en el país

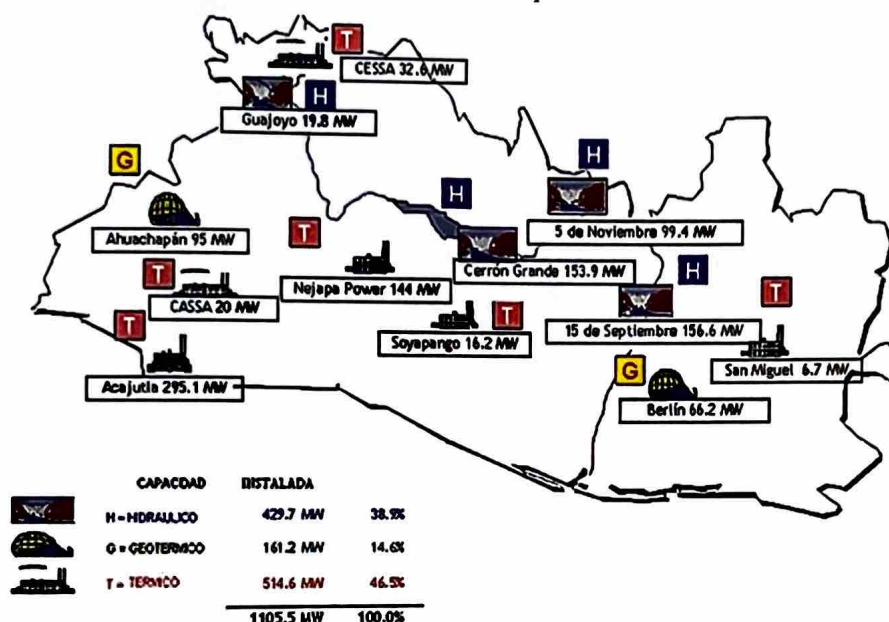


Imagen 22: Centrales de generación eléctrica en El Salvador

2.3 Tipos de generación eléctrica

2.3.1 Centrales hidroeléctricas .

- **Central Guayoyo:** esta central genera un nivel de potencia de 19.8 MW
- **Central Cerrón Grande:** esta central genera un nivel de potencia de 153.9 MW
- **Central 5 de noviembre:** está central genera un nivel de potencia de 99.4 MW
- **Central 15 de septiembre:** está central genera un nivel de potencia de 156.6 MW

2.3.2 Centrales Térmicas:

- **Central CESSA:** esta central genera una potencia de 32.6 MW
- **Central CASSA:** esta central genera una potencia de 20 MW
- **Central Acajutla:** esta central genera una potencia de 295.1 MW
- **Central Nejapa Power:** esta central genera una potencia de 144 MW
- **Central Soyapango:** esta central genera una potencia de 16.2 MW.

2.3.3 Centrales geotérmicas:

- **Central geotérmica Ahuachapán:** esta central genera una potencia de 95 MW
- **Central geotérmica Berlín:** esta central genera una potencia de 113.4 MW.

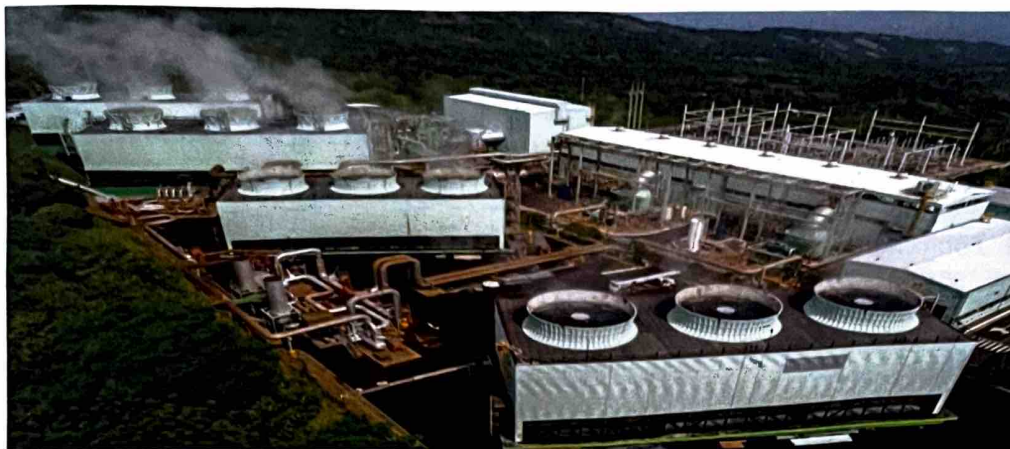


Imagen 23: Central Geotermica Berlín.

2.3.4 Centrales hidroeléctricas

- **Central hidroeléctrica Guajoyo**

Ubicada a 99 Kilómetros de San Salvador, la planta generadora Guajoyo, de 15 MW opera con agua almacenada en el lago de Guija; entró en operación en diciembre de 1963. Consiste en una presa de control de concreto de 33 m. de altura, un dique de control de tierra de 12.5 m. de altura, un vertedero de fondo con una compuerta radial y un aliviadero de 4 bahías control, mamparos, canal de acceso, bocatoma de concreto, túnel de concreto de 6.25 m. de diámetro y 300 m. de longitud y una casa de máquinas de concreto semisubterránea.



Imagen 24: Central Hidroeléctrica Guajoyo.

- **Central hidroeléctrica Cerrón grande**

Dicha central, ubicada a 78 Kilómetros de San Salvador está formada por una presa de 90m. de altura desde su fundación, con una longitud de 800m. formada de materiales granulares clasificados, un vertedero de concreto de 4 compuertas y una casa de máquinas superficial. La primera unidad entro en operación en febrero de 1976 y la segunda en febrero de 1977. Cada unidad posee una capacidad de 67.5 MW. Durante el año 2002 una de las unidades fue repotenciada alcanzando una potencia de 85 MW

Ubicación: Sobre el río Lempa, cantón Monte Redondo, jurisdicción de Protónico, departamento de Chalatenango y cantón San Sebastián, jurisdicción de Jutiapa, departamento de Cabañas.



Imagen 25: Central Hidroeléctrica Cerrón Grande.

- **Central hidroeléctrica 5 de noviembre**

La construcción de dicha central inició en el sitio denominado Chorrera del Guayabo, a 88 Kilómetros de San Salvador. Esta central conformada por una presa de gravedad de concreto con 65m. de altura, un vertedero de 7 compuertas y una casa de máquinas subterránea, fue inaugurada el 21 de junio de 1954 con una capacidad inicial de 30 MW (2 unidades generadoras de 15 MW cada una). La tercera unidad entro en operación en marzo de 1957 con 15 MW respectivamente, la cuarta unidad de las mismas características entro en operación en septiembre de 1961, la quinta unidad de 21.4 MW entro en operación en julio de 1966, elevándose la capacidad instalada de la planta a 81.4 MW. Posterior a su rehabilitación, se elevó su capacidad a 99.4 MW.

Ubicación: Sobre el río Lempa, cantón San Nicolás, jurisdicción de Sensuntepeque, departamento de Cabañas y cantón Potrerillos, jurisdicción de Nombre de Jesús, departamento de Chalatenango.



Imagen 26: Central Hidroeléctrica 5 de Noviembre.

- **Central hidroeléctrica 15 de septiembre**

Esta central fue construida durante los años de 1983-1984, ubicada a 90 Kilómetros de San Salvador, constituye la mayor capacidad de CEL y cuenta con dos unidades (turbinas) de 78.3 MW cada una; la primera entró en operaciones en septiembre de 1983 y la segunda en marzo de 1984. Consiste en una presa de relleno de roca de 57.2m. de altura, un vertedero de concreto de 8 compuertas, una bocatoma integral y una casa de máquinas superficial.

Ubicación: Sobre el río Lempa, cantón San Lorenzo, jurisdicción de San Ildefonso, departamento de San Vicente y cantón Condadillo (puente Cuscatlán), jurisdicción de Estanzuelas, departamento de Usulután.



Imagen 27: Central Hidroeléctrica 15 de Septiembre.

2.3.5 Central Térmica.

Una central termoeléctrica, también llamada central térmica, es una instalación que genera electricidad a partir de energía térmica.

Su proceso se manifiesta en la siguiente imagen:

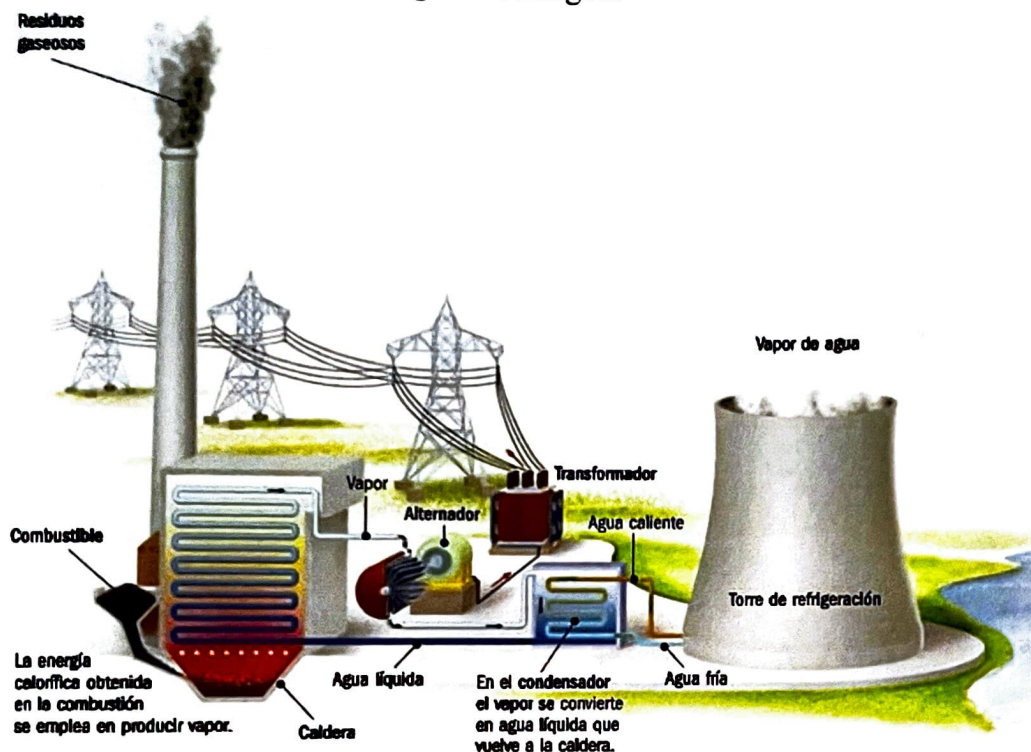


Imagen 28: Proceso Termoeléctrico.

- **Central térmica CESSA**

El 21 de agosto de 1997, Cemento de El Salvador inauguró su planta generadora de energía eléctrica con 18.6 MW en la ciudad de Metapán. El propósito del proyecto era abastecer de forma interrumpida las necesidades de energía eléctrica de las plantas productoras de cemento y, además, vender los excedentes a terceros de acuerdo con la Ley General de Electricidad.

Debido a la evolución del mercado eléctrico nacional, se aprobó la alternativa de la construcción de 21 Km. de línea de subtransmisión a 46 Kv. Esta línea permite la participación directa de CESSA en el mercado nacional, vendiendo los excedentes.

- **Central térmica CASSA**

Central Izalco constituye un ejemplo claro de economía por aprovechamiento de sus residuos vegetales de la producción, específicamente el bagazo de la caña de azúcar, a partir de la cual se

logra cogenerar electricidad en exceso de su propia demanda y venta al mercado local. Actualmente la planta se encuentra adecuada para tener capacidad de producir más de 60 MW, de los cuales 50 MW son producidos en período de zafra y los restantes 10 MW son producidos después del período de zafra. La empresa destina la venta del excedente al mercado nacional de aproximadamente 35 MW.



Imagen 29: Grupo CASSA.

- **Central térmica Acajutla**

Acajutla juega un papel muy importante en la dinámica de la economía salvadoreña, allí se localiza la central térmica que cuenta con cinco unidades generadoras de electricidad, de las cuales dos unidades funcionan a vapor y tres a gas. Esta central comenzó a operar en febrero de 1969, con la puesta en funcionamiento de su primera unidad generadora, que tiene capacidad de 30 MW de potencia.



Imagen 30: Central Termoeléctrica Acajutla.

- **Central Térmica Nejapa Power**

Nejapa Power cuenta en la actualidad con dos áreas de generación de electricidad. La primera de estas secciones posee 17 generadores y la segunda cuenta con 10; cada uno de los generadores posee una capacidad de producción de 5.4 MW.

Nejapa Power tiene una capacidad instalada de 144 MW, que le permite satisfacer en un 22% de la demanda total del país, esta planta cuenta con 2 tanques que le permiten almacenar 1 millón de galones de combustible cada uno

Según SIGET, el incremento de la demanda de energía térmica responde a la baja en la generación de electricidad por medios hidráulicos y por la baja en las importaciones. Nejapa Power inició sus operaciones en julio de 1995.



Imagen 31: Central Termoeléctrica Nejapa.

- **Central Térmica Soyapango**

Con la infraestructura que posee la central térmica, está capacitada para proveer 18 MW de energía, si es que así se lo demandan las distribuidoras o el mercado mayorista. La generación de la central térmica se efectúa a través del uso de bunker como combustible, derivado del petróleo que posee un menor costo.

La central posee 3 motores Wartsilla cada uno conectado a un generador y a un turbo, los que se encargan de la producción de la energía eléctrica, la cual utiliza la distribuidora CAESS para abastecer el Gran San Salvador.

2.4 Energías primarias renovables.

2.4.1 Generación solar.

Se trata de la energía obtenida directamente del Sol (que es, al mismo tiempo, origen de todas las energías renovables). En función del mecanismo de aprovechamiento que se utilice se podrá obtener calor o electricidad.

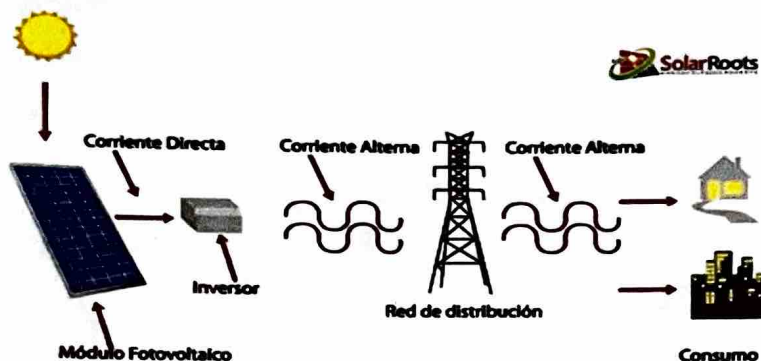


Imagen 32: Proceso de Generación Fotovoltaica.

- **La energía solar fotovoltaica:** se trata del aprovechamiento de la energía que procede del Sol y su transformación en energía eléctrica. La corriente eléctrica producida podrá ser directamente consumida, almacenarse en baterías o acumuladores o adaptarse para su incorporación a la red eléctrica.
- **La energía solar térmica:** consiste en aprovechar la energía que se recibe del Sol para la obtención de calor, pudiéndose utilizar para climatizar edificios, producir agua caliente o para aplicaciones industriales.

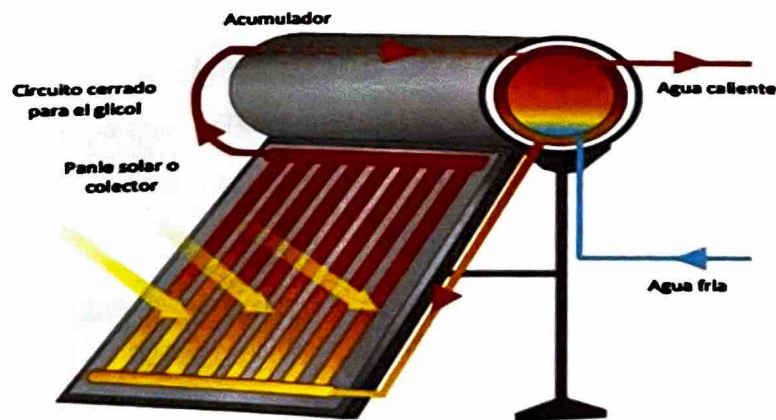


Imagen 33: Aprovechamiento de energía termosolar.

- **La energía solar termoeléctrica:** en las centrales termo solares se calienta un fluido que genera vapor de agua a presión que produce electricidad que se puede introducir en la red eléctrica.

Una de las opciones que permite la energía solar fotovoltaica y la eólica de pequeña potencia es la de generar energía eléctrica propia, lo que se conoce como autoconsumo. Mediante este autoconsumo se posibilita el consumo de la energía producida por la instalación de energía renovable en los momentos en que sea precisa su utilización en los edificios y viviendas, también, cuando no se necesite la energía, ésta pueda verse a la red eléctrica.

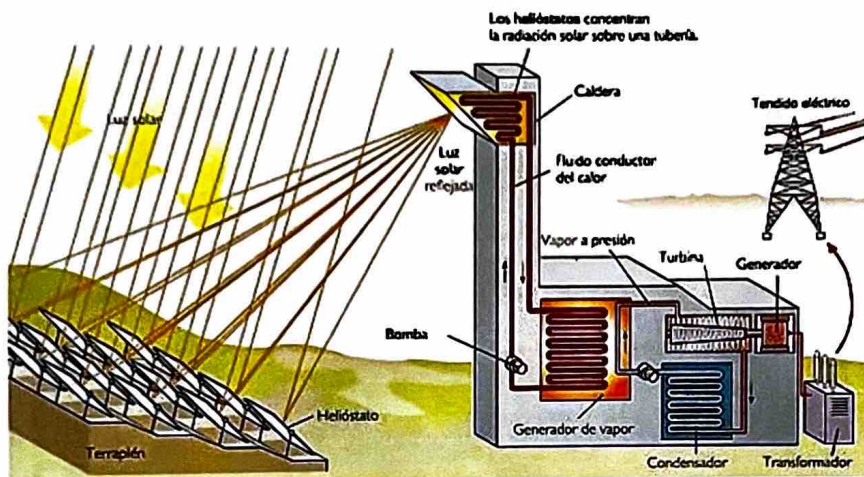


Imagen 34: Energía solar Termoeléctrica.

2.4.2 La energía eólica.

Consiste en aprovechar la energía del viento, por medio de los denominados aerogeneradores o molinos. El aerogenerador es el elemento principal de este sistema de energía renovable, siendo el más común el que convierte la energía del movimiento del aire en energía eléctrica que finalmente se transmite a la red eléctrica. Típicas instalaciones eólicas son las mini eólicas aisladas de la red eléctrica y las plantas o parques eólicos conectados a la red eléctrica.

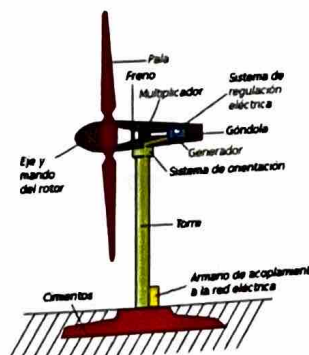


Imagen 35: Energía Eólica.

2.5 Energías no renovables.

2.5.1 *Petróleo*

Es una sustancia compuesta por una mezcla de hidrocarburos, de color oscuro y olor fuerte, de color negro y más ligera que el agua.

Su sitio natural son yacimientos de rocas sedimentarias en las que por la acumulación durante millones de años de plantas y animales se produce este compuesto capaz de dar lugar a la gasolina, el queroseno, el alquitrán, los disolventes, etc.

2.5.2 *Carbón*

Procede, de forma similar, de restos orgánicos. En este caso, sobre todo vegetales. Se trata de restos de plantas fosilizados que se queman para obtener energía.

El papel del carbón ahora mismo está muy denostado en la opinión pública, pero su producción y uso continúa pese a lo dañino de sus emisiones.



Imagen 36: Excavaciones de carboneras.

2.5.3 *Gas natural.*

Es un combustible de origen fósil, que consiste en una mezcla de hidrocarburos ligeros compuestos principalmente por metano, nitrógeno, dióxido de carbono y etano. Se localiza en el subsuelo o bajo el mar, y debe pasar por una doble transformación desde su extracción hasta su posibilidad de uso efectivo.

2.6 Plantas de Generación Geotérmica.

Los sistemas de generación de energía geotérmica funcionan mediante el aprovechamiento de del vapor ubicado en el suelo y subsuelo, el origen de estos yacimientos depende de ciertos factores como la geografía y geología de un determinado lugar o región, en los siguientes artículos se describen estos conceptos.

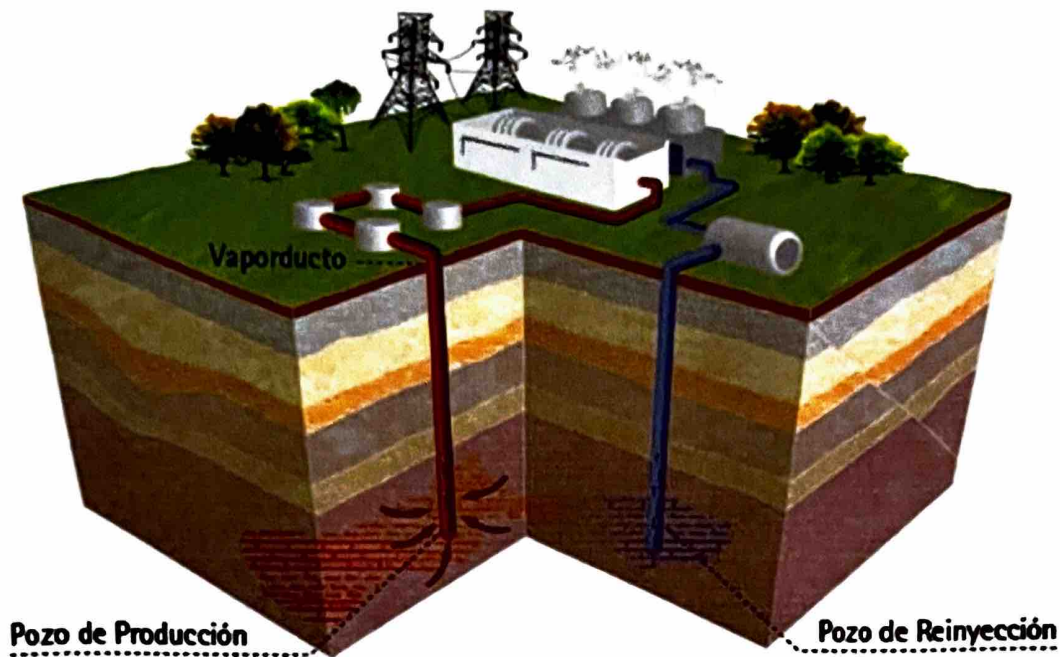


Imagen 37: Generación de energía eléctrica geotérmica.

Tecnologías principales que utilizan las generadoras geotérmicas.

2.6.1 Vapor Seco:

El fluido que llega a la superficie, proveniente de las fracturas del suelo, es vapor en estado de saturación o bien ligeramente recalentado (vapor seco); este vapor se dirige directamente a una turbina que acciona un generador para producir electricidad.

Implica el uso de vapor a muy alta temperatura, cerca de los 230°C , con presiones muy altas para activar directamente las turbinas de vapor acopladas al generador eléctrico.

El uso de ese vapor comienza con un filtrado ligero, pero sin separar el agua del vapor. Después de pasar por la turbina el vapor residual se refrigera en un condensador para hacerlo completamente líquido. Finalmente, el agua es reinyectada al yacimiento para volver a ser calentada en un proceso posterior. Debido a que el vapor mezclado con agua es inyectado directamente en la turbina, ésta

sufre mucho desgaste debido al impacto de las partículas de agua a presión, lo que conlleva un elevado coste de mantenimiento y una menor eficiencia.

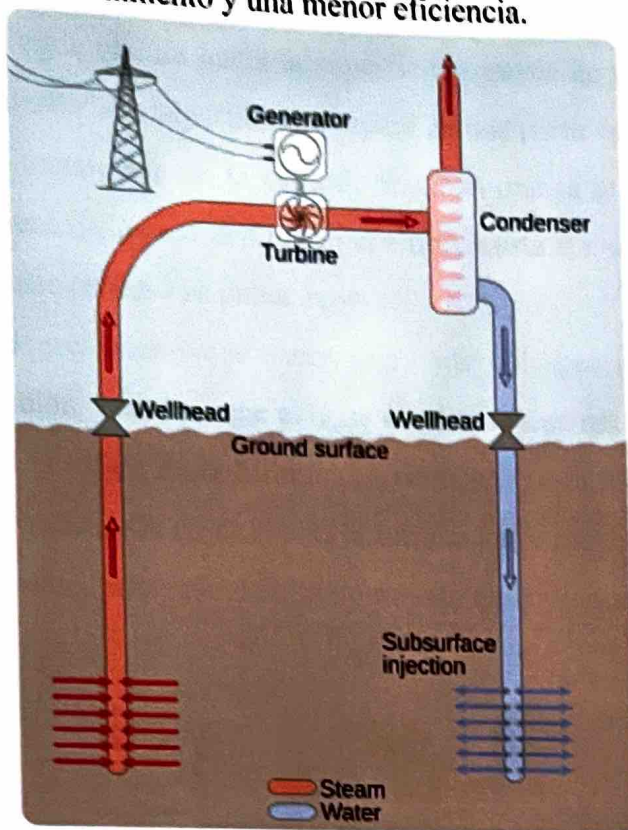


Imagen 38: Central de vapor seco.

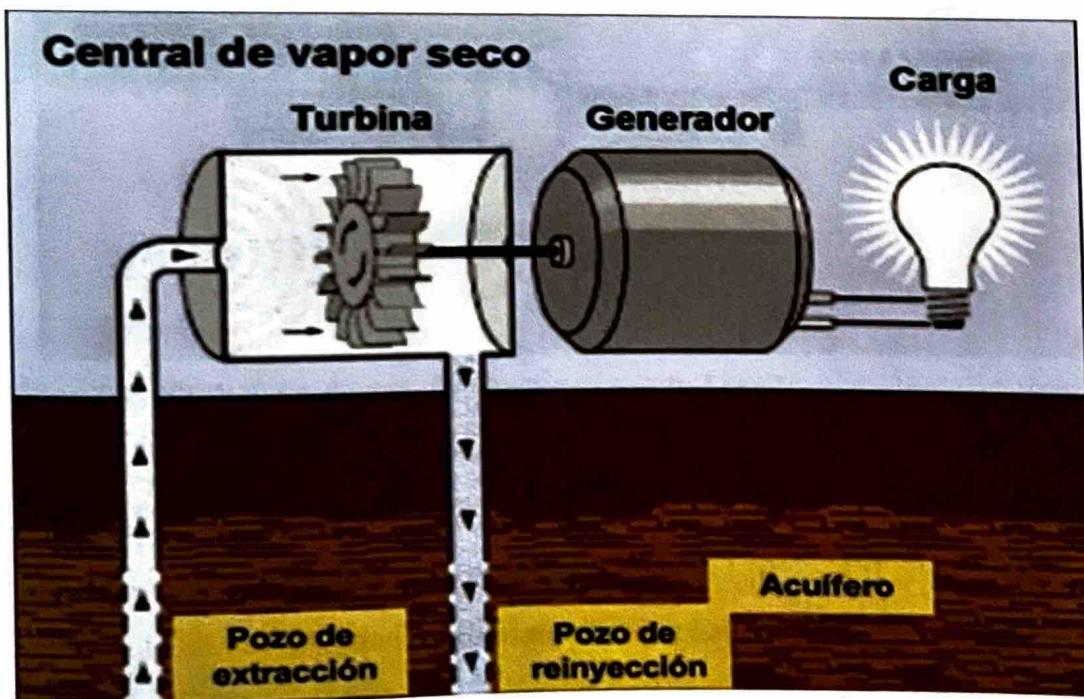


Imagen 39: Proceso central de vapor seco.

2.6.2 Vapor de destello:

En las centrales de este tipo se aprovechan los yacimientos de agua a temperaturas de entre 150-170°C. El vapor de agua circula hacia la superficie a través de unos pozos y, debido al rápido cambio de presión al salir a la superficie, se separa en una parte de vapor y en otra de líquido.

La primera sirve directamente en la central, mientras que la otra se vuelve a introducir en el depósito del yacimiento. Cuando el fluido geotérmico está a muy alta temperatura y llega a la superficie con ella, este proceso se puede repetir.

En este sistema, las presiones bajas hacen que parte del agua contenida se vaporice antes de enviarlo hacia la turbina, mientras que el agua condensada se reinyecta en el yacimiento junto al vapor condensado a la salida de la turbina. La ventaja de esta tecnología es que, al no contener partículas de agua condensada en el vapor, la turbina sufre menos deterioro y se disminuyen los costes de mantenimiento, aumentando el rendimiento del proceso.

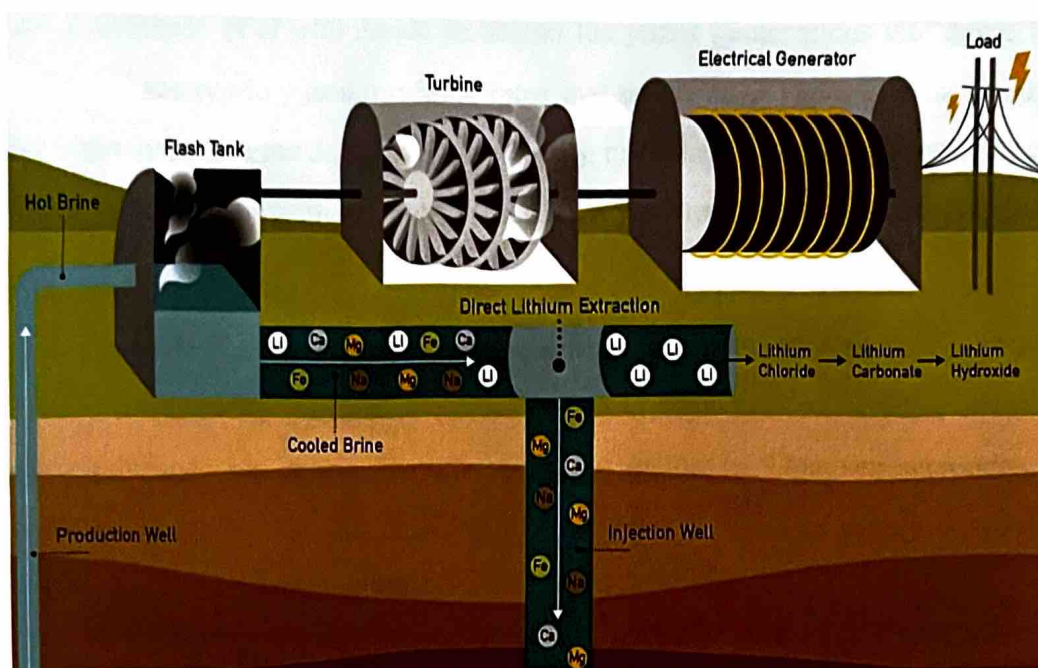


Imagen 40: Proceso de generación con vapor de destello.

2.6.3 Ciclo binario:

En los recursos a temperaturas moderadas, entre 120 y 180°C, el fluido se utiliza para producir vapor mediante un intercambiador de calor, en el que hay un segundo fluido con una temperatura de ebullición más baja que la del agua (menos de 100°C). Este fluido secundario tiene su propio recorrido, llegando a la turbina, donde posteriormente se condensa y se vuelve a enviar al intercambiador en un circuito cerrado.

2.7 Como funciona una central geotérmica.

El funcionamiento de una central geotérmica o geo termoeléctrica se basa en la compleja operación de un sistema campo-planta.

El campo geotérmico es una extensión de tierra con un mayor gradiente (temperatura) que lo normal. También se conoce como área con calentamiento anómalo, cuya fuente de calor es un acuífero confinado (depósito de agua) almacenado y limitado por una capa sello, impermeable, que conserva el calor y presión, formando lo que se conoce como reservorio geotérmico. Este yacimiento de agua almacenado y calentado de forma natural en el subsuelo por una fuente de calor no muy profunda denominada cámara magmática, usualmente está relacionado con la actividad volcánica. La alta presión que alcanzan estos reservorios (yacimientos de agua y vapor presurizado) muchas veces rompe los estratos rocosos o utilizan las fallas geológicas existentes y salen a la superficie en forma de fumarolas, manantiales de agua caliente, ausoles o géiser.

El campo geotérmico es el sitio donde se ubican los pozos geotérmicos que desde la superficie conectan con el reservorio y es a través de éstos que se extrae el vapor que mediante una red de tuberías denominado sistema de acarreo, se conduce hacia la central generadora, donde la energía calorífica del vapor se convierte en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica.

2.7.1 Proceso de generación.

El proceso inicia con la extracción de una mezcla de vapor y agua geotérmica desde del reservorio geotérmico a través de los pozos productores, ya en la superficie, se separan el vapor del agua geotérmica utilizando un equipo llamado separador ciclónico. Una vez separados, el agua se reinyecta nuevamente al subsuelo, mientras que el vapor de agua en estado gaseoso ya seco es conducido hasta la central generadora.

En la central geotérmica, la fuerza o energía del vapor activa la turbina cuyo rotor gira a unas 3 mil 600 revoluciones por minuto, que a su vez activa el generador, donde el roce con el campo electromagnético transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Del generador salen 13 mil 800 voltios, que se transfieren a los transformadores que los convierte en 115 mil voltios, que son inyectados a las líneas de alta potencia para ser entregados a las subestaciones y de ahí hacia los hogares, fabricas, escuelas y hospitales, entre otros.

El vapor geotérmico, después de haber hecho girar la turbina, es condensado (convertido en agua) y reinyectado al subsuelo, donde mediante un proceso de tipo reciclable, el agua se puede volver a calentar y convertirse en vapor que puede extraerse nuevamente para volver a impulsar una

turbina. De esta forma la geotermia se convierte en una fuente de generación de energía eléctrica limpia, cíclica, renovable y sostenible, ya que con la reinyección se logra recargar el recurso, alargando su vida útil o productiva a través de un aprovechamiento sostenible de la fuente.

La energía geotérmica es reconocida a nivel mundial como fuente de generación de electricidad amigable con el medio ambiente debido a que no produce gases tóxicos ni causantes de efecto invernadero, el uso de áreas de suelo no es extenso y con un manejo adecuado sus implicaciones ambientales son mínimas y fáciles de prevenir o mitigar.

2.8 Ventajas y desventajas de la generación geotérmica.

2.8.1 Ventajas.

Es confiable, respetuosa con el medioambiente (renovable y sostenible), muy buena para la calefacción y refrigeración y, además, tiene un gran potencial.

La energía geotérmica proviene de las grandes reservas de calor que se encuentran bajo la superficie de la tierra.

Las centrales geotérmicas aprovechan el calor que hay bajo tierra y lo usan para poner en funcionamiento turbinas de vapor que generan electricidad.

Los sistemas geotérmicos pueden calentar y enfriar aprovechando las diferencias entre las temperaturas de la superficie y las del subsuelo.

La geotermia tiene el potencial de convertirse en una de las fuentes de energía más importantes a nivel global, pero su alto costo inicial se lo dificulta.

2.8.2 Desventajas.

- Tiene un alto costo inicial.
- Depende mucho de la localización.
- Genera residuos.
- En casos extremos, provoca movimientos telúricos llegando inclusive a terremotos.

2.9 ¿Cómo se aprovecha la energía y cómo se obtiene el recurso primario?

2.9.1 Ciclo directo sin condensación:

Este es el ciclo más simple y barato en cuanto a costo de planta. El vapor procedente directamente del pozo pasa a las turbinas de donde escapa a la atmósfera. Estas unidades pueden llegar a consumir doble cantidad de vapor por kilovatio producido que las unidades con condensación.

Se suelen usar como plantas pilotos, o bien para pequeños suministros locales a partir de pozos de producción aislados e incluso como pequeñas centrales de punta.

Su uso es obligado cuando el contenido en gases no condensables es superior al 50% o cuando el contenido total de gases excede del 10%, debido al alto costo que representaría la separación de gases en los condensadores.

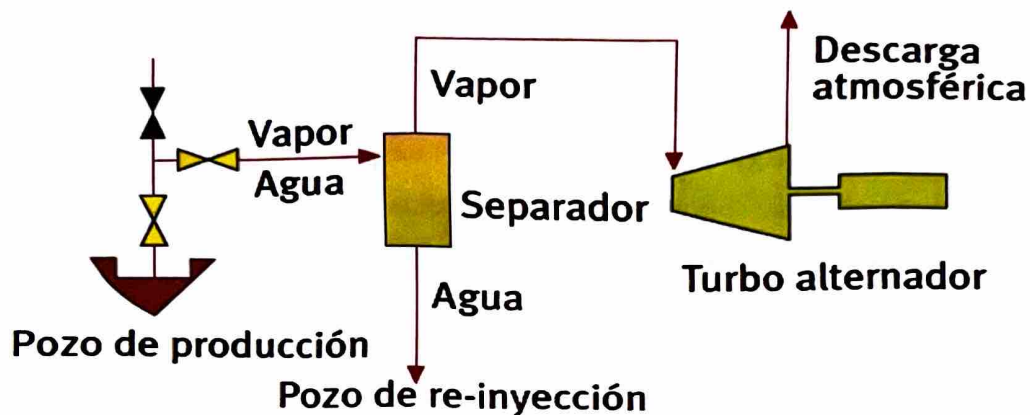


Imagen 41: Ciclo sin condensación.

2.9.2 Ciclo directo con condensación:

Este es el más común de los ciclos utilizados en caso de vapor seco, en ellos, el vapor, después de pasar por las turbinas, es condensado extrayéndose los gases contenidos en el vapor.

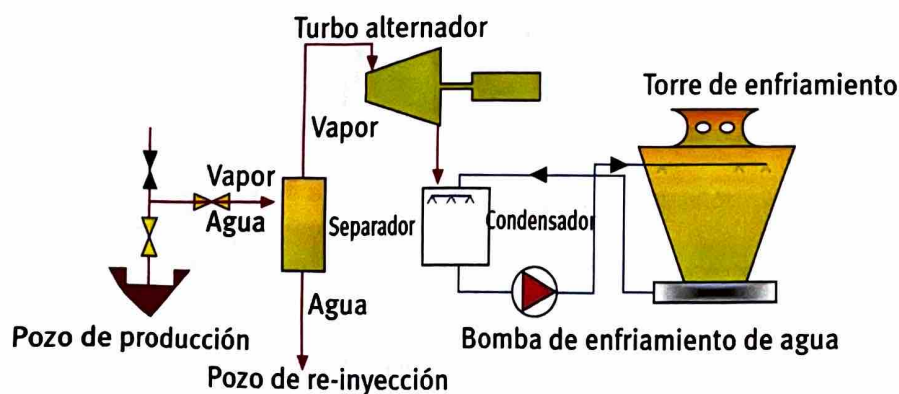


Imagen 42: Ciclo con condensación.

2.9.3 Ciclo indirecto con condensación y recuperación de aguas mineralizadas:

Algunas veces la naturaleza corrosiva del vapor es tal que impide su paso directo a las turbinas.

Anteriormente el vapor procedente del pozo cedía su energía a un vapor limpio que era el que pasaba a las turbinas. Hoy día este ciclo es casi inusual debido al avance conseguido en los materiales para turbinas, que resisten la presencia de productos corrosivos en el vapor. Los minerales más comúnmente recuperados eran ácido bórico y amoníaco. El valor de estos minerales hacía competitivo el sistema a pesar del despilfarro energético que representaba. Se utilizaron hasta aproximadamente la mitad del siglo XX en que surgieron otros métodos más económicos de producción de los citados minerales.

Mucho más frecuentes son, sin embargo, los yacimientos geotérmicos en los que el fluido se compone de una mezcla de agua y vapor (vapor húmedo). La energía recuperable en este tipo de yacimientos es muy superior a la que se recupera en los campos de vapor dominante. Los campos de agua caliente se explotan generalmente mediante ciclo semidirecto con flash en una o varias etapas y con condensación. Este ciclo es el utilizado en las centrales geo-termoeléctricas más abundantes. La primera operación que se realiza es la separación de las fases vapor y agua líquida. El vapor se envía a la turbina de alta presión o a la zona de alta de turbinas multietapas. El agua caliente separada es sometida a flashing, con separación de vapor a baja presión que se envía a turbinas de baja presión o a la zona de baja de las turbinas multietapas. Esta operación puede ser repetida tantas veces como lo permita la entalpía del agua separada.

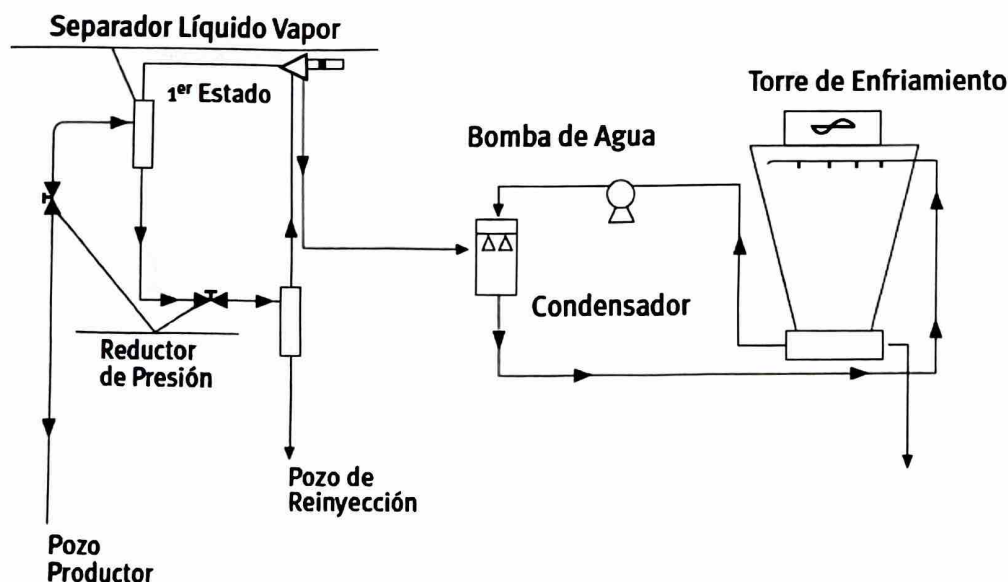


Imagen 43: Proceso con condensación y pozo de reinyección.

2.9.4 Plantas con ciclo de doble flash:

Este tipo de ciclos semidirectos también se pueden llevar a cabo sin ningún flashing con lo que el agua procedente del separador es eliminada directamente, produciendo electricidad únicamente con el vapor procedente de la primera separación, aunque desaprovechando gran cantidad de energía.

Tanto en los casos en que los fluidos no tengan la suficiente entalpía como en aquellos en que el fluido tenga un elevado nivel de salinidad (campos de salmueras), se utilizan ciclos binarios en los que el fluido que se envía a turbina no es el propio fluido geotérmico.

En estos ciclos el fluido geotérmico cede su calor a un fluido binario a través de un intercambiador; una vez que este fluido adquiere el calor suficiente y ya en fase vapor, pasa a las turbinas. Posteriormente, tras un proceso de condensación, el fluido binario vuelve al intercambiador, por lo que este fluido se encuentra en un circuito cerrado. Cuando el fluido geotérmico tiene suficiente entalpía (>200 kcal/kg), se puede utilizar como fluido binario agua. Sin embargo, cuando el fluido geotérmico tiene menor entalpía (yacimientos de media temperatura), se usa como fluido binario alguno con bajo punto de ebullición (freones, isobutanos, isopropanos, etc.). Las dificultades, en cuanto a costes y rendimientos, que este tipo de plantas binarias tenían hace años, están hoy absolutamente superadas con el desarrollo de nuevos ciclos (Kalina, etc.), lo que permite que extensas zonas con almacenes de media temperatura ($100-150^{\circ}\text{C}$), así como aquellos procedentes de yacimientos de rocas calientes, se puedan utilizar para generar electricidad.

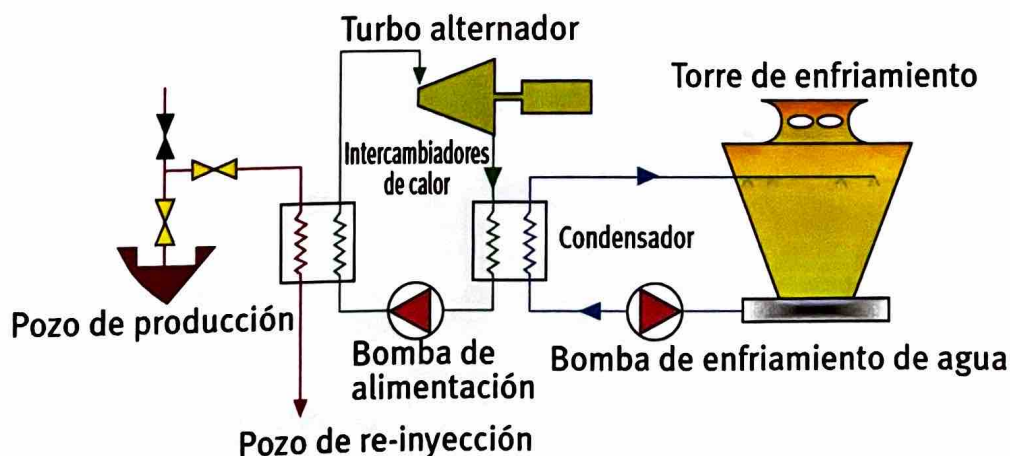
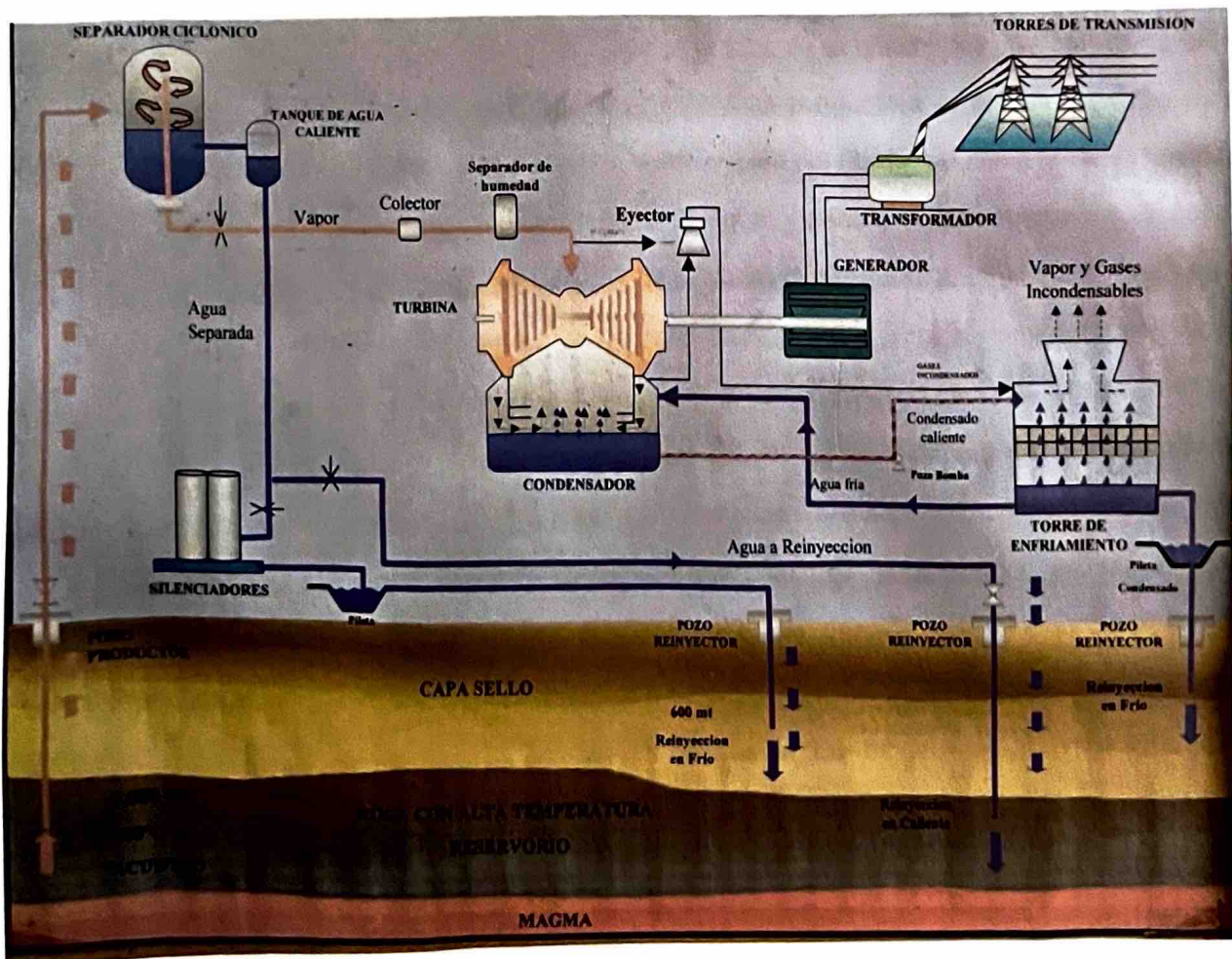
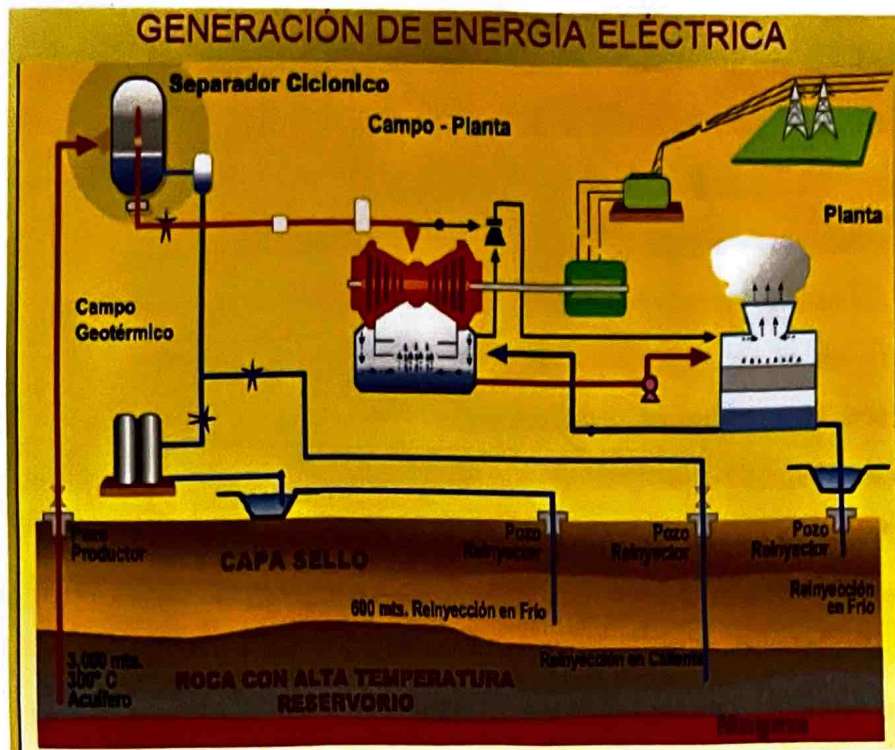


Imagen 44: Ciclo con doble flasheo.

2.10 Componentes de una planta geotérmica y su forma de obtener energía.



El equipamiento que caracteriza a una central geotérmica es el que se deriva del tipo de recurso utilizado. Básicamente son los sondeos de producción con sus cabezales y válvulas, las tuberías de conducción del fluido geotérmico, las bombas de impulsión, los posibles separadores e intercambiadores y las turbinas. Los materiales empleados dependen fundamentalmente de las características químicas y termodinámicas del fluido geotérmico. Los sondeos de explotación para extraer el vapor o agua caliente se perforan con técnicas similares a las utilizadas para el petróleo, y las únicas diferencias derivan de las altas temperaturas que deben soportar los pozos asociados a un yacimiento geotérmico, lo que afecta al sistema de circulación del fluido, al tipo de cimentación de las paredes, al tipo de cable de perforación y al entubado del pozo. Normalmente, se perfora a rotación, y el fluido utilizado es lodo o aire comprimido. La profundidad de los pozos puede ser muy variable, desde algunos centenares de metros hasta más de 6.000 m. La tubería de perforación está formada por un conjunto de tubos de acero cilíndricos, conectados en sus extremos por collares o uniones de tubería, y su finalidad es transmitir a la barrena el par mecánico, proveniente de la mesa rotatoria, con el mínimo posible de pérdidas. A la vez debe permitir, por su interior, el paso del fluido de perforación hasta la barrena. Las barrenas habituales son triconos de inserción con dientes de acero o de vidia. Cuando la roca no es consolidada, se coloca un tubo de revestimiento para evitar desprendimientos. En la zona productora se coloca un filtro para retener los sólidos gruesos. Debe soportar la posible corrosión del fluido, así como la fatiga térmica derivada de las variaciones de temperatura entre producción y parada. Normalmente son de acero de alta calidad. Las turbinas de vapor son máquinas térmicas que generan energía a partir de vapor a alta presión y temperatura; este vapor se expansiona hasta una presión menor y parte de la diferencia de entalpía entre el vapor entrante y saliente se convierte en energía mecánica en el eje de la máquina. En función de sus condiciones de trabajo, las turbinas de vapor suelen agruparse en los siguientes tipos básicos de turbinas: condensación, contrapresión, condensación con extracción intermedia y con recalentamiento intermedio. El condensador es un equipo indispensable en cualquier planta eléctrica alimentada con energía geotérmica; su objetivo primordial consiste en mantener una temperatura de condensación lo suficientemente baja para que la relación de expansión en la turbina sea aceptable. En función de las características particulares de cada lugar, como por ejemplo disponibilidad de agua superficial, desnivel utilizable, factores meteorológicos, tecnología disponible, etc., se elige el tipo de condensador más adecuado. Los más normales son condensadores coraza tubo, de contacto directo o refrigerados

por aire. Las torres de enfriamiento son equipos destinados a enfriar agua, procedente del condensador, a costa de ceder calor al aire atmosférico. En función del mecanismo de circulación de aire, se distinguen dos tipos de torres de refrigeración: torres de tiro natural y torres de tiro forzado.

Las turbinas de vapor convencionales requieren fluidos a temperaturas de al menos 150°C y están disponibles con descarga atmosférica (back pressure) o bien con descarga de condensación. Las turbinas con escape atmosférico son más simples y de menor costo. El vapor, directamente de pozos de vapor seco o, después de la separación, desde pozos de vapor húmedo, es pasado a través de la turbina y descargado a la atmósfera. Con este tipo de unidad, el consumo de vapor (de la misma presión de ingreso) por kWh producido es casi el doble que en las unidades de condensación. Sin embargo, las turbinas de descarga atmosférica son inmensamente útiles como plantas pilotos, plantas portátiles en el caso de pequeños abastecimientos desde pozos aislados, y para generar electricidad con pozos exploratorios durante el desarrollo del campo. Ellas son útiles también cuando el vapor tiene un alto contenido de gases no condensables ($> 12\%$ en pesos). Las unidades de descarga atmosférica pueden ser construidas e instaladas muy rápido y puestas en operación en poco más de 13-14 meses desde la fecha que son ordenadas. Este tipo de máquinas está usualmente disponible en tamaños pequeños (2,5 – 5 MWe).

Las unidades de condensación, como tienen más equipos auxiliares, son más complejas que las unidades de descarga atmosférica y como son de tamaños mayores requieren el doble del tiempo para su construcción e instalación. El consumo específico de vapor de las unidades de condensación es, sin embargo, cerca de la mitad de las unidades de descarga atmosférica. Las plantas de condensación de 55-60 MWe de capacidad son muy comunes, y recientemente se han construido e instalado plantas de 110 MWe.

La generación de electricidad a partir de fluidos de temperatura baja a media, o bien, a partir de aguas calientes provenientes de los separadores en campos geotérmicos de tipo agua dominante, ha tenido significativos progresos debido al mejoramiento logrado en la tecnología de fluidos binarios.

Las plantas binarias utilizan un fluido secundario, usualmente de carácter orgánico (principalmente n-pentano), que tiene un bajo punto de ebullición y una alta presión de vapor a bajas temperaturas, en comparación con el vapor de agua. El fluido secundario es manejado según el ciclo convencional Rankine (ORC): el fluido geotermal entrega calor al fluido secundario a través de

intercambiadores de calor, en los cuales este fluido es calentado y vaporizado; el vapor producido acciona una turbina normal de flujo axial, posteriormente es enfriado y condensado, y el ciclo comienza nuevamente.

Seleccionando un fluido secundario apropiado, el sistema binario puede diseñarse para utilizar fluidos geotermales con un rango de temperatura entre 85 y 170°C. El límite superior depende de la estabilidad térmica del fluido binario orgánico, y el límite inferior depende de factores técnicos-económicos: A menor temperatura el tamaño de los intercambiadores de calor requeridos haría el proyecto no económico. Además de los fluidos geotermales de baja a media temperatura y fluidos de deshecho los sistemas binarios también son utilizados cuando resulte preferible evitar el “flashing” de fluidos geotermales (por ejemplo, para evitar incrustación del pozo). En este caso, bombas ubicadas dentro del pozo pueden utilizarse para captar los fluidos en estado líquido presurizado, y la energía calórica puede extraerse del fluido mediante unidades binarias.

Las plantas binarias se construyen normalmente en pequeñas unidades modulares, de pocos cientos de kWe a pocos MWe de capacidad. Estas unidades pueden así ser interconectadas para constituir plantas eléctricas de decenas de MW. Sus costos dependen de numerosos factores, pero principalmente de la temperatura del fluido geotermal utilizado, que define el tamaño de la turbina, los intercambiadores de calor y el sistema de enfriamiento. El tamaño total de la planta es poco significativo con respecto al costo específico, ya que es posible interconectar una serie de unidades modulares estándar para lograr mayores capacidades de generación.

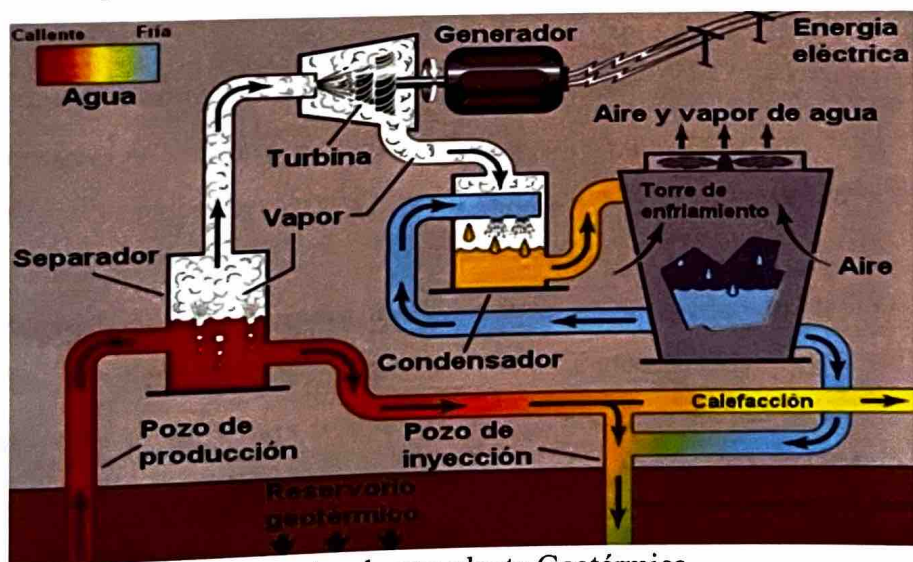


Imagen 45: Componentes de una planta Geotérmica

La tecnología de plantas binarias es un medio seguro y de costos apropiados para convertir en

electricidad la energía disponible de campos geotérmicos del tipo agua dominante (bajo 170°C).

2.11 ¿Cómo se obtiene el recurso primario para la generación geotérmica?

2.11.1 Proceso de generación.

El proceso inicia con la extracción de una mezcla de vapor y agua geotérmica desde del reservorio geotérmico a través de los pozos productores, ya en la superficie, se separan el vapor del agua geotérmica utilizando un equipo llamado separador ciclónico. Una vez separados, el agua se reinyecta nuevamente al subsuelo, mientras que el vapor —agua en estado gaseoso— ya seco es conducido hasta la central generadora.

2.12 Tipos de yacimiento.

Los yacimientos geotérmicos se clasifican en función de la temperatura del agua que contienen, su localización y la proporción de agua y vapor.

2.12.1 Tipos de yacimientos geotérmicos:

- **Yacimientos de agua caliente.** Son yacimientos que pueden ser subterráneos o formar una fuente. Suelen explotarse a través de un sistema de doble pozo, que permite la reinyección de agua para no agotar el yacimiento. Se pueden clasificar según la temperatura que tenga el agua en:
 - **Yacimientos de alta temperatura.** Son aquellos que tienen una temperatura superior a 150 °C, por lo que aportan calor suficiente a partir del vapor de agua, que es útil para generar electricidad. Se encuentran en zonas volcánicas.
 - **Yacimientos de temperatura media.** Son aquellos que tienen una temperatura entre 70 y 150 °C. Se utilizan principalmente para generar electricidad en pequeñas centrales eléctricas y en sistemas urbanos de calefacción.
 - **Yacimientos de baja temperatura.** Son aquellos que tienen una temperatura entre 30 y 100 °C. Se usan para generar calor en sistemas urbanos e industriales.
 - **Yacimientos de muy baja temperatura.** Son aquellos que tienen una temperatura entre 20 y 50 °C. Se emplean para generar calor en sistemas domésticos, urbanos y agrícolas.
 - **Yacimientos secos.** Son yacimientos que contienen materiales calientes, como rocas, pero no contienen agua. Se utilizan inyectando agua a través de una perforación, para luego extraerla caliente y utilizarla con diversos fines.

- **Géiseres.** Son un tipo de fuente hidrotermal que emana agua caliente y vapor en forma de columna hacia el exterior de la superficie de la tierra.

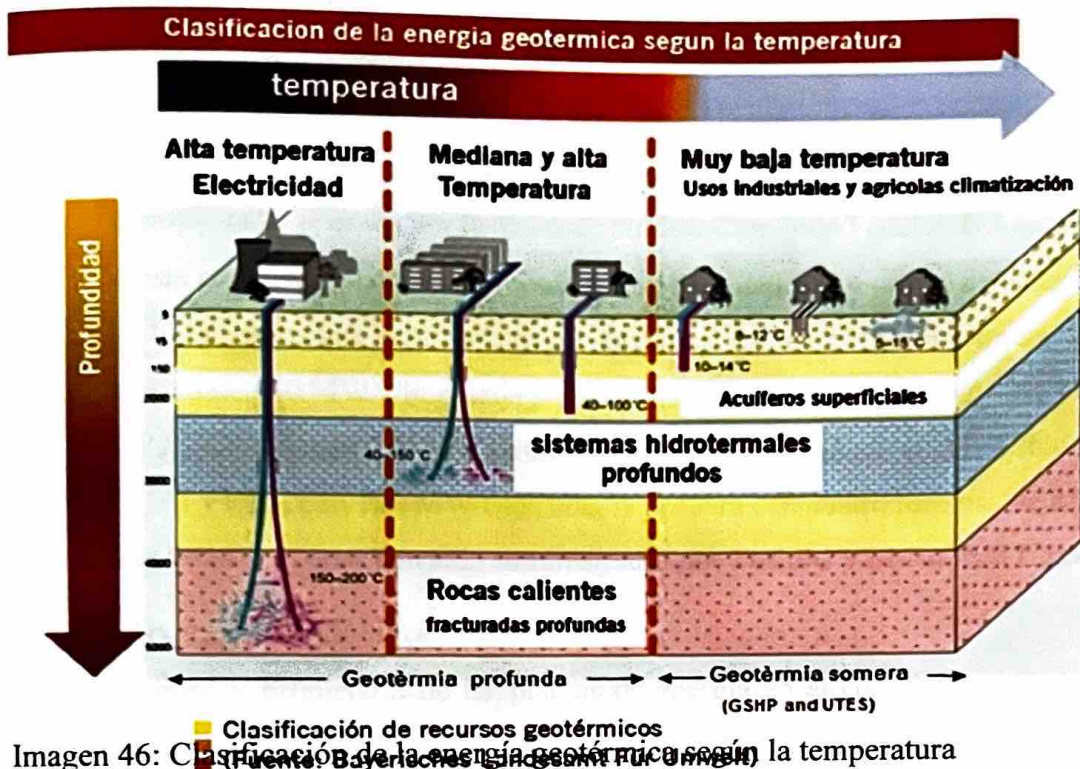


Imagen 46: Clasificación de la energía geotérmica según la temperatura

2.13 Las 10 mayores plantas geotérmicas del mundo

2.13.1 Complejo Geotérmico The Geysers.

El Complejo Geotérmico The Geysers situado a unos 116 kilómetros al norte de San Francisco, California, se compone de 21 plantas de energía que la convierten en la instalación geotérmica más grande en el mundo. El complejo cuenta con una capacidad instalada de 1.808 MW y una capacidad de producción activa superior a los 1.000 MW trabajando sólo al 63% de su capacidad de producción. Calpine Corporation es propietaria de un total de 19 plantas de energía en el complejo, proporcionando una capacidad de generación neta combinada de alrededor de 725 MW, mientras que las otras dos plantas de energía son propiedad conjunta de la Northern California Power Agency, Silicon Valley Power y US Renewables Group.

Las instalaciones en conjunto cubren un área de aproximadamente 78 km², cuya producción del campo geotérmico comenzó en 1960 y alcanzó su punto máximo en la década de 1980. Por otra parte, los proveedores de las turbinas para las plantas de energía en el complejo incluyen

a Toshiba y Mitsubishi Steam..

2.13.2 Central de Energía Geotérmica Cerro Prieto.

Con 820 MW de potencia instalada, la Central de Energía Geotérmica Cerro Prieto situada en el sur de Mexicali, en Baja California al norte de México, es la segunda mayor instalación geotérmica en el mundo. La planta de energía, al igual que todos los otros campos geotérmicos en México, se encuentra en propiedad y operada por la eléctrica pública Comisión Federal de Electricidad (CFE). La central cuenta con cinco plantas, que constan de 15 unidades. La primera planta fue puesta en servicio en 1973, mientras que la quinta fue puesta en servicio en 2012. La primera, la CP1 cuenta con una capacidad de 180 MW alimentada por 4 turbinas de tipo flash único de 37,5 MW más una de 30 MW; CP2 y CP3, tienen 220 MW de capacidad cada una, sumado cuatro turbinas doble flash de 110 MW; CP4 y CP5, con 100 MW cada una, la primera con cuatro turbinas de 25 MW y CP5, dos turbinas de 50 MW. Todas han sido suministradas por Toshiba y Mitsubishi Heavy Industries.

2.13.3 Complejo Geotérmico Larderello.

Enel Green Power es propietaria de las plantas de energía en el complejo que prestan servicio aproximadamente a dos millones de familias, 8.700 clientes comerciales y 25 hectáreas de invernaderos. Las profundidades de las reservas en el rango del campo geotérmico oscilan entre los 700 y los 4.000 metros bajo la superficie.

La primera planta en el campo geotérmico fue encargada hace ya más de un siglo, en 1913, siendo por tanto la primera de su tipo en el mundo.

La primera planta de energía de Larderello tenía una capacidad de generación de 250 kW, que comprendía de una turbina diseñada y construida por los ingenieros de Tosi Electromechanical Company.

Las plantas geotérmicas en el campo fueron reconstruidas después de que quedasen destruidas durante la Segunda Guerra Mundial.

2.13.4 Central geotérmica Olkaria

Es la mayor planta de su tipo en Kenia y la cuarta del mundo, con una capacidad instalada de 540 MW entre las cuatro fases, a los que se sumarán 140 MW de la quinta fase que se está desarrollando en la actualidad. El complejo se halla ubicado en el Parque Nacional de Hell Gate, en Olkaria, condado de Nakuru en el borde oriental del Valle del Rift, aproximadamente a 33 kilómetros por

carretera, al suroeste de Naivasha y a 120 km al noroeste de Nairobi, la capital de Kenia.

Con la entrada en servicio de la unidad IV (140 MW) del complejo Olkaria a principios de 2015, la geotérmica pasó a ser la primera fuente de generación de electricidad del país al superar por primera vez a la energía hidráulica. La construcción del complejo ha sido posible gracias a la financiación del BEI, el Banco Mundial, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el Gobierno de Kenia, la Agencia Francesa de Cooperación y la Agencia de Cooperación de Alemania, entre otros.

El proyecto ha sido desarrollado en sus distintas fases por la india KEC, las japonesas Toyota Tshusho y Mitsubishi Heavy Industries, la coreana Hyundai Engineering y Sinclair Knight Merz, de Nueva Zelanda. El complejo geotérmico es propiedad de la eléctrica pública Kenya Electricity Generating Company (Kengen).

2.13.5 Complejo Geotérmico Makban.

El Complejo Geotérmico Makban, también conocido como Plantas de Energía Makiling-Banahaw, se encuentra en los municipios de Bahía y Calauan en la provincia de Laguna y, Santo Tomás, en la isla de Luzón. Es la quinta mayor instalación de energía geotérmica en el mundo, con una capacidad de producción de 458 MW.

El complejo de energía geotérmica es propiedad de AP Renewables, una subsidiaria de Aboitiz Power. El complejo consta de seis plantas de energía que comprenden de 10 unidades, incluyendo una planta binaria con cinco unidades de 3 MW y una unidad 0,73 MW. Las instalaciones, con una superficie de 700 hectáreas, inició sus operaciones en 1979, siendo Mitsubishi Heavy Industries uno de los principales proveedores de turbinas para las plantas del complejo.

2.13.6 Complejo Geotérmico Saltón Sea.

El Complejo Geotérmico Salton Sea incluye un conjunto de 10 plantas de generación de energía geotérmica en Calipatria, cerca del Mar de Salton en el Valle Imperial de California del Sur. Con una capacidad de generación combinada de 340 MW, es la sexta instalación geotérmica más grande en el mundo. CalEnergy Generation, el operador del campo tiene una participación del 50% en las instalaciones, mientras que el restante 50% está en manos de MidAmerican Geothermal, siendo la energía generada suministrada a Southern California Edison Company.

La Unidad 1 de una capacidad de producción de 10 MW fue la primera en entrar en funcionamiento en 1982, que fue construida por una empresa mixta formada por la Union Oil Company y la Southern California Edison. CalEnergy Generation actualmente está desarrollando nuevos

proyectos en la zona, incluyendo el Black Rock Project, que incrementará la capacidad geotérmica de la zona.

2.13.7 Complejo Geotérmico Hellisheidi.

El Complejo Geotérmico Hellisheidi es una planta de producción combinada de calor y electricidad (CHP) de vapor flash situada en el monte Hengill, aproximadamente a 20 kilómetros al este de la capital, Reykjavik. La planta tiene una capacidad de producción de 303 MW de energía eléctrica y 400 MW de energía térmica.

Propiedad de Orkuveita Reykjavíkur, se trata de la sexta instalación geotérmica más grande del mundo, construida por Mannvit Engineering y Verkís Engineering. La energía generada a partir de la planta se suministra principalmente a las refinerías de aluminio que se localizan en las proximidades.

Las instalaciones fueron construidas en cinco fases entre 2006 y 2011, cubriendo un área total de aproximadamente 13.000 m². Seis turbinas de alta presión (HP) de la central eléctrica fueron suministradas por los ingenieros de Mitsubishi, mientras que una turbina de baja presión (LP) fue entregada por Toshiba.

2.13.8 Complejo Geotérmico Tiwi.

El Complejo Geotérmico Tiwi se sitúa en la provincia de Albay, a unos 300 kilómetros al sureste de Manila. Con 289 MW (neto), es la octava instalación geotérmica más grande en el mundo, siendo propiedad, como el complejo de Makban, de AP Renewables, una filial de Aboitiz Power.

El complejo se compone de tres plantas de energía que disponen de dos unidades cada una.

Los trabajos de perforación en el campo geotérmico se iniciaron en 1972, entrando las instalaciones en funcionamiento en 1979.

El proyecto fue desarrollado por la National Power Corporation y Philippine Geothermal, mientras que Mitsui y F.F.

Cruz fueron los contratistas principales. Por otra parte, todas las plantas de energía cuentan con unidades generadoras de Toshiba.

2.13.9 Complejo Geotérmico Darajat.

El Complejo Geotérmico Darajat situado en Garut, en el Distrito de Pasirwangi en Java Occidental, es la décima mayor instalación geotérmica en el mundo con una capacidad instalada de 259 MW, la cual está gestionada por Darajat GPP Amoseas Indonesia, una subsidiaria

de Chevron Texaco.

Las instalaciones constan de tres plantas que proveen electricidad a las provincias de Java y Bali. Las plantas que la conforman fueron entregadas respectivamente en 1994, 2000 y 2007, compartiendo las plantas II y III instalaciones comunes, incluyendo el sistema de recolección de vapor.

La última planta fue construida por Thiess Contractors Indonesia en colaboración con Kanematsu Corporation, la cual cuenta con una turbina suministrada por los ingenieros de Mitsubishi Heavy Industries (MHI), quienes también proveyeron la turbina para la segunda planta. Además, Hyundai Engineering suministró los equipos para las dos primeras plantas.

2.13.10 Complejo Geotérmico Malitbog.

El Complejo Geotérmico Malitbog de 233 MW, situado aproximadamente a 25 kilómetros al norte de la ciudad de Ormoc, en la isla de Leyte, es la décima instalación de energía geotérmica más grande del mundo. La planta fue propiedad de Visayas Geothermal Power Company (VGPC), que posteriormente transfirió los derechos de propiedad a la Philippine National Oil-Energy Development Company (PNOC).

La construcción de las instalaciones de energía geotérmica de Malitbog, llevadas a cabo por Sumitomo Corporation y Fuji Electric, comenzaron en 1993 y terminaron en 1996. El complejo cuenta con tres turbinas de condensación de flujo doble de un solo cilindro de 77,5 MW suministradas por Fuji Electric.

2.14 Generación de energía geotérmica en El Salvador.

La generación de energía geotérmica en El Salvador se realiza a través de centrales geotérmicas como la de Berlín y Ahuachapán; también los proyectos de expansión Planta Geotérmica Chinameca, Planta Geotérmica San Vicente, Ampliación de Berlín en 7.5 MW, Exploración de los campos geotérmicos de Conchagua y Cuyanausul.

2.14.1 Central Geotérmica Berlín, Usulután.

Se encuentra ubicada a 106 km aproximadamente al oriente de la ciudad capital, en el sector norte del complejo volcánico de Tecapa, en el Cantón el Zapotillo del Municipio de Alegría.

Inició su operación comercial en 1992 con dos unidades a contrapresión (boca pozo) de 5 MW cada una. En 1999 entraron en operación dos unidades a condensación de 28.1 MW cada una; en febrero del año 2007 fueron adicionados 40 MW más con una unidad a condensación; y

en diciembre de ese mismo año se adicionaron 9.2 MW, generados con una unidad a Ciclo Binario, que utiliza el agua de reinyección para evaporar Isopentano, el cual funciona como fluido de trabajo.

El área del campo geotérmico es de una extensión de aproximadamente 8 kms², la profundidad de los pozos varía entre 500 y 3,455 metros. En la actualidad cuenta con 37 pozos entre productores, reinyectores y de monitoreo.

2.14.2 Central Geotérmica Ahuachapán.

Se encuentra ubicada a 103 km al occidente de la ciudad capital, en el sector norte de la cordillera de Apaneca conocido como Cantón Santa Rosa Acacalco.

Inició su construcción en 1972 y su operación comercial en septiembre de 1975 con una unidad de 30MW que utiliza vapor a 5.6 bar; al año siguiente fue adicionada otra unidad de idénticas características, y en 1980 se adiciona la tercera unidad de 35 MW que se diferencia de las dos primeras porque además de vapor a 5.6 bar, utiliza vapor de 1.6 bar producido en los vaporizadores con agua separada de los pozos productores.

El área del campo geotérmico en la que se encuentran los pozos productores es de aproximadamente 2.5 kms², la profundidad de los pozos varía entre 600 y 2,750 metros, y en la actualidad cuenta con 56 pozos perforados entre productores, reinyectores, de monitoreo y otros.



Imagen 47: Central Geotérmica Ahuachapán

2.14.3 Central Geotérmica Ahuachapán, datos actualizados de LaGeo y del MARN sobre la capacidad instalada actual, producción promedio, y avances tecnológicos.

Datos actualizados de LaGeo y el MARN

Capacidad instalada: 95 MW

Producción promedio: 78 MW

Turbinas: 3 turbinas de vapor geotérmico

Una de tecnología japonesa, operando desde 1975.

Dos unidades más recientes: 30 MW de Mitsubishi y 35 MW de Fuji.

Sistemas de control: Un moderno sistema de control de supervisión y adquisición de datos (Escada) y un sistema de control distribuido (DCS) de última generación.

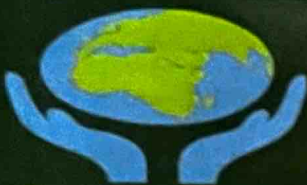
Avances tecnológicos: La modernización de las turbinas y la incorporación de sistemas de control avanzados son los principales avances tecnológicos. La planta utiliza tecnología japonesa y de Mitsubishi y Fuji para mantener su eficiencia y fiabilidad.



2.14.4 Ventajas, desventajas de la generación geotérmica (costos, sostenibilidad, mantenimiento, impacto ambiental, etc.) En nuestro país

ENERGÍA GEOTÉRMICA

Concientización sobre su aplicación y extracción.

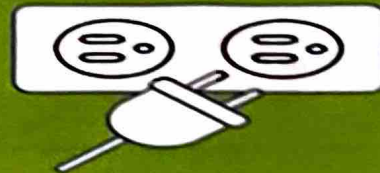


VENTAJAS 1

- Su impacto en el medio ambiente es mínimo.
- Sustituye los combustibles fósiles.
- Mientras la Tierra exista, esta energía existirá.

VENTAJAS 2

- Genera electricidad.
- Calefacción y/o refrigeración.
- Agua caliente sanitaria.



VENTAJAS 3

- Ahorro económico a largo plazo.
- Mantenimiento mínimo.
- No depende de los precios de la energía.

DESVENTAJAS 1

- Emisiones tóxicas en caso de fuga.
- Puede contaminar fuentes de agua cercanas.
- Riesgo de contaminación térmica.



DESVENTAJAS 2

- No se puede transportar.
- No es apta para todos los suelos.
- Precio de instalación muy costoso.



DESVENTAJAS 3

- Durante la excavación, los gases de la Tierra son liberados a la atmósfera.
- Puede causar movimientos sísmicos.



CAPITULO 3. AUTOMATAS PROGRAMABLES O PLC.

3.1 Historia de los Automatas Programables

PLC Modicon 084

- En 1968, GM Hydramatic realiza un concurso para la propuesta de un controlador electrónico que sustituya a las soluciones de control cableado utilizadas hasta ese momento.
- La propuesta ganadora corresponde a la consultora BedfordAssociates, que propone un Controlador Lógico Programable (PLC). El primer PLC comercial, denominado MODICON 084, fue presentado por esta empresa. Uno de sus componentes, Richard E. Morley, es considerado en la actualidad el “padre” del PLC.

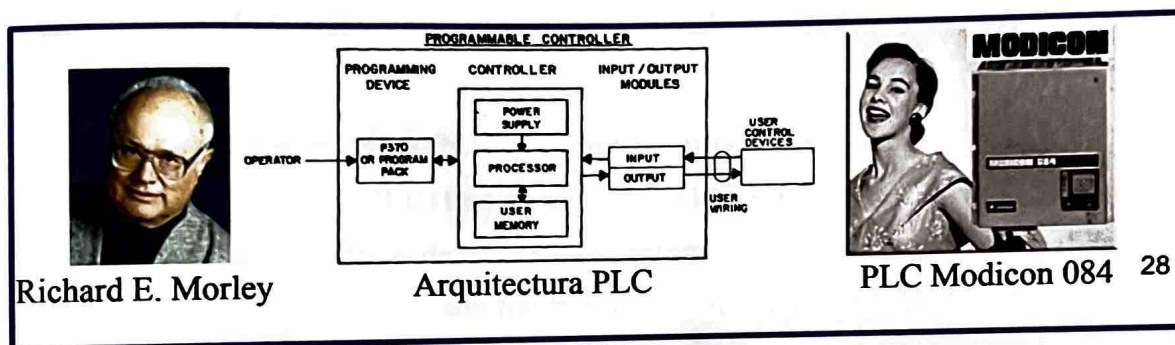


Imagen 48: Personajes históricos de los PLC'S.

- Quien patentó, en 1974, el término PLC fue la marca ALLENBRADLEY (hoy Rockwell Automation). El Dr. Odo J. Struger, fallecido en 1998, es considerado el “padre” de sus PLC's.
- El Dr. Struger, de origen Austriaco, trabajó para la empresa A & B durante 40 años y colaboró activamente en el desarrollo del estándar IEC 1131-3.

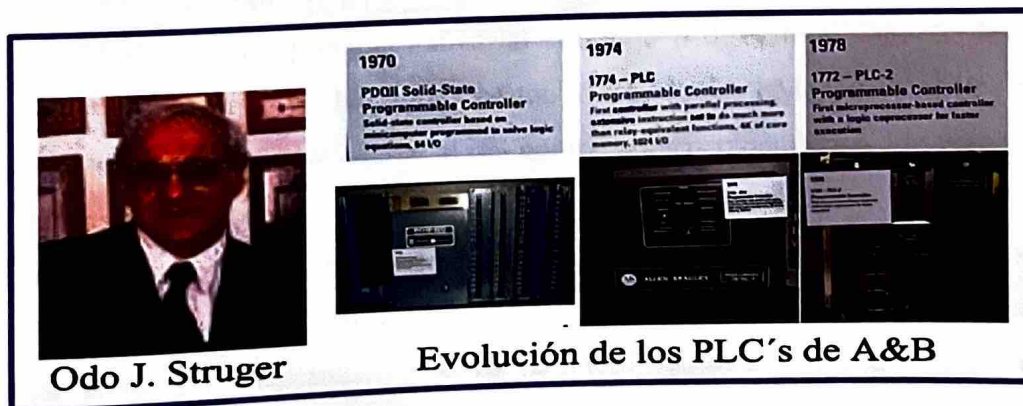


Imagen 49: Evolución y padre de sus PLC'S.

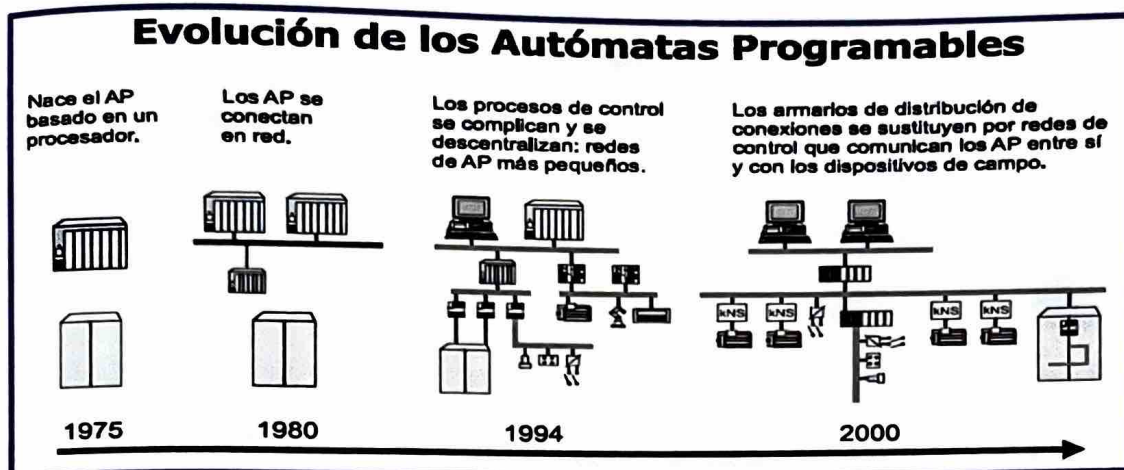


Imagen 50: Evolución de los Autómatas Programables basados en microprocesador en

3.2 Aplicaciones, desafíos de los PLC, y computadoras industriales.

Los autómatas programables (PLC) tienen múltiples aplicaciones en la industria. Se emplean en la fabricación mecánica, en cadenas de producción, entornos químicos, y en el control de máquinas como tornos y fresadoras. Además, son fundamentales en sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) como en el caso del proyecto a presentar, también para la supervisión y control de procesos. Su versatilidad los hace ideales para automatizar tareas repetitivas y controlar equipos en diversos sectores industriales.

3.2.1 Equipos para la automatización industrial

Computadores Industriales

- Los Computadores Industriales son sistemas electrónicos de control constituidos por un computador de propósito general adecuadamente diseñado y montado para poder trabajar en el entorno de un proceso industrial continuo o discreto y soportar las condiciones ambientales adversas (polvo, temperatura, interferencias EM, ...). Aquellos cuyo sistema físico (hardware) es equivalente al del computador personal conocido como "PC" (IBM, 1981) han gozado en los últimos años de una gran aceptación.
- Históricamente, la utilización del computador en aplicaciones industriales se inició (de forma casi coincidente con la comercialización del "PC" en 1980) para llevar a cabo las tareas IHM (visualización...) y CAD (edición, puesta en marcha y depuración) de los programas de control asociados a los sistemas electrónicos de control de procesos, como los PLC, DCS, CNC, ...

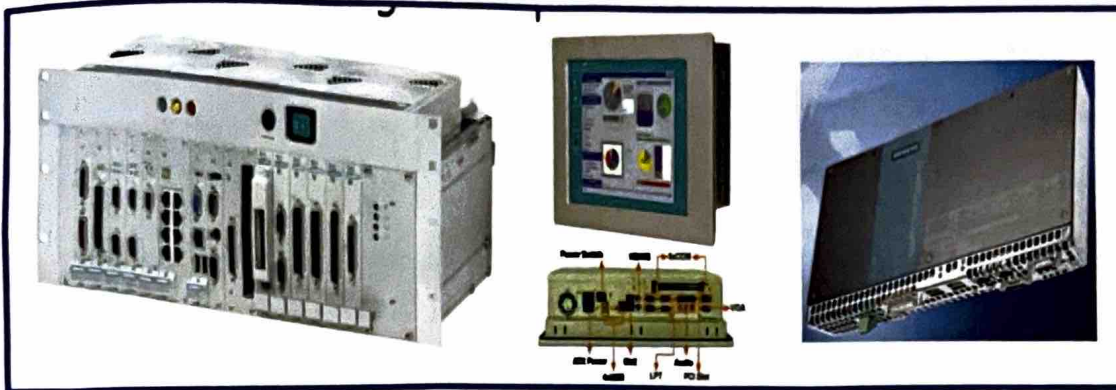


Imagen 51: Diferentes formatos de computadores industriales.

(Diferencia entre PLC (Controlador Lógico Programable) y DCS (Sistema de Control Distribuido) radica en su alcance y funcionalidad. Los PLC se diseñan para controlar tareas específicas en máquinas individuales, ofreciendo tiempos de respuesta rápidos como se observa en el proyecto desarrollado de el simulador, que utiliza el PLC virtual RLSlogix5000. Los DCS, por otro lado, son más adecuados para controlar múltiples máquinas dentro de un proceso industrial, proporcionando mayor escalabilidad y redundancia que no es nuestro caso. CNC (Control Numérico por Computadora) no se menciona directamente en los snippets, pero generalmente se refiere a sistemas que controlan el movimiento de máquinas herramienta basándose en instrucciones programadas que tampoco es nuestro caso.

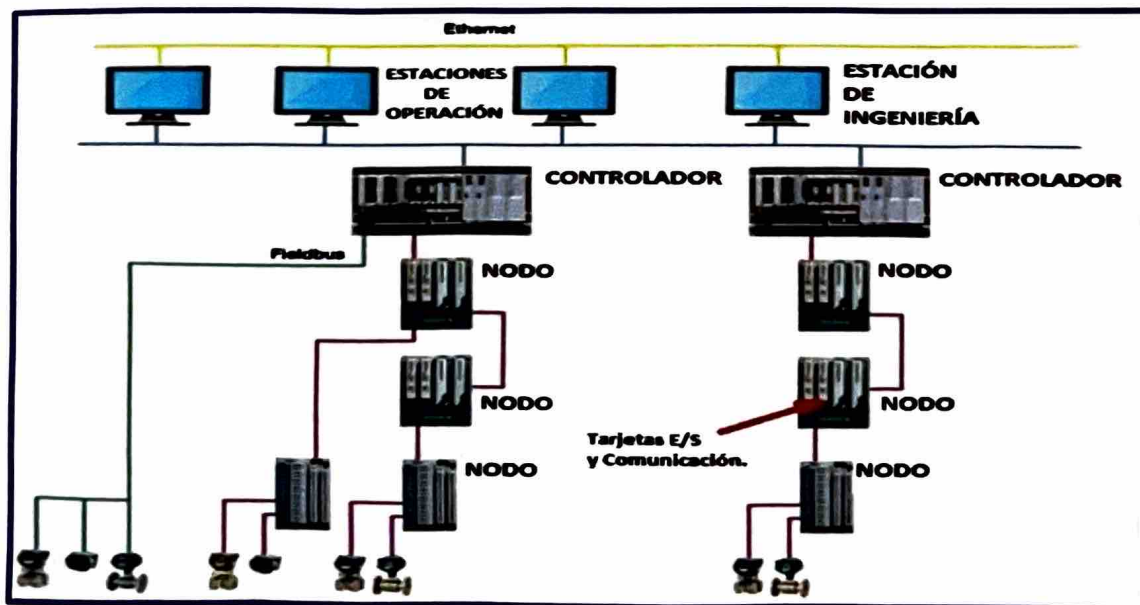


Imagen 52: Diferencia de enlace de comunicación entre PLC y DCS.

Historia de los Computadores Industriales

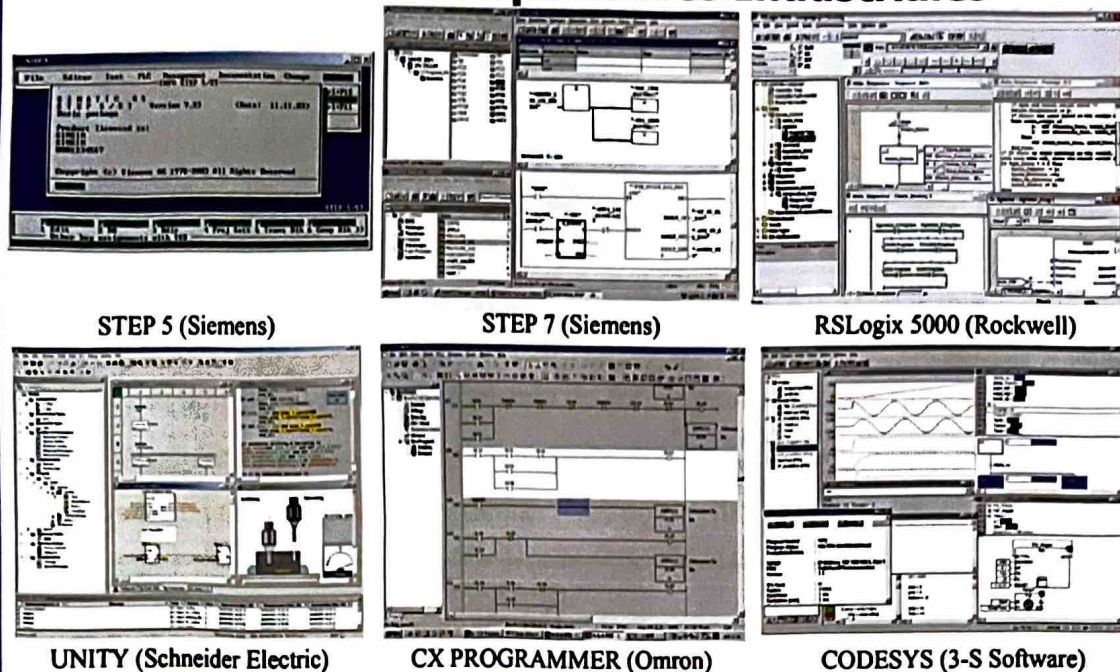


Imagen 53: Herramienta de programación RSLogix5000.

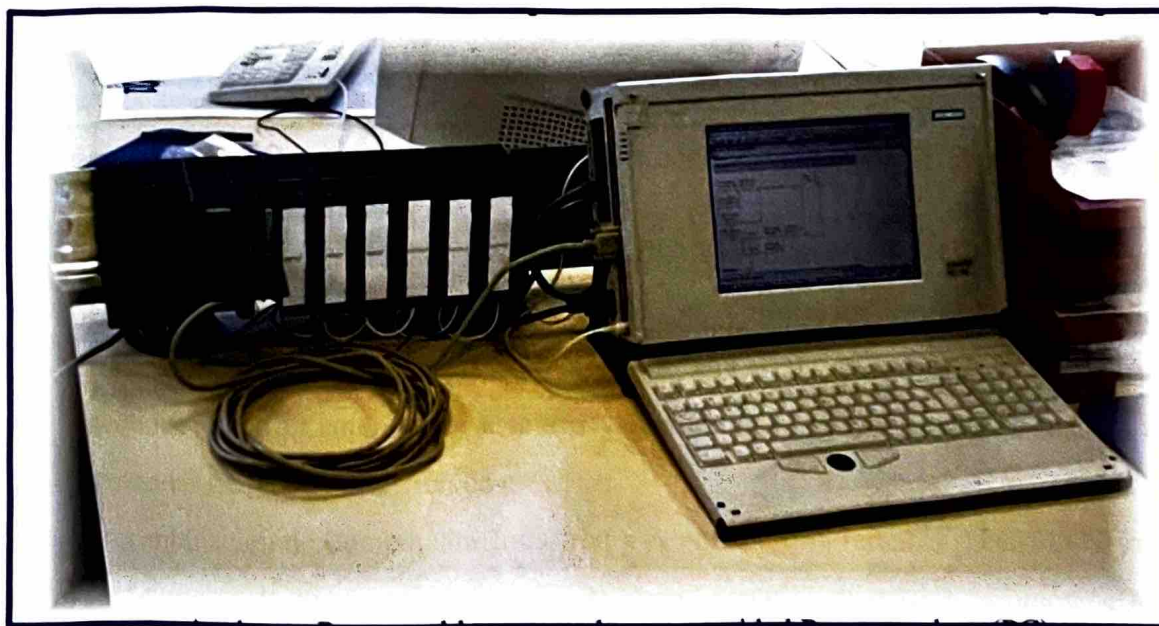


Imagen 54: Autómata programable conectado a una unidad programadora (PC).

El aumento de su capacidad de memoria y velocidad de operación, unido a su disminución de coste, está propiciando actualmente su utilización como sistemas de control. Se inició esta tendencia a comienzos de 1990 tanto en sectores industriales muy específicos y tecnológicamente

puntuales (aeroespacial, ...) como en investigación (universidades, ...)

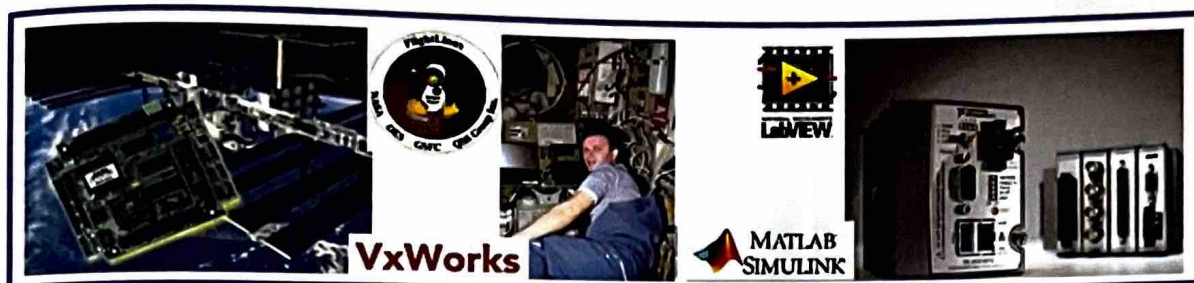


Imagen 55: Aeroespacial (VxWorks) investigación (MATLAB SIMULINK).

Actualmente, su aplicación se está trasladando de forma paulatina a las plantas industriales más tradicionales para llevar a cabo la integración de los procesos de gestión con las tareas de control realizadas tradicionalmente por otros sistemas electrónicos de control.

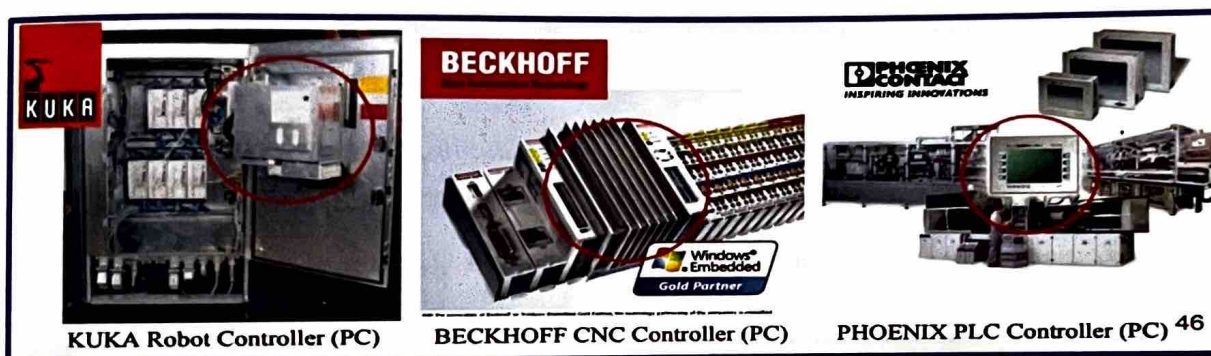


Imagen 56: Sistemas electronicos de control utilizados para procesos industriales.

3.2.2 Aplicaciones Industriales típicas del PC y desafíos enfrentados con relación al tiempo.

- Este tipo de aplicaciones nacen cuando se desarrollan programas informáticos denominados SCADA (Supervisory Control and Data Adquisition) que permiten, interconectando el computador a uno o varios equipos de control, llevar a cabo tareas avanzadas de IHM y/o gestión de procesos.
- La combinación de Computador Industrial y Autómata Programable ("PC-PLC") implica la integración de un computador con un PLC para control industrial. Esta unión permite la carga y evaluación de programas, el ajuste de variables en línea y la creación de sistemas de comunicación y visualización (HMI). El PC actúa como una interfaz para la programación, monitoreo y control del PLC, que es el dispositivo central para automatizar procesos. Esta configuración es clave para la eficiencia y flexibilidad en la automatización industrial, facilitando la diagnosis y el ajuste de sistemas.

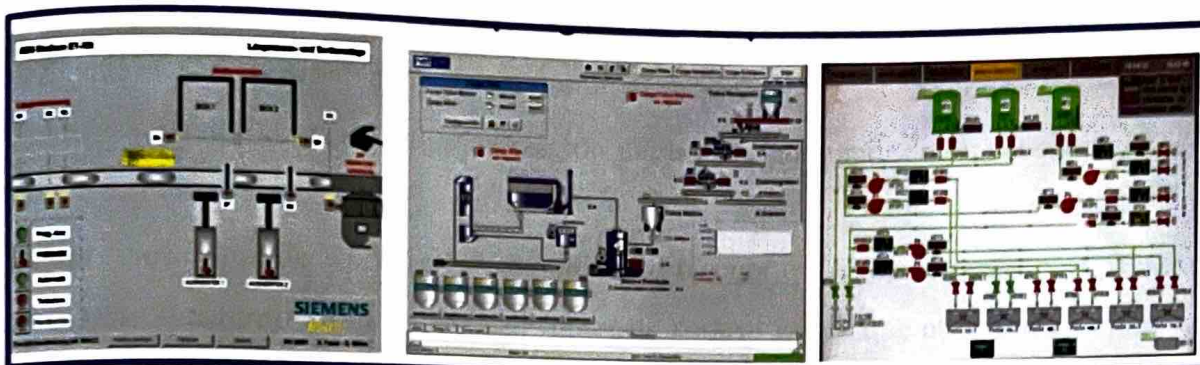


Imagen 57: Computador Industrial y Autómata Programable ("PC-PLC")

- La limitada utilización actual del computador industrial como sistema de control de procesos está relacionada, en buena medida, con la tradicional resistencia al cambio, con cierta "fama" de falta de inestabilidad de ciertos S.O. del ámbito ofimático y con la falta de conocimientos que el personal de automatización tiene de lenguajes de programación de alto nivel.
- Para paliar este problema, algunos fabricantes proponen (como solución de compromiso) la combinación de un RTOS con programas Soft-PLC que emulan por software el comportamiento de un PLC como lo es en el simulador operacional para operación de centrales geotérmicas.



Imagen 58: Computador Industrial y Software de Autómata Programable (Soft-PLC)

La combinación de Computador Industrial y Autómata Programable ("PC-PLC") implica la integración de un computador con un PLC para control industrial. Esta unión permite la carga y evaluación de programas, el ajuste de variables en línea y la creación de sistemas de comunicación

y visualización (HMI). El PC actúa como una interfaz para la programación, monitoreo y control del PLC, que es el dispositivo central para automatizar procesos. Esta configuración es clave para la eficiencia y flexibilidad en la automatización industrial, facilitando la diagnosis y el ajuste de sistemas.

El software SoftLogix de Rockwell Automation se ejecuta en sistemas operativos Windows y utiliza el mismo entorno Studio 5000 y el motor de control Logix que otras plataformas. Studio 5000 Logix Designer se utiliza para gestionar los controladores Allen-Bradley de la familia Logix, mejorando la productividad. Esencialmente, SoftLogix ofrece la funcionalidad de un PLC en un entorno de software, permitiendo simulación y desarrollo sin hardware físico. Esto es útil para probar y desarrollar aplicaciones antes de la implementación final.

Los autómatas programables (PLC) se clasifican principalmente por su tamaño y estructura: compactos, semicompactos y modulares. También se pueden clasificar según su rendimiento y funcionalidad, incluyendo PLC de alto rendimiento, de seguridad, y aquellos diseñados para aplicaciones específicas.

3.3 Clasificación, Estructura, Arquitectura y sistema de programación de PLC'S.

Los PLCs (Controladores Lógicos Programables) se clasifican por su estructura, arquitectura y sistema de programación. Se clasifican por su estructura en compactos, modulares, de seguridad, etc. Su arquitectura consta de CPU, memoria, módulos de E/S y fuente de alimentación. Se programan usando diversos lenguajes como Ladder, Texto Estructurado, Diagrama de Bloques Funcionales, etc.

3.3.1 Clasificación por estructura:

- **PLC Compactos:**

No son expandibles, suelen ser más económicos y se usan en aplicaciones pequeñas.

- **PLC Modulares:**

Son expandibles y se pueden adaptar a diferentes necesidades, con mayor capacidad de E/S y memoria.

- **PLC de Seguridad:**

Diseñados para aplicaciones críticas donde la seguridad es primordial, con funciones de detección de fallos y respuesta segura.

- **PLC de Alta Velocidad:**

Optimizados para aplicaciones de control rápido, con ciclos de escaneo rápidos y capacidades de procesamiento superior.

- PLC con Comunicación Integrada:

Con interfaces de comunicación avanzadas para conectar a otros sistemas y redes.

- PLC Autónomos:

Se programan y controlan de forma independiente sin necesidad de supervisión constante.

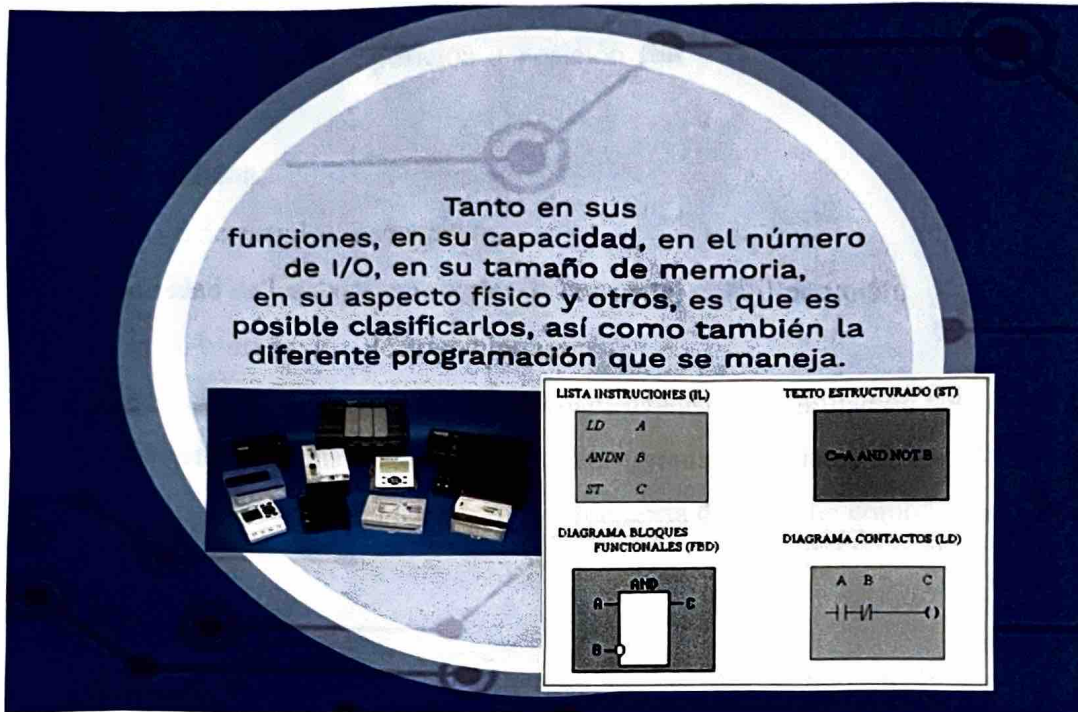


Imagen 59: Clasificación y programación.

3.3.2 Arquitectura del PLC:

- **CPU (Unidad Central de Procesamiento):** Es el "cerebro" del PLC, responsable de ejecutar el programa y controlar todas las operaciones.

Unidad central de proceso (CPU)

La CPU (Control Processing Unit) es la encargada de ejecutar el programa de usuario y activar el sistema de entradas y salidas.

La CPU ejecuta el programa de usuario, que reside en la memoria, adquiriendo las instrucciones una a una.

- El funcionamiento es de tipo interpretado.
- Lenguaje compilado vs interpretado.

Compilado

Programa fuente $\Rightarrow$ compilación $\Rightarrow$ programa objeto $\Rightarrow$ enlazado ó linkado $\Rightarrow$ programa ejecutable.

Interpretado.

Analiza y ejecuta un programa sentencia a sentencia.

- **Memoria: Almacena el programa del usuario, datos y variables.**

“Cualquier tipo de dispositivo que permita almacenar información en forma de bits (unos y ceros), los cuales pueden ser leídos posición a posición (bit a bit), o por bloques de 8 (byte) o 16 posiciones (Word)”

Clasificación.

- Tipo de acceso: lectura/escritura.
- Seguridad de los datos ante cortes de corriente: volátil/no volátil.
- Tipo de borrado: luz/eléctrico/bloques.

La memoria en un PLC RSLogix 5000 que es el utilizado en la simulación del proyecto se entiende como el área donde se almacenan los datos del programa y los datos de la aplicación que el PLC está ejecutando. Esta memoria incluye tanto la memoria del sistema como la memoria del usuario.

Memoria del sistema:

ROM:

Almacena el firmware del PLC y el sistema operativo que le permite funcionar. No se puede modificar.

RAM:

Almacena la información necesaria para la ejecución del programa y datos de la aplicación que se están usando en tiempo real. Es volátil, lo que significa que se pierde cuando se apaga el PLC.

EEPROM:

Almacena los datos que deben persistir incluso después de que el PLC se apague.

Memoria del usuario:

Memoria de etiquetas (Tags): Esta memoria almacena las variables que se utilizan en el programa.

Memoria de bits: Se utiliza para almacenar valores binarios (0 o 1), como entradas y salidas discretas.

Memoria de palabras/bytes: Almacenan datos más complejos, como números, cadenas de texto,

etc.

Memoria retentiva: Permite que los registros de memoria interna se mantengan después de un ciclo de encendido/apagado.

Fragmentación de memoria:

Como se menciona en una conversación en plctalk.net, la fragmentación de memoria puede ocurrir con el tiempo, especialmente si se realizan cambios en línea en el programa. La fragmentación puede reducir la cantidad de memoria disponible para nuevas variables o instrucciones.

En resumen, la memoria de un PLC RSLogix 5000 es un recurso crucial para el funcionamiento del PLC. Comprender los diferentes tipos de memoria y la posibilidad de fragmentación de memoria es importante para el diseño y mantenimiento de aplicaciones PLC, según plctalk.net

- **Módulos de E/S (Entrada/Salida):** Permiten la conexión del PLC con el entorno físico (sensores, actuadores, etc.).

Los módulos de E/S del RSLogix 5000 PLC utilizado para la simulación proyectada, son una parte integral de la plataforma de control de Rockwell Automation. Permiten la conexión de sensores, actuadores y otros dispositivos de campo al controlador PLC. Estos módulos se utilizan para la adquisición de datos de entrada (sensores) y el envío de señales de salida (actuadores).

Tipos de Módulos de E/S:

Módulos FLEX 5000:

Ofrecen una solución resistente y flexible de E/S distribuidas, con conectividad EtherNet/IP de 1 Gb estos módulos son los que utiliza el PLC RSLogix utilizado en la simulación de este proyecto.

Módulos Compact 5000:

Brindan un control de alto rendimiento en un diseño compacto y amplían las capacidades de rendimiento de la plataforma Logix.

Módulos On-Machine:

Pueden montarse directamente en una máquina, ideal para aplicaciones donde se requiere un diseño compacto.

Módulos ArmorBlock 5000:

Diseñados para uso en ambientes difíciles y ofrecen resistencia y escalabilidad.

Módulos ArmorBlock Guard:

Proporcionan E/S de seguridad para aplicaciones que requieren protección de máquina.

Módulos ArmorPOINT:

Admiten la tecnología de productor/consumidor para compartir información de E/S entre múltiples controladores.

Módulos FLEXHA 5000:

Plataforma de E/S flexible para aplicaciones de alta disponibilidad.

Funciones y Beneficios:

Integración con Studio 5000 Logix Designer:

Los módulos se configuran y gestionan fácilmente a través de este software, que también se utiliza para los controladores Logix 5000.

Conectividad EtherNet/IP:

Permite una comunicación rápida y fiable entre los módulos y el controlador PLC.

Flexibilidad:

Los módulos pueden ser configurados como analógicos o digitales, entrada o salida, según las necesidades de la aplicación.

Mantenimiento en línea:

Algunos módulos permiten la desconexión y reconexión con la alimentación conectada (RIUP) para facilitar el mantenimiento en línea.

Diagnóstico:

Ofrecen acceso a diagnósticos de proceso a través de HART y a través de diagnósticos mejorados.

Redundancia:

Los módulos FLEXHA 5000 ofrecen redundancia para aplicaciones de alta disponibilidad.

- **Fuente de Alimentación:** Suministra la energía necesaria para el funcionamiento del PLC.

La fuente de alimentación de un PLC (Controlador Lógico Programable) es un componente esencial que convierte la tensión de entrada (normalmente CA) en una tensión de CC estable para alimentar el PLC y sus componentes, como la CPU y los módulos de E/S. Las tensiones comunes son 24V DC, 120V AC y 240V AC, pero también pueden ser 5V DC, 12V DC o 48V DC, dependiendo del modelo y la aplicación.

El funcionamiento de la fuente de alimentación de un PLC:

Conversión de tensión:

La fuente de alimentación convierte la tensión de CA (corriente alterna) de la red eléctrica en una tensión de CC (corriente continua) más baja y estable, como 24V DC.

Estabilización y regulación:

La fuente de alimentación asegura que la tensión de salida sea constante y estable, incluso si hay fluctuaciones en la tensión de entrada o en la carga del PLC.

Protección contra sobretensiones:

Algunos PLC pueden incluir protección contra sobretensiones en sus fuentes de alimentación para proteger el sistema de daños en caso de picos de tensión.

Tensiones comunes:

Los PLC suelen utilizar fuentes de alimentación de 24V DC para alimentar la CPU y los módulos de E/S, pero también pueden utilizar tensiones como 12V DC, 5V DC, o incluso 48V DC en algunos casos.

Tipos de fuentes de alimentación:

Las fuentes de alimentación de PLC pueden ser lineales (que utilizan componentes analógicos para regular la tensión) o conmutadas (que utilizan tecnología de conmutación para mayor eficiencia).

Tensiones comunes en PLC:

- **24V DC:** La tensión más común para alimentar la CPU, los módulos de E/S y otros componentes del PLC.
- **120V AC y 240V AC:** Tensiones de entrada comunes para alimentar la fuente de alimentación del PLC.
- **5V DC:** Utilizada para la lógica digital del PLC.
- **12V DC:** Utilizada para la lógica digital del PLC y otros componentes.
- **48V DC:** Utilizada en aplicaciones de mayor potencia.

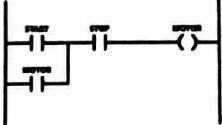
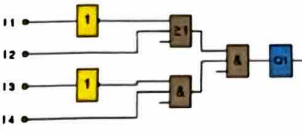
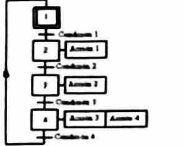
La fuente de alimentación de un PLC Rockwell Automation (utilizando RSLogix) es fundamental para el funcionamiento del sistema. Generalmente, los PLCs requieren una fuente de alimentación de 24V DC o 120V AC para su CPU, entradas y salidas. Existen diferentes tensiones disponibles para la fuente de alimentación, dependiendo de las necesidades del sistema y del PLC específico.

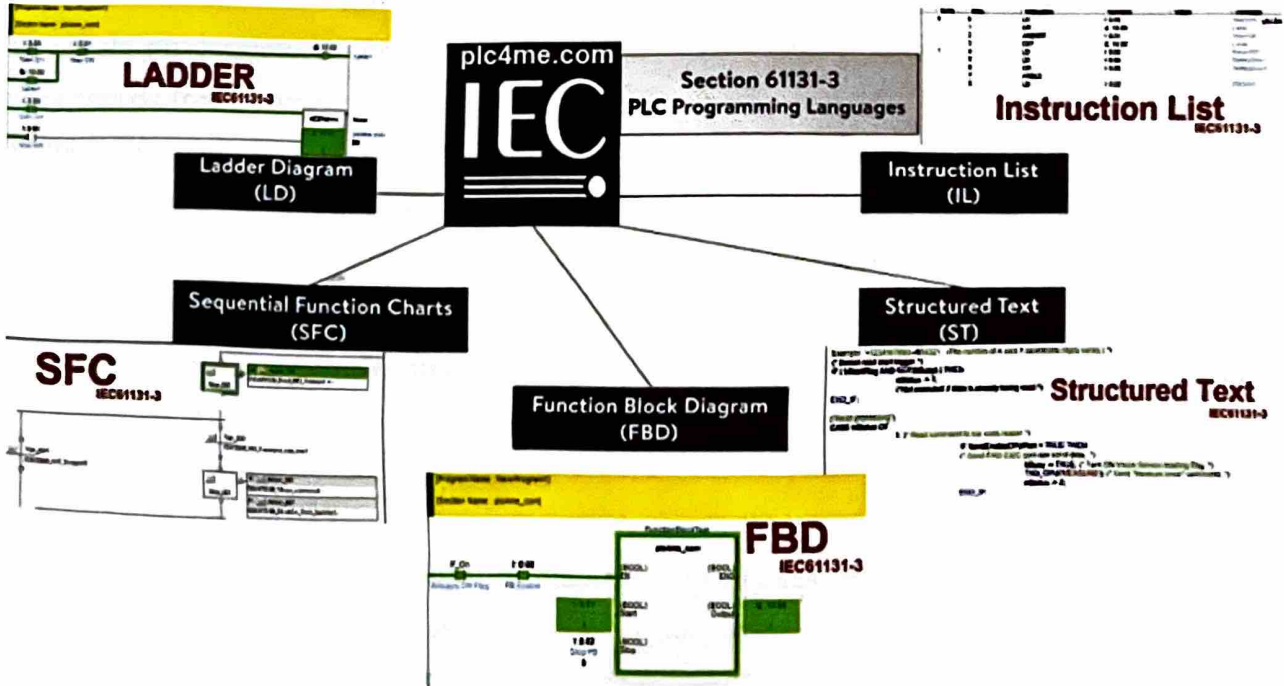
Software de programación (RSLogix):

Aunque el software en sí no afecta la tensión de la fuente de alimentación, es importante tener en cuenta la configuración del PLC y la lógica de programación al diseñar el sistema.

3.3.3 Lenguaje de programación:

Tabla comparativa con los cinco lenguajes definidos en IEC 61131-3 (Ladder, FBD, ST, IL, SFC).

Lenguaje	Tipo	Recomendado para	Puntos fuertes	Inconvenientes	Representación
LD	Grafico	Control discreto, personal eléctrico	Intuitivo, altamente estándar	Escalabilidad limitada	
FBD	Grafico	Automatización modular	Modularidad, reutilización de lógica	Complejo para procesos secuenciales	
SFC	Grafico	Procesos por etapas	Claridad en flujo de procesos	Necesita soporte de otros lenguajes	
ST	Textual	Lógica compleja, integraciones IoT	Potente estructurado, reutilizable	Requiere alto nivel técnico	<pre>2: 3: (* PLC con temporizador *) 4: 5: (* Instrucción TON (On de temporizador. Valor de temporizador) *) 6: TON(TON, Temporizador1, Valor_Ton) 7: 8: (* PLC con activación de temporizador y puesta a ON de motor *) 9: (* Temporizador1 ON = TRUE THEN 10: Motor = TRUE; 11: END_IF 12:</pre>



Lógica Ladder (LD):

El lenguaje más común, basado en un diagrama de tipo escalera que representa la lógica de control es la utilizada en el “diseño y elaboración de simulador para etapas de operación de centrales geotérmica”.

Texto Estructurado (ST):

Un lenguaje textual más avanzado que permite la programación de algoritmos complejos.

Diagrama de Bloques Funcionales (FBD):

Un lenguaje gráfico que utiliza bloques funcionales para representar la lógica de control.

Lista de Instrucciones (IL):

Un lenguaje textual de bajo nivel que permite un mayor control sobre el funcionamiento del PLC.

Diagrama de Funciones Secuenciales (SFC):

Un lenguaje gráfico para representar secuencias de operaciones.

Lenguaje de Control Estructurado (SCL):

Un lenguaje textual que combina la estructura de la lógica Ladder con la flexibilidad del lenguaje ST.

3.3.4 Aplicaciones industriales.

Los PLC (Controladores Lógicos Programables) son ampliamente utilizados en diversas aplicaciones industriales para la automatización y el control de procesos, incluyendo la gestión de líneas de producción, el control de maquinaria, la automatización de edificios y la gestión de sistemas de transporte.

Elaboración:**Control de Maquinaria:**

Los PLC se utilizan para automatizar máquinas, aumentando su precisión y reduciendo el riesgo laboral, como en la industria automotriz o en la fabricación de componentes.

Procesos de Manufactura:

En la industria manufacturera, los PLC controlan líneas de producción, optimizando la eficiencia y el rendimiento de los procesos, según Structurit Consulting.

Sistemas de Transporte:

Los PLC se utilizan para el control de cintas transportadoras, sistemas de clasificación y otros sistemas de transporte, como en la logística y la distribución.

Gestión de Edificios:

Los PLC pueden automatizar sistemas de iluminación, climatización y seguridad en edificios,

Industria Automotriz:

Los PLC son fundamentales en la automatización de procesos de montaje, soldadura, pintura y ensamblaje en la fabricación de vehículos, garantizando la calidad y la seguridad.

Sistemas de Control de Procesos:

En industrias como la petroquímica, química y alimentaria, los PLC son utilizados para el control de procesos.

Industria Farmacéutica:

Los PLC aceleran los procesos de producción en la industria farmacéutica, como la inyección de vacunas en viales.

Industria Alimentaria

Los PLC regulan el flujo de agua, las válvulas y otros procesos en las plantas de tratamiento de agua y sistemas de procesamiento de alimentos.

Envasado y Empaquetado:

Los PLC son esenciales en la automatización de procesos de envasado, empaquetado y embotellado.

Sistemas de Robótica:

Los PLC controlan los movimientos y operaciones de robots industriales en aplicaciones como ensamblaje, soldadura y manipulación de materiales.

Industria Marina:

Los PLC supervisan y controlan componentes críticos como motores, propulsores y hélices en la industria marina.

Aplicaciones industriales del RSLogix 5000

Es un software de programación utilizado en la automatización industrial para programar y configurar los PLC (Controladores Lógicos Programables) de Allen-Bradley. Se utiliza en una variedad de aplicaciones, desde el control de máquinas individuales hasta sistemas de automatización de plantas enteras.

Aplicaciones industriales de RSLogix 5000:

Control de máquinas individuales:

Permite programar PLC para controlar el funcionamiento de máquinas individuales, como líneas

de producción, robots, o equipos de procesamiento.

Automatización de procesos:

Se utiliza para controlar procesos de fabricación, como llenado, secado, o mezclado, implementando secuencias lógicas y regulaciones.

Control de sistemas complejos:

Facilita la programación de PLC para controlar sistemas de automatización complejos, como plantas de energía, sistemas de transporte, o sistemas de tratamiento de agua.

Integración de sistemas de supervisión y control (SCADA):

Permite conectar PLC con sistemas SCADA para supervisar y controlar procesos de manera remota, visualizando datos y configurando alertas.

Configuración de interfaces hombre-máquina (IHM):

Permite configurar pantallas de IHM (Panelview 5000) para facilitar la interacción con el personal de operación y supervisar el funcionamiento del sistema.

Configuración de variadores de frecuencia:

Facilita la configuración de variadores de frecuencia Rockwell Automation (Powerflex) y motores (Kinetix) para controlar la velocidad y el par de los motores.

En resumen, RSLogix 5000 es una herramienta esencial en la automatización industrial, permitiendo la creación de sistemas de control inteligentes y eficientes.

3.3.5 Protocolos de comunicación y dispositivos con los cuales comunica el PLC RSLogix 5000 utilizado para el "diseño y elaboración de simulador para etapas de operación de centrales geotérmica" .

RSLogix 5000 utiliza principalmente EtherNet/IP y sus protocolos relacionados para la comunicación, incluyendo CIP (Common Industrial Protocol) y TCP/IP. También puede utilizar protocolos como Modbus RTU y Modbus TCP, aunque estos son más comunes para la comunicación con otros dispositivos.

A continuación, se detallan los protocolos más utilizados:

EtherNet/IP:

Es el protocolo principal para la comunicación con PLCs Rockwell ControlLogix y CompactLogix. Utiliza la tecnología Ethernet estándar y el protocolo CIP como capa de aplicación.

CIP (Common Industrial Protocol):

Es el protocolo de nivel de aplicación que subyace a EtherNet/IP y que se utiliza para el intercambio de datos entre los dispositivos.

TCP/IP:

Es un conjunto de protocolos de red que proporciona la infraestructura para la comunicación a través de redes, incluyendo Ethernet.

Modbus RTU y Modbus TCP:

Aunque no son los protocolos principales de RSLogix 5000, pueden ser utilizados para la comunicación con otros dispositivos, como SCADA, que pueden utilizar Modbus como protocolo de aplicación.

3.3.6 Dispositivos con los cuales comunica el PLC RSLogix 5000

Es un software de programación que se utiliza para configurar y programar controladores Logix de Rockwell Automation, como ControlLogix, CompactLogix, GuardLogix, SoftLogix y DriveLogix, además de las pantallas HMI PanelView 5000 y los variadores PowerFlex y Kinetix. En detalle:

- **Controladores Logix:**

RSLogix 5000 es la herramienta principal para programar los PLC Logix de Rockwell Automation, incluyendo ControlLogix, CompactLogix, GuardLogix, SoftLogix y DriveLogix.

- **HMI PanelView 5000:**

El software también permite la configuración y programación de las pantallas de interfaz hombre-máquina (HMI).

- **Variadores PowerFlex y Kinetix:**

RSLogix 5000 se utiliza para configurar y controlar los variadores de frecuencia PowerFlex y los motores de accionamiento Kinetix.

- **Comunicación EtherNet/IP:**

El software admite la comunicación a través de EtherNet/IP, utilizando el Perfil Complementario (AOP) para configurar dispositivos que se comunican con los PLC ControlLogix y CompactLogix.

Elaboración:

Sensores:

Los PLC reciben información de sensores como sensores de temperatura, presión, proximidad, interruptores de límite, etc.

Actuadores:

Los PLC controlan actuadores como motores, válvulas, luces, etc., para realizar acciones en el proceso.

HMI:

Las HMI permiten a los operadores interactuar con el PLC, visualizar datos y realizar ajustes.

Otros PLC:

Los PLC pueden comunicarse entre sí para formar sistemas de control más grandes.

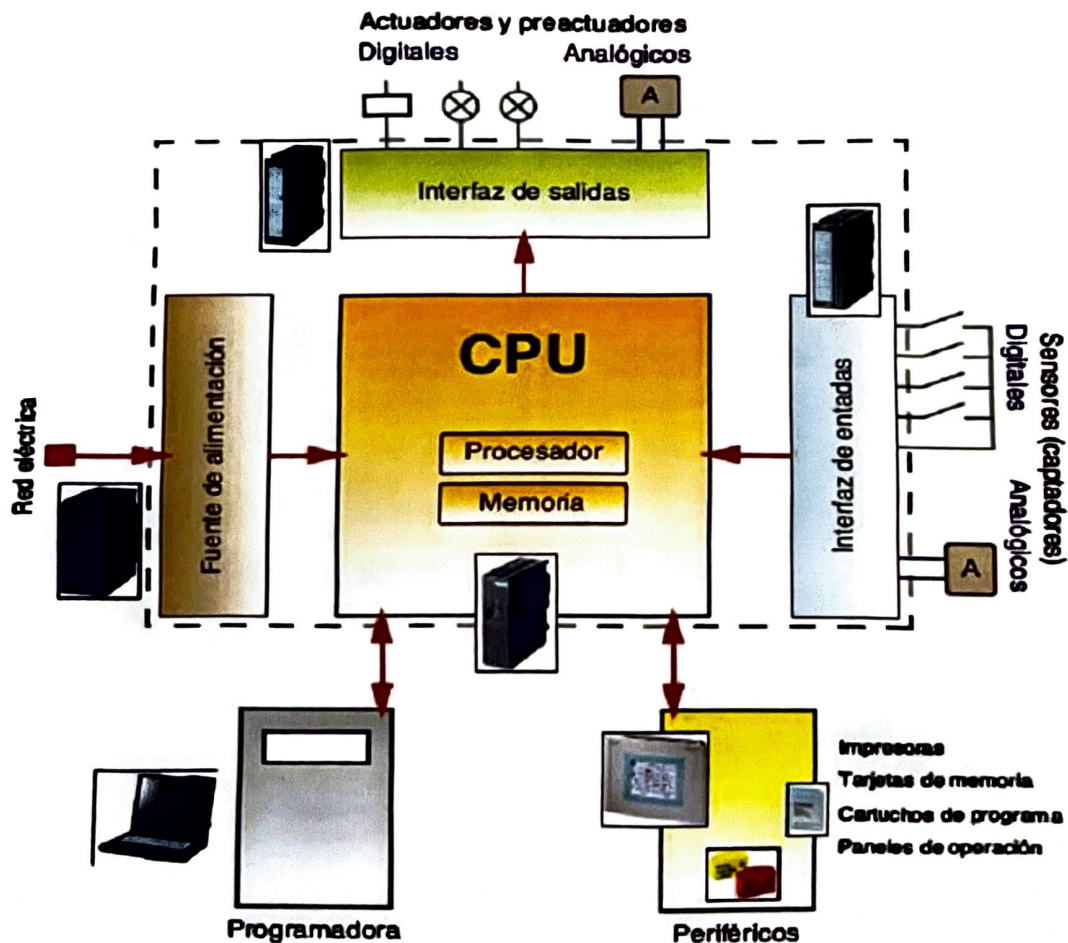


Imagen 60: Partes de un PLC.

CAPITULO 4: SISTEMA SCADA Y HMI.

4.1 Concepto de SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).

El sistema SCADA es una herramienta de automatización y control industrial utilizada en los procesos productivos que puede controlar, supervisar, recopilar datos, analizar datos y generar informes a distancia mediante una aplicación informática. Su principal función es la de evaluar los datos con el propósito de subsanar posibles errores.

En realidad, su definición es la de una agrupación de aplicaciones informáticas instaladas en un ordenador denominado Máster o MTU, destinado al control automático de una actividad productiva a distancia que está interconectada con otros instrumentos llamados de campo como son los autómatas programables (PLC) y las unidades terminales remotas (RTU).

Los sistemas SCADA se han convertido en la actualidad en elementos fundamentales en las plantas industriales, ya que ayudan a mantener la eficiencia, procesan los datos para tomar decisiones más inteligentes y comunican los problemas del sistema para ayudar a disminuir el tiempo de parada o inactividad.

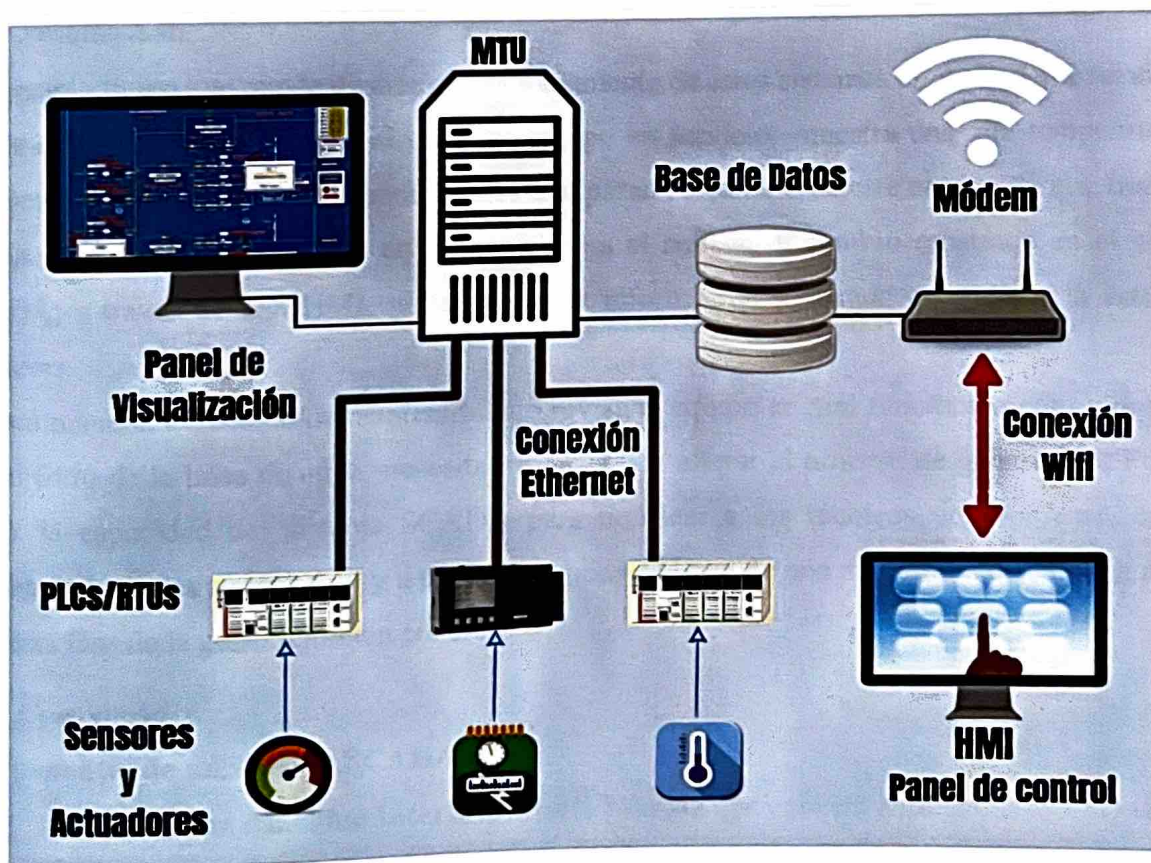


Imagen 61: Ejemplo de un diagrama basico con sistema SCADA.

4.1.1 Arquitectura y componentes de un sistema SCADA.

En sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) es un sistema centralizado de control que utiliza una arquitectura basada en PLC (Controladores Lógicos Programables) y RTU (Unidades Terminales Remotas) como núcleo. Estos componentes se comunican con sensores, maquinaria y dispositivos finales para la adquisición de datos y el control. Adicionalmente, la arquitectura incluye interfaces de red, equipos de comunicación y software específico. El sistema SCADA permite supervisar, controlar y recopilar datos de procesos industriales o infraestructuras a distancia.

El marco SCADA consta de componentes de hardware y programas de software. El hardware incluye una "Unidad Terminal Remota (RTU)", una "Unidad Terminal Maestra (MTU)", actuadores y sensores, y el software incluye una "Interfaz Hombre-Máquina (HMI)", una base de datos central (Historiador) y otro software de usuario [16]. Este software proporciona una interfaz de comunicación entre el hardware y el software. El entorno físico está vinculado a los actuadores y sensores, que a su vez están conectados a las RTU.

4.1.2 Arquitectura.

Un ejemplo típico que puede ilustrar el funcionamiento de estos sistemas es el siguiente: el sistema notifica rápidamente a un operario que un equipo en servicio muestra una alta temperatura de enfriamiento. En este caso, el operario hace una parada o cambio de este equipo ya que tiene uno en espera y visualiza la mejora en la temperatura al realizar el cambio mostrado en el sistema SCADA, a través de una HMI, y puede con la información mostrada determinar la causa del problema.

De esta manera, el técnico de mantenimiento revisa el equipo en mal funcionamiento y descubre que el filtro de la línea de agua necesita limpieza sin alterar el proceso de generación. Por esta razón, la capacidad del sistema SCADA para notificar a los técnicos un problema, error o incidencia le ayuda a resolverlo y a prevenir salidas de línea de una máquina o disparos a futuro, y en esta fase de la generación en concreto.

4.1.3 Componentes.

Componentes de un sistema SCADA

- **HMI (Human Machine Interface):** Es la interfaz que conecta al humano con la máquina presentando los datos del proceso ante el operario mediante un sistema de monitoreo. Además, controla la acción a desarrollar a través de una pantalla, en la actualidad táctil.

- **Sistema de supervisión o MTU (Master Terminal Unit) (Ordenador/Computadora):** Tiene la función de recopilar los datos del proceso y enviar las instrucciones mediante una línea de comandos.
- **Unidades Terminales Remotas (RTU):** Son microprocesadores (Ordenadores Remotos) que obtienen señales independientes de una acción para enviar la información obtenida remotamente para que se procese. Se conectan a sensores que convierten las señales recibidas en datos digitales que lo envían a la computadora o sistema de supervisión (MTU)
- **PLC (Programmable Logic Controller):** Denominados comúnmente autómatas programables, estos son utilizados en el sistema como dispositivos de campo debido a que son más económicos, versátiles, flexibles y configurables que las RTU comentadas anteriormente.
- **Red o sistema de comunicación:** Se encarga de establecer la conectividad del ordenador (MTU) a las RTU y los PLC. Para ello utiliza conexiones vía modem, Ethernet, Wifi o fibra óptica.
- **Sensores:** Son dispositivos que actúan como detectores de magnitudes físicas o químicas, denominadas variables de instrumentación, y las convierten en variables o señales eléctricas.
- **Actuador:** Es un dispositivo mecánico que se utiliza para *actuar* u ofrecer movimiento sobre otro dispositivo mecánico.

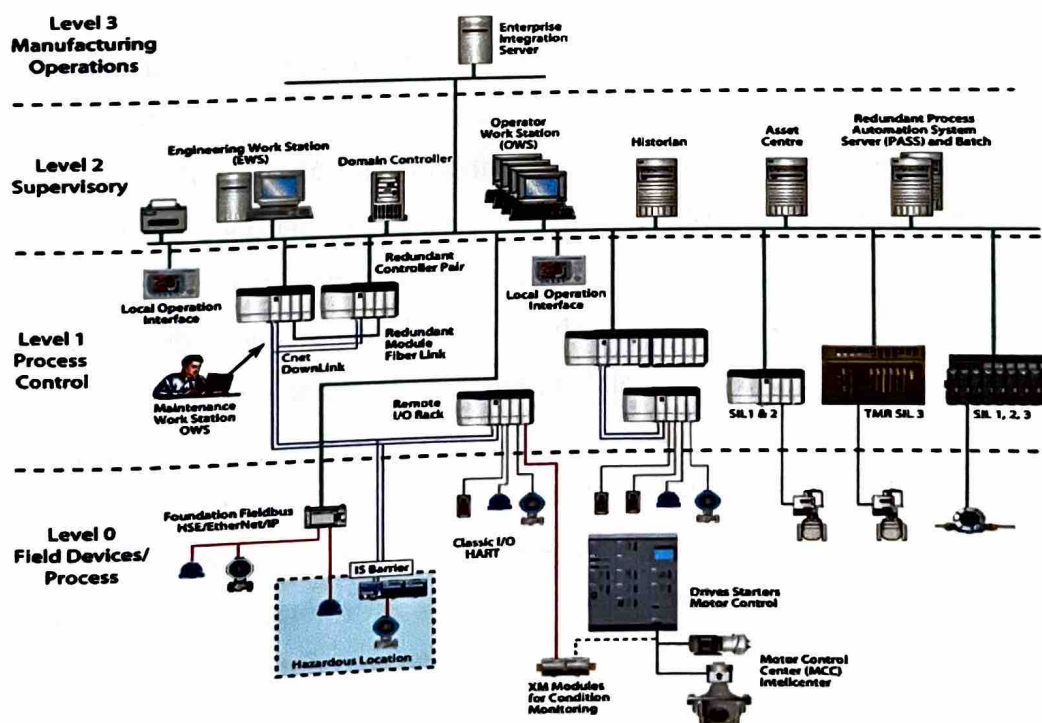


Imagen 62: Arquitectura de un sistema SCADA.

4.1.4 Programación y configuración de un sistema SCADA.

La programación y configuración de un sistema SCADA implica el diseño y la implementación de una solución que supervisa, controla y automatiza procesos. Esto incluye la creación de interfaces de usuario (HMI) para la visualización de datos y el control de la planta. La configuración se centra en la recopilación de datos, el control de equipos y la automatización de tareas, lo que permite a los usuarios monitorear el estado de la planta y visualizar tendencias. El sistema SCADA actúa como una interfaz entre el proceso y el usuario.

4.1.5 Integración de los sistemas SCADA y HMI.

Las tecnologías de un SCADA y un HMI son diferentes y se pueden complementar sin problema. De hecho, se suelen utilizar conjuntamente para crear una herramienta industrial, funcional y muy útil.

Por su parte, los sistemas SCADA son esenciales cuando se trata de grandes infraestructuras de producción industrial. En cambio, un sistema HMI es la propia tecnología que ayudará a llevar a cabo la monitorización en un sistema SCADA.

Esto significa que un sistema SCADA necesita una tecnología HMI para poder visualizar toda la información relacionada con la cadena de producción.

La unidad SCADA tiene su propia HMI. Por eso mucha gente se confunde y piensa que SCADA y HMI son lo mismo.

La unidad HMI o «Human Machine Interface» en el SCADA puede supervisar y controlar cualquier cosa que esté conectada a ella. En conclusión, la HMI puede formar parte del SCADA, pero el SCADA no puede formar parte de una HMI.

La supervisión es la función que permite al operador tener una visión inmediata del estado del proceso y controlar cómo evoluciona el proceso con el tiempo mediante el análisis de la secuencia de estados operativos.

La tarea principal de la supervisión es realizar la interfaz hombre-máquina (HMI). Para ser eficaz, la HMI debe proporcionar al operador una imagen rápida y completa de todo el proceso, destacando el estado, la evolución y las desviaciones inesperadas (alarmas).

Para una HMI efectiva, la representación gráfica es de gran importancia, ya que traduce información relevante para el proceso en un lenguaje visual de fácil comprensión para el operador.

Por ejemplo, puede mostrar el estado de una bomba a través de un símbolo gráfico con diferentes

colores, el cambio del valor de una presión a través de una tendencia gráfica, la aparición de una alarma a través de una ventana emergente.

4.1.6 Seguridad y protección en los sistemas SCADA.

El informe Control Systems Cyber Security Awareness del año 2005 (US-CERT) analizaba cómo entre los años 2002 y 2004 el 66% de los incidentes de seguridad ocurridos con sistemas SCADA se debían a ataques externos, mientras que el 22% se debían a accidentes, el 3% a errores o fallos de funcionamiento internos y el resto, a causas desconocidas. Entre 1982 y 2001, sólo el 29% de los incidentes de seguridad se habían catalogado como externos.

A principios del siglo XXI los sistemas SCADA han comenzado a trabajar con tecnologías y protocolos estándar y conocidos por todos, como suelen estar distribuidos geográficamente se conectan a centros de supervisión y control mediante tecnologías y protocolos estándar, y a su vez estos centros suelen estar conectados a la red corporativa de la empresa o institución propietaria del proceso, y a través de esta red a Internet.

Por este motivo la preocupación por la seguridad de los sistemas SCADA ha sido creciente. Algunos ejemplos son las nuevas normativas, mejores prácticas, instituciones, etc. dedicadas a la seguridad de estos sistemas. Además, dentro de la protección de infraestructuras de información críticas (CIIP), la protección de los sistemas de control industriales es un punto clave. Incluso se ha comenzado a hablar de ciberterrorismo después de los incidentes ocurridos en Estonia en el año 2007 y de la cantidad de información técnica acerca de los productos de diferentes fabricantes de sistemas SCADA que se han encontrado tras las detenciones de diferentes terroristas en los últimos años.

Aunque todavía no existen estándares y normativas universalmente aceptadas, sino que suelen ser más bien iniciativas a nivel nacional, y/o sectorial sí que existen principios básicos, consensuados, que deben ser los fundamentos de la seguridad industrial en la actualidad:

- Conciencia de seguridad y formación.
- Definición de políticas y procedimientos.
- Diseño de arquitecturas seguras.
- Control del acceso remoto.
- Análisis de vulnerabilidades y riesgos.
- Respuesta ante incidentes.

- Gestión de configuración y actualización.
- Monitorización y control.
- Gobernanza de IT.
- Gestión del cambio.

4.1.7 Estudio de casos y aplicaciones prácticas.

El desarrollo de aplicaciones SCADA comienza dentro de la Automatización Industrial, como respuesta a la solicitud de centralizar toda la información relacionada con el proceso industrial en una única sala de control, con especial atención a los aspectos relativos al buen funcionamiento de la planta industrial (mantenimiento y gestión de alarmas).

Las aplicaciones SCADA se utilizan en casi todos los sectores de la Automatización Industrial, desde el plástico hasta la madera, desde la cerámica hasta la alimentación, desde el textil hasta el embalaje, proporcionando una serie de soportes automáticos destinados a optimizar el proceso de producción (control de calidad, cumplimiento, devoluciones, informes de producción).

En poco tiempo, las aplicaciones SCADA van más allá de los límites de la Automatización Industrial y se utilizan para el control remoto de redes públicas (redes eléctricas, redes de agua, redes ferroviarias, etc.), para la automatización de edificios y, finalmente, para la domótica.

A continuación, se muestra una serie de ejemplos de aplicaciones SCADA.

1. **Supervisión de redes de baja y media tensión:** la posibilidad de seleccionar el contrato más adecuado entre los diferentes proveedores de energía hace cada vez más conveniente un sistema de supervisión capaz de garantizar un seguimiento continuo del consumo de energía y los costes energéticos de las redes de baja y media tensión.
2. **Control de calidad en el tratamiento térmico de metales:** garantiza el control de calidad para los tratamientos térmicos en una división de planta equipada con hornos heterogéneos (hornos multicámara, hornos de pozo, hornos de templado y endurecimiento), reemplazando los registradores de papel tradicionales y creando informes de producción.
3. **Sistema de prueba de estufas de leña:** permite realizar pruebas comparativas en estufas de leña que trabajan en diferentes condiciones ambientales; Las temperaturas se muestran como mapas termográficos para proporcionar una visión rápida y efectiva de la situación

térmica.

4. **Control de supervisión de una planta de hilatura:** permite producir hilos de polipropileno de tal manera que se garantice que todas las características del producto (torsiones, título, tenacidad, estabilización, color, etc.) cumplan perfectamente con las especificaciones técnicas solicitadas por el cliente y puedan reproducirse incluso después de meses.
5. **Monitoreo de dispositivos médicos con temperaturas controladas:** se ha instalado en muchos hospitales e instalaciones de investigación para garantizar el monitoreo continuo de equipos locales y remotos utilizados para la conservación de tejidos orgánicos; el sistema genera informes periódicos para la Certificación de Calidad, en cumplimiento de las leyes vigentes.
6. **Sistema de monitorización del nivel de contaminación por polvo:** asegura una monitorización continua del nivel de contaminación por polvo, detectado a través de sensores triboeléctricos, permitiendo así intervenir sobre la planta antes de alcanzar los valores límite de concentración.
7. **Control de supervisión de una planta de producción de películas:** el sistema se aplica a una planta para la producción de películas con barrera de gas, que combina las tecnologías de "película fundida" y "recubrimiento por extrusión"; Permite controlar desde un único punto el funcionamiento de todas las partes de la línea multietapa, que incluye una variedad de máquinas y equipos de control.
8. **Sistema de control de calidad en la industria alimentaria:** los procesos de producción y almacenamiento en la industria alimentaria están sujetos a leyes específicas relacionadas con el control de calidad; El sistema ofrece la posibilidad de cumplir con los criterios de control de calidad solicitados, limitando tanto el costo de inversión como la pérdida de producción durante la instalación.

9. **Control de supervisión de la planta de producción de helados:** para cumplir con las normas vigentes y proteger la seguridad del consumidor, el sistema garantiza la calidad del proceso de pasteurización, proporciona un control sistemático sobre el estado de trabajo de las mezclas contenidas en los tanques de refinamiento, garantiza la efectividad de la limpieza y esterilización.
10. **Control de supervisión de hornos de ladrillo y cerámica:** garantiza la repetibilidad y la calidad de la producción mediante la gestión de recetas de producción y la generación de informes de lotes; El sistema muestra las curvas de temperatura actuales y teóricas en los hornos continuos, y permite ajustar la curva de temperatura y la curva de dilución de aire en los hornos intermitentes.
11. **Control de supervisión de una instalación automática para el tratamiento térmico:** los materiales por lotes se vinculan a sus recetas de tratamiento y se colocan en plataformas de estacionamiento; luego se dirigen a los tratamientos térmicos de carburación, templado y endurecimiento. Un sistema de optimización por lotes proporciona la mejor secuencia para utilizar todos los elementos de tratamiento térmico de una manera racional y económica.
12. **Supervisión de plantas para la producción de vino:** proporciona un control de calidad de todas las etapas del proceso de producción del vino, desde el exprimido de la uva hasta el embotellado del vino: control de la temperatura de fermentación, concentración al vacío, desulfuración, producción de MCR, estabilización tartárica, enriquecimiento del mosto por ósmosis, etc.

4.2 HMI

4.2.1 Introducción a los Sistemas de Interfaz Humano-Máquina.

Los sistemas de interfaz enlazan los elementos físicos, humanos y computacionales en un sistema determinado. De esta forma, la interfaz es el punto de encuentro entre el usuario y la computadora. Los usuarios interactúan con o a través de una interfaz para obtener información o servicios. Por tanto, es un componente fundamental en el diseño y uso de los sistemas de tecnologías de la información.

4.2.2 Definición y Conceptos Fundamentales de HMI

El acrónimo HMI corresponde a la denominación en inglés Human Machine Interface, que traducido al español se transforma en Interfaz Hombre Máquina. Dicha definición está relacionada con la forma visual que tienen los sistemas informáticos a través de la cual el hombre realiza la interacción necesaria con la máquina. La HMI está dividida en dos conceptos principales: Interfaz, que corresponde al intercambio de información entre dos elementos o entidades con el objeto de interactuar, y Hombre Máquina, el que se refiere al interfaz con el cual el ser humano se comunica con el sistema o máquina.

4.2.3 Tipos de HMI, desde la conceptualización no tradicional.

Terminal de Operador: Consistente en un dispositivo, generalmente construido para ser instalado en ambientes agresivos, donde pueden ser solamente de despliegues numéricos, o alfanuméricos o gráficos. Pueden ser además con pantalla sensible al tacto (touch screen) PC + Software, esto constituye otra alternativa basada en un PC en donde se carga un software apropiado para la aplicación. Como PC se puede utilizar cualquiera según lo exija el proyecto, en donde existen los llamados Industriales (para ambientes agresivos), los de panel (Panel PC) que se instalan en gabinetes dando una apariencia similar a la de terminal de operador.

Ejemplos de principales funciones de una interfaz de usuario:

- Puesta en marcha y apagado.
- Control de las funciones manipulables del equipo.
- Manipulación de archivos y directorios.
- Herramientas de desarrollo de aplicaciones.
- Comunicación con otros sistemas.
- Información de estado.
- Configuración de la propia interfaz y entorno.
- Intercambio de datos entre aplicaciones.
- Control de acceso.
- Sistema de ayuda interactivo.

El diseño de una interfaz de usuario es crítico para el manejo de un equipo, hay algunas muy bien diseñadas que incorporan controles intuitivos y de fácil manejo, en cambio existen otras que no se

entienden bien y el usuario desconoce el manejo correcto, es por eso por lo que se tiene que estudiar un manual o recibir formación del experto.

Software: Estos softwares permiten, entre otras cosas, la función de interface gráfica de modo que se puede ver el proceso e interactuar con él, registro en tiempo real e histórico de datos, manejo de alarmas. Si bien es cierto sólo con la primera función enunciada es la propiamente HMI, casi todos los proveedores incluyen las otras dos ya sea en el mismo paquete o bien como opcionales. También es normal que dispongan de muchas más herramientas. Al igual que en los terminales de operador, se requiere de una herramienta de diseño o desarrollo, la cual se usa para configurar la aplicación deseada, y luego debe quedar corriendo en el PC un software de ejecución (Run Time). Por otro lado, este software puede comunicarse directamente con los dispositivos externos (proceso) o bien hacerlo a través de un software especializado en la comunicación. Algunas de estas interfaces necesitan, además de información de manera gráfica y de tiempo real, tener la capacidad de visualizar información histórica, es decir, datos del proceso correspondientes a hace algunas horas o hasta días, además, las interfaces deben ser capaces de interactuar con el sistema de control para iniciarlo, detenerlo, cambiar valores, set-points, monitorear la disponibilidad y existencia de materia prima, la selección de recetas, que son la relación de sustancias componentes de una mezcla o compuesto. Este tipo de procesos son de gran importancia para las industrias que requieren de sistemas capaces de monitorear y controlar los procesos con facilidad.

Comunicación: La comunicación con los dispositivos de las máquinas o procesos se realiza mediante comunicación de datos empleando las vías disponibles para ello, tanto en los dispositivos como en los PCs. Actualmente para la comunicación se usa un software denominado servidor de comunicaciones, el que se encarga de establecer el enlace entre los dispositivos y el software de aplicación (HMI u otros) los cuales son sus clientes. La técnica estandarizada en estos momentos para esto se llama OPC (Ole for Process Control), por lo que se cuenta con Servidores y Clientes OPC.

Otro de los conceptos importantes de su diseño es la usabilidad del panel de control. Es decir, sus funciones y manejo han de facilitar la vida del operario y de los técnicos intervinientes en los procesos de fabricación.

4.2.4 Funciones básicas de las HMI:

- Visualizar los datos.

Seguimiento del tiempo de producción.

Supervisar los KPI.

Supervisar las entradas y salidas de la máquina.

Diagrama Básico de un HMI/Interfaz Humano-Máquina

5 Entre las industrias que utilizan HMI destacan.

Energía.

Alimentos y bebidas.

Fabricación.

Petróleo y gas.

Potencia.

Reciclaje.

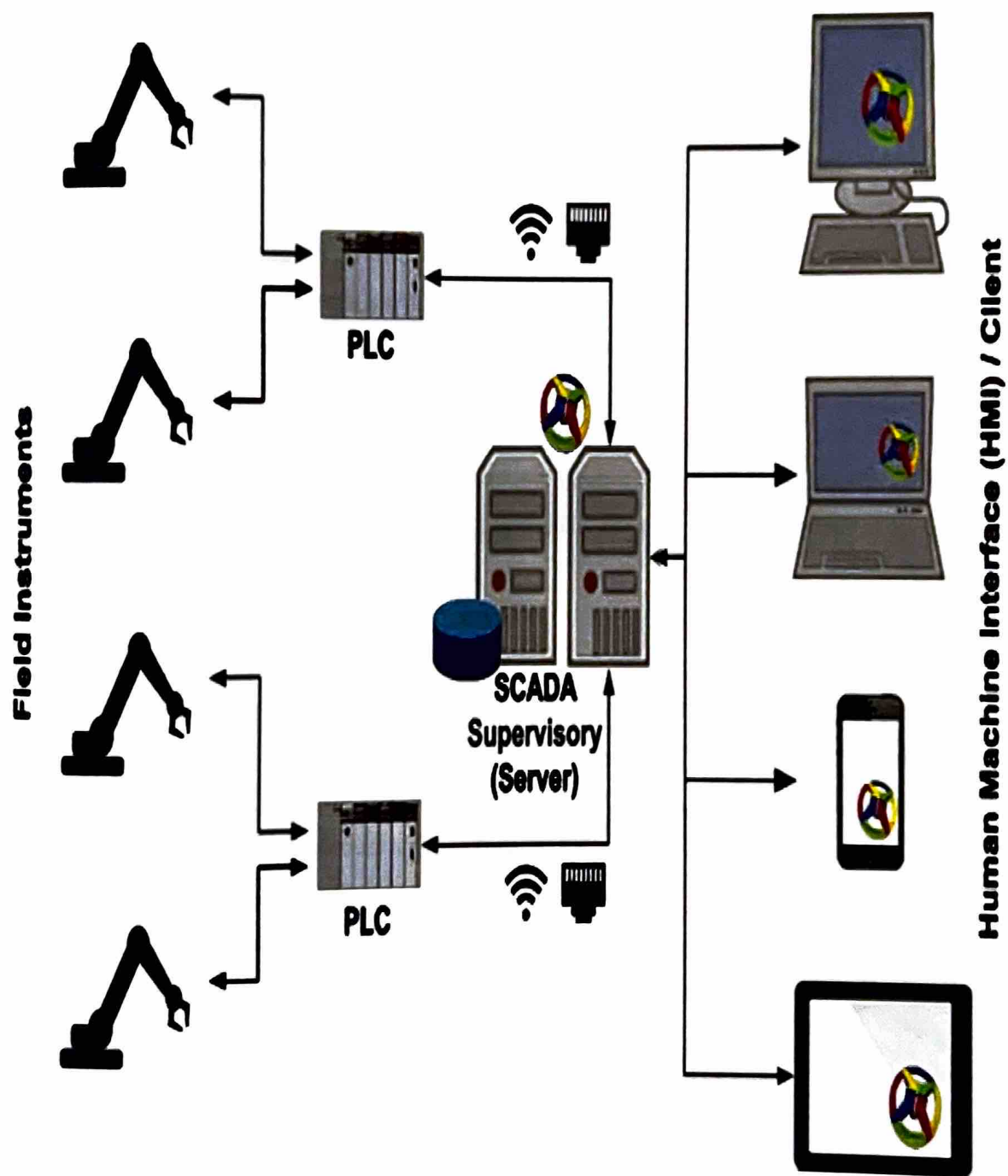
Transporte.

Agua y aguas residuales.



Imagen 63: Interacción HMI.

4.2.5 DIAGRAMA FUNCIONAL DE COMUNICACIÓN ENTRE PLC-SCADA-HMI



4.2.6 Ejemplos De Cómo El SCADA Se Integra Con PLC En El Simulador Geotérmico.

En un simulador geotérmico, el sistema SCADA se integra con el PLC (Controladores Lógicos Programables) para monitorear, controlar y visualizar el proceso de generación de energía. El PLC actúan como el cerebro del sistema, controlando las operaciones a nivel virtual, mientras que el SCADA proporciona la interfaz gráfica para que los operadores puedan supervisar y gestionar toda la planta de forma centralizada.

Aquí se presentan ejemplos de cómo se manifiesta esta integración en el simulador geotérmico realizado:

1. Gestión del sistema de enfriamiento

En el PLC: Después de pasar por la turbina, el vapor se enfría en torres de enfriamiento para volver a convertirse en agua. El PLC gestionan las bombas de agua de enfriamiento, los ventiladores y las válvulas para controlar el proceso.

En el SCADA: El operador visualiza el estado del sistema de enfriamiento a través de la interfaz gráfica. Si el operador detecta que la temperatura del condensador es demasiado alta, puede activar más bombas o ventiladores desde el SCADA, el cual a su vez le envía la señal al PLC para que ejecute la acción

2. Registro de datos y análisis de tendencias

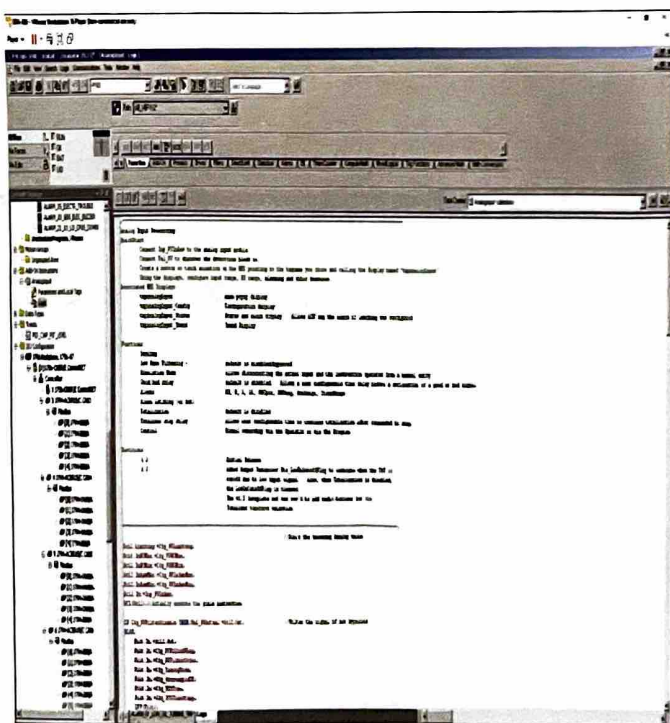
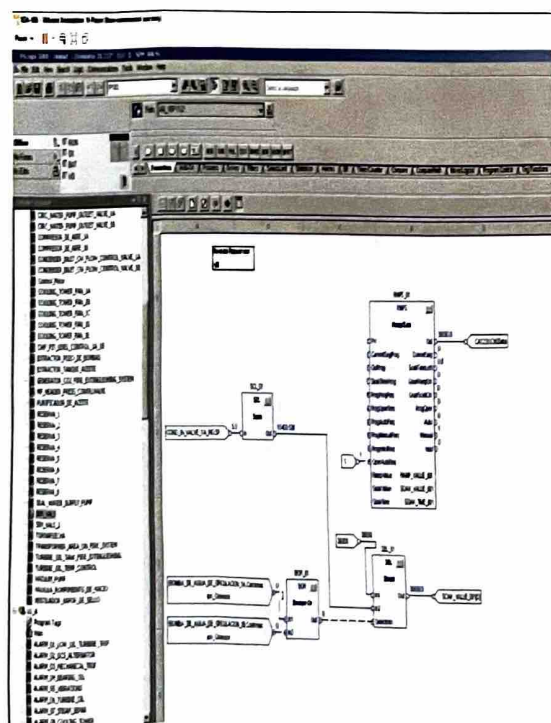
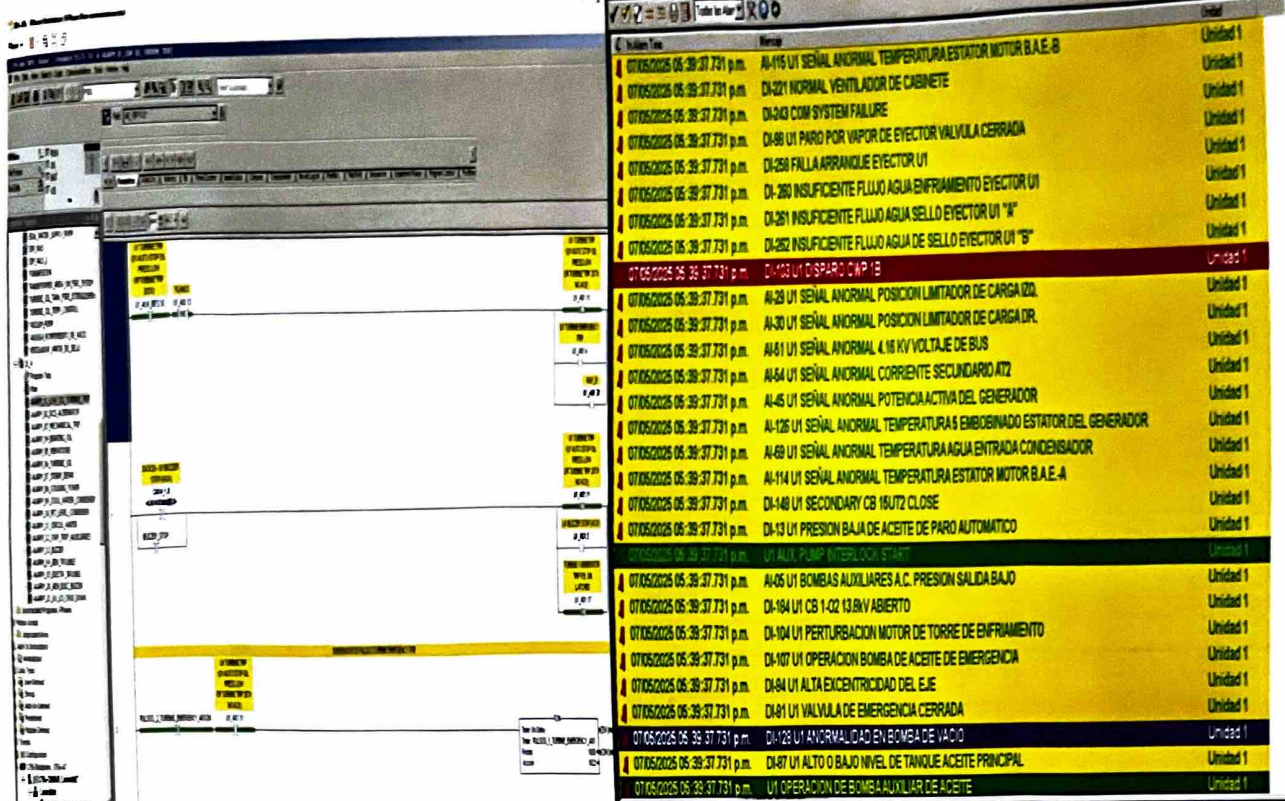
En el PLC: El PLCs recoge continuamente los datos de todos los sensores y actuadores del proceso.

En el SCADA: El sistema SCADA no solo muestra los datos en tiempo real, sino que también los registra en una base de datos. Esto permite al operador ver gráficos de tendencias históricas de variables como la temperatura y la presión, lo que es útil para el análisis de rendimiento, la detección de fallos y el mantenimiento predictivo.

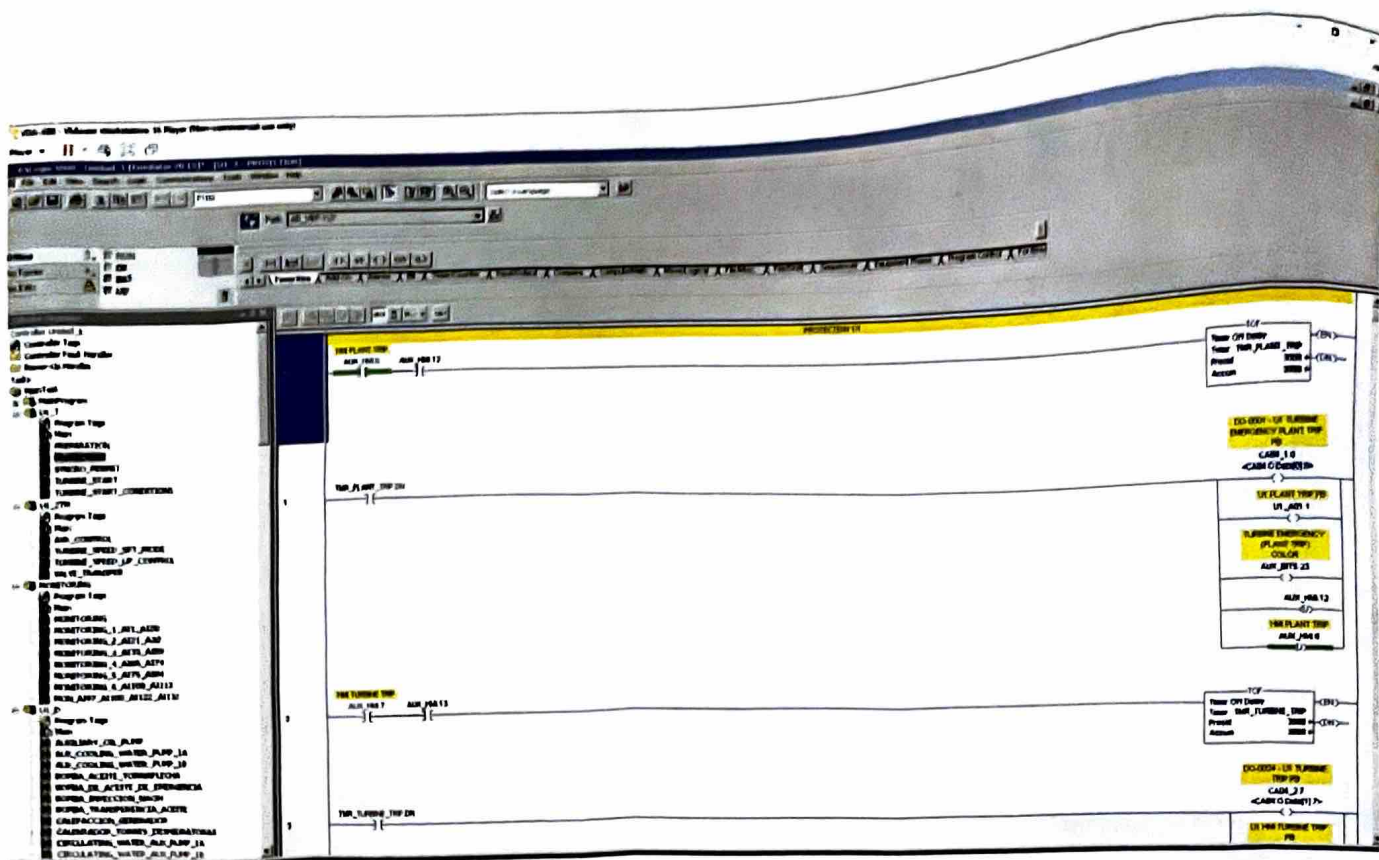
2. Gestión de alarmas

En el PLC: El PLCs está programado para detectar condiciones anormales, como una presión excesiva en los pozos o una temperatura crítica en la turbina. Al detectar un evento de este tipo, el PLC puede activar una alarma local o incluso realizar una parada de emergencia.

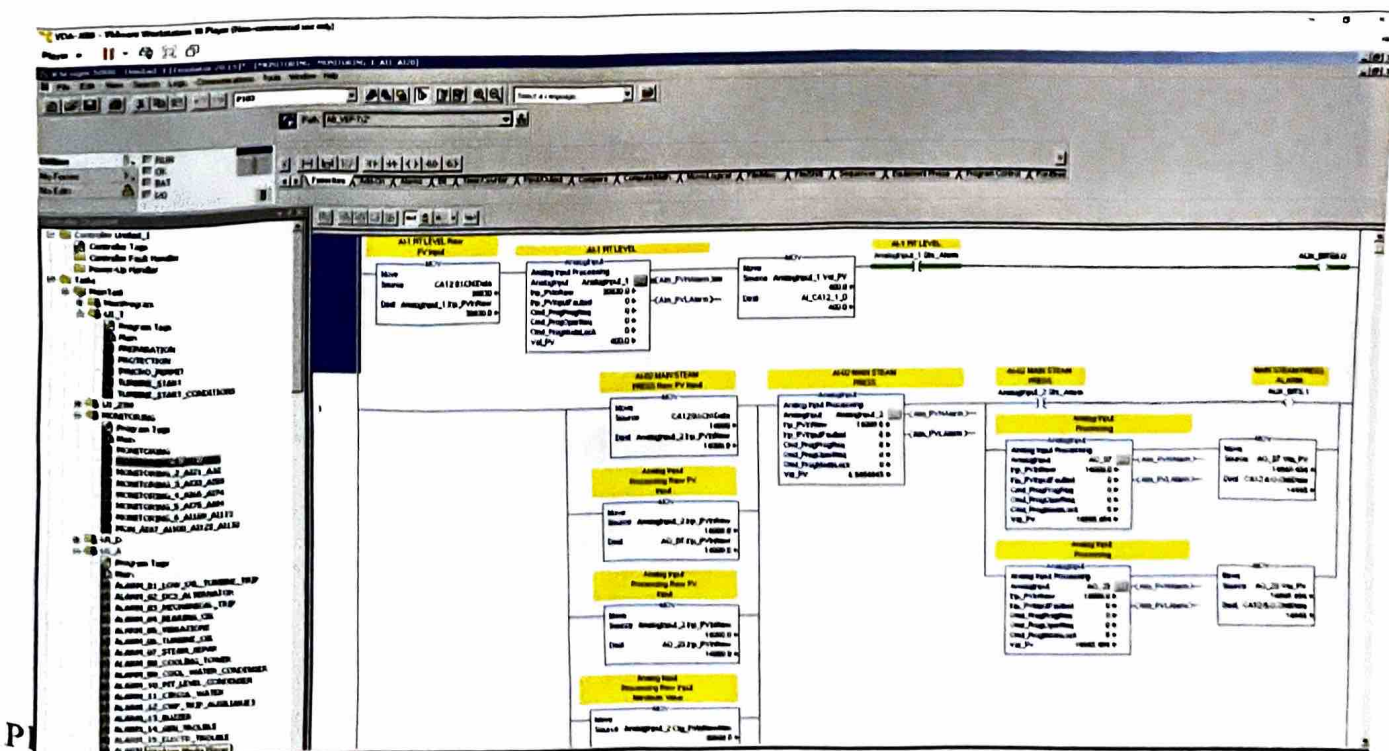
En el SCADA: El sistema SCADA recibe la señal de alarma del PLC y la muestra de manera prominente en la interfaz de usuario, a menudo con una indicación visual y sonora. La alarma informa al operador sobre la naturaleza y la ubicación del problema, permitiendo una respuesta rápida.



Ejemplo integración de alarmas PLC- SCADA.



Integración PLC sistema de protección con el SCADA.



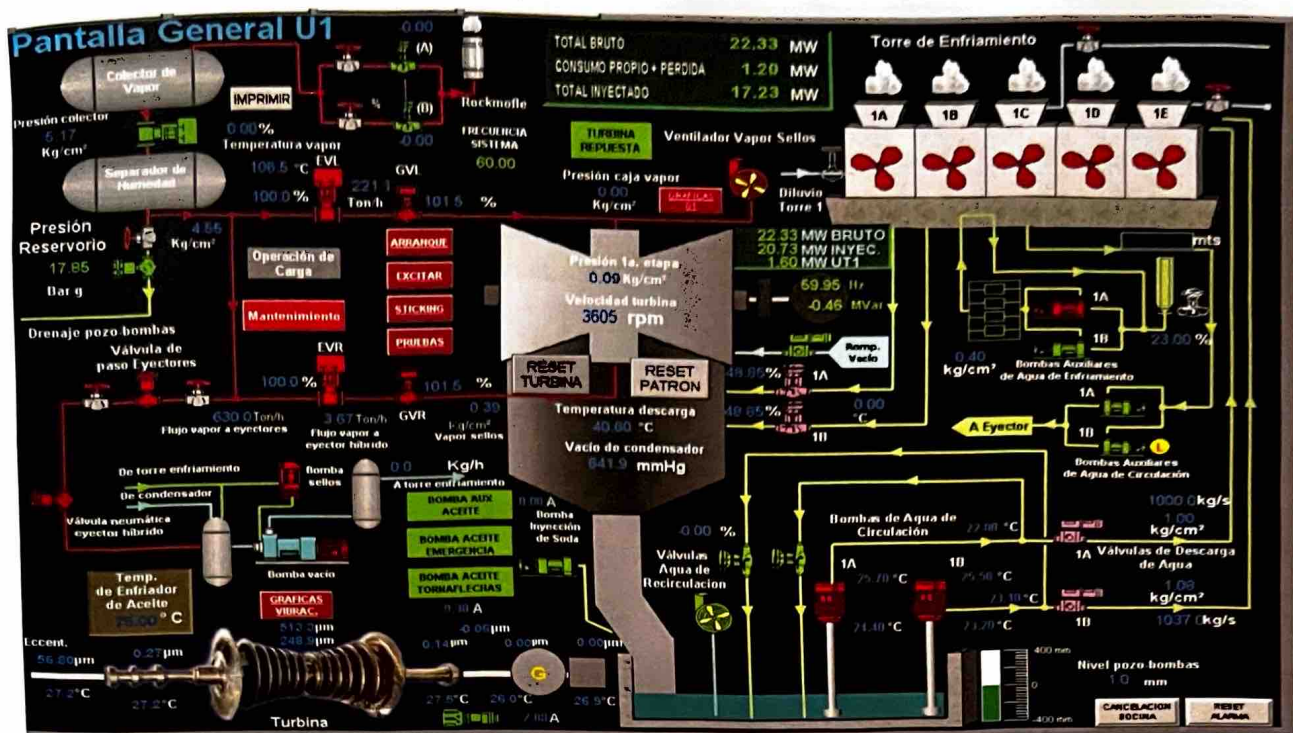


Imagen 64: HMI del sistema escada para la simulación operación de central geotérmica.

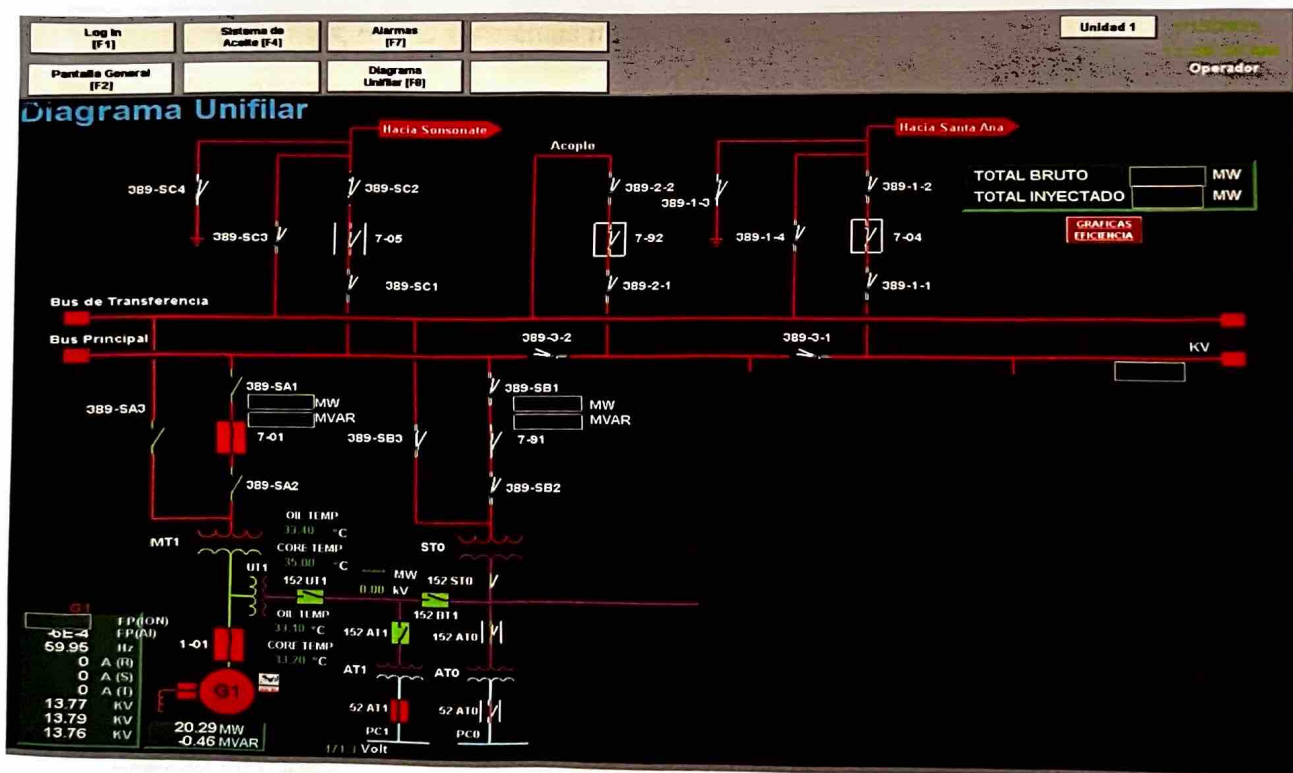


Imagen 65: HMI del sistema SCADA diagrama eléctrico del simulador para generación geotérmica.

4.3 APLICACIONES

Las HMI (Interfaz Hombre-Máquina) se utilizan en la industria para facilitar la interacción entre los operadores y los sistemas de control, permitiendo una monitorización y gestión de procesos en tiempo real. Estas interfaces, a menudo en forma de pantallas táctiles o paneles de control, ofrecen a los operadores herramientas para visualizar datos, gestionar alarmas y realizar ajustes en los procesos.

4.3.1 Aplicaciones industriales de las HMI:

- **Control de procesos:**

Monitoreo y control de variables clave en procesos industriales como temperatura, presión, flujo, etc.

- **Gestión de alarmas:**

Recibir y gestionar alertas sobre posibles problemas o anomalías en el proceso.

- **Visualización de datos:**

Presentación de datos de proceso en forma de gráficos, diagramas y paneles de control.

- **Control de maquinaria:**

Interacción con equipos, robots y sistemas de automatización.

- **Análisis de datos:**

Recopilación y análisis de datos para optimizar procesos y mejorar la eficiencia.

- **Programación de tareas:**

Permitir a los operadores programar y ejecutar tareas específicas en el proceso.

- **Integración con otros sistemas:**

Conexión con sistemas SCADA, ERP y MES para una visión integral de la planta.

4.3.2 Ejemplos de sectores industriales que utilizan HMI:

- **Manufactura:** Control de líneas de montaje, seguimiento de la producción y gestión de inventarios.
- **Energía:** Supervisión de sistemas eléctricos, control de equipos en refinerías y plantas de energía.
- **Alimentos y bebidas:** Gestión de procesos de envasado, monitoreo de calidad y control de cadena de frío.
- **Agua y saneamiento:** Control de niveles y parámetros en plantas de tratamiento de agua.
- **Farmacéutica:** Control de procesos BATCH, CIP-SIP y otras operaciones de producción.

- **Química:** Control de reactores, dosificaciones y otros procesos químicos.
- **Aeroespacial y defensa:** Control de cabinas de aeronaves, control del tráfico aéreo y sistemas de defensa.

4.3.3 Beneficios de las HMI en la industria:

- **Mayor eficiencia:** Permite a los operadores tomar decisiones más rápidas y precisas.
- **Menos errores humanos:** Reducen el riesgo de errores de operación.
- **Mejor seguridad:** Alertan sobre posibles problemas y permiten tomar medidas preventivas.
- **Mayor productividad:** Optimización de los procesos y reducción del tiempo de inactividad.
- **Facilita la interacción:** Ofrece una interfaz intuitiva y fácil de usar para los operadores.

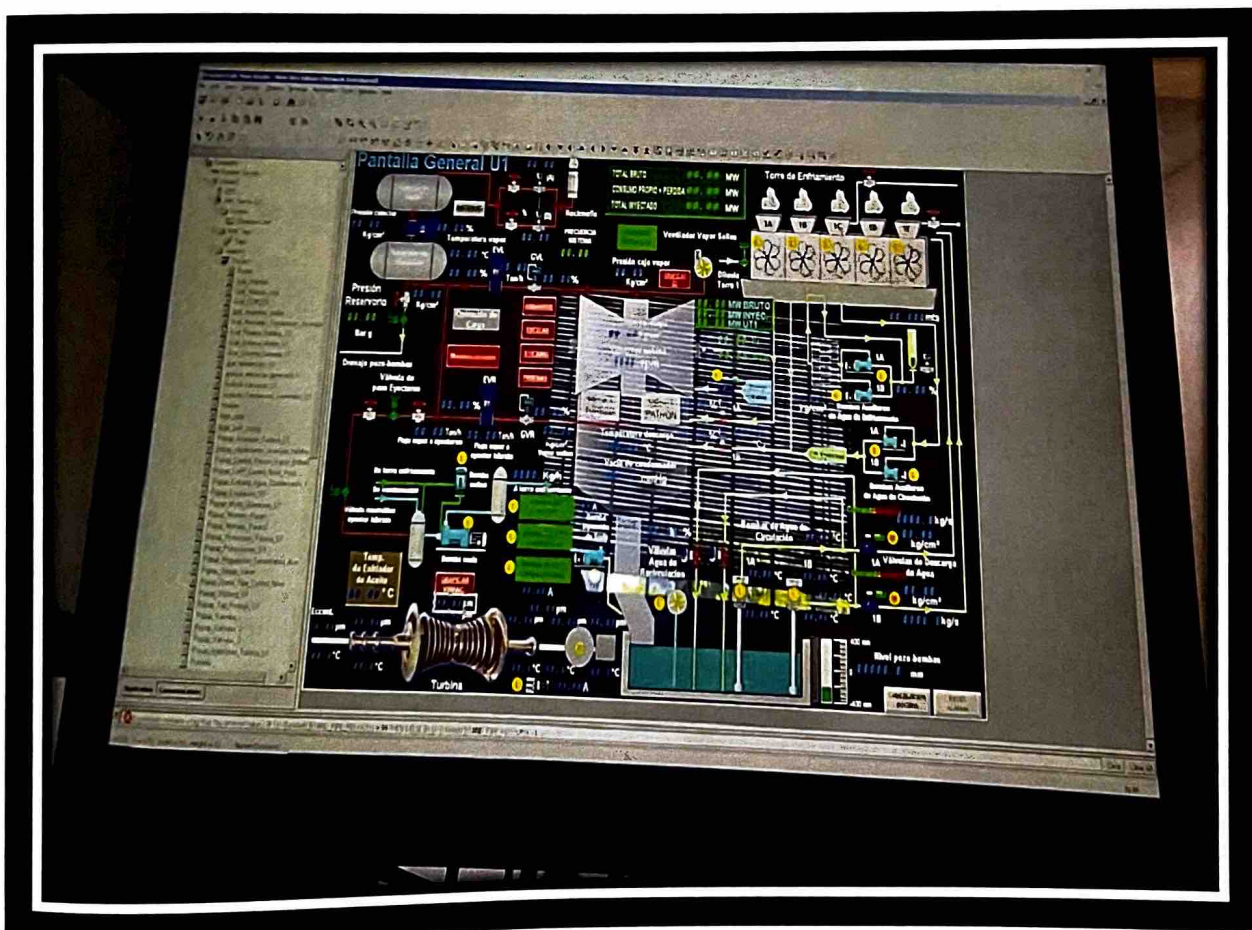


Imagen 66: HMI utilizada para el simulador del proyecto presentado.

CAPÍTULO 5: SIMULADOR OPERACIONAL.

5.1 Descripción de la planta a simular:

La planta geotérmica para simular es la unidad #1 de Ahuachapán, se encuentra ubicada a 103 km al occidente de la ciudad capital, en el sector norte de la Cordillera de Apaneca conocido como Cantón Santa Rosa Acacalco, municipio y departamento de Ahuachapán.

Inaugurada en 1972 e iniciando su operación comercial en septiembre de 1975 con una construcción de una unidad de 30MW, que utiliza vapor a 5.6 bar, de la cual se describen los siguientes equipos principales y auxiliares:

5.1.1 Elementos que conforman extracción de vapor:

- **Pozos productores:**

En el campo geotérmico es el sitio donde se ubican los pozos geotérmicos que desde la superficie conectan con el reservorio y es a través de éstos que se extrae el vapor que mediante una red de tuberías denominado sistema de acarreo, se conduce hacia la central generadora, donde la energía calorífica del vapor se convierte en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica.



Imagen 67: Operador de pozo productor de vapor.

- **Silenciadores de vapor.**

Cuando la producción de vapor es muy grande en términos de cantidad de caudal sobre capacidad de producción de la planta es necesario este exceso liberarlo para no someter al sistema a sobrepresiones que puedan causar daño.

Estos equipos también son utilizados a la salida del agua hirviente porque al ser desechada al ambiente se produce evaporación instantánea. Además de los casos nombrados se desecha vapor o agua caliente para cuestiones de mantenimiento o en casos de emergencia (sobrepresión) a lo largo de todo el sistema de explotación, conducción y producción.

5.1.2 Colector, Separador de humedad y turbina de vapor.

Colector o recolector de vapor:

la función principal de un colector de vapor geotérmico. El colector es el componente central de una central geotérmica donde se recibe el vapor proveniente de los pozos geotérmicos, en él se controla la presión, para asegurar el correcto funcionamiento de la central.

El colector realiza las siguientes funciones:

- **Recibir el vapor:**

El colector recibe el vapor geotérmico que es extraído de los pozos a alta temperatura y presión.

- **Controlar la presión:**

Para evitar daños al equipo o a la central, se utilizan válvulas de control de presión, discos de ruptura y válvulas de alivio para regular la presión del vapor.

- **Preparar el vapor:**

El colector también puede incluir sistemas de separación de agua y otras impurezas para asegurar que el vapor que alimenta la turbina sea de alta calidad.

El funcionamiento de las válvulas y otros dispositivos de control de presión en el colector es crucial para:

- **Seguridad:**

Evitar sobrepresiones que puedan causar explosiones o daños a la infraestructura.

- **Eficiencia:**

Mantener la presión óptima para el funcionamiento de las turbinas y el generador eléctrico.

Demister o separador de humedad:

En una central geotérmica, los separadores de humedad o demisters son cruciales para asegurar que el vapor de alta presión utilizado para mover las turbinas sea lo más seco posible. Estos dispositivos eliminan las gotitas de agua líquida suspendidas en el vapor antes de que entren en las turbinas, lo que protege la turbina de daños y mejora su eficiencia.

¿Por qué son importantes los separadores de humedad?

- **Protección de las turbinas:**

Las gotas de agua líquida pueden causar erosión y desgaste en las hojas de las turbinas, reduciendo su vida útil y su eficiencia.

- **Mayor eficiencia:**

El vapor seco es más eficiente para mover las turbinas, lo que permite generar más electricidad con la misma cantidad de vapor.

- **Reducción de la corrosión:**

Las gotas de agua pueden contener minerales que pueden corroer los componentes de la turbina.

¿Cómo funcionan los separadores de humedad?

Existen diferentes tipos de separadores de humedad, pero la mayoría funciona de manera similar:

- 1. Disminuir la velocidad del vapor:**

El vapor entra en el separador a alta velocidad, y la velocidad se reduce para permitir que las gotas de agua se separen y sedimenten.

- 2. Cambiar la dirección del vapor:**

Algunos separadores cambian la dirección del flujo del vapor, lo que permite que las gotas de agua sean impulsadas hacia una pared o estructura específica.

- 3. Recopilar y eliminar el agua:**

Las gotas de agua que se separan del vapor se recolectan y se eliminan del sistema, generalmente volviendo a la planta para ser reutilizadas.

Turbina de vapor.

Una turbina de vapor geotérmico es un dispositivo que convierte la energía térmica del vapor extraído de yacimientos geotérmicos en trabajo mecánico, que luego se utiliza para generar electricidad. El proceso implica extraer vapor del subsuelo, hacer girar la turbina, y luego transformar la energía mecánica en electricidad a través de un generador. El vapor, después de hacer girar la turbina, se condensa y se devuelve al subsuelo para ser rehecho.

El funcionamiento de una turbina de vapor geotérmico se puede resumir en los siguientes pasos:

- 1. Extracción de vapor:**

Se extrae una mezcla de vapor y agua de la reserva geotérmica a través de un pozo subterráneo.

- 2. Separación del vapor:**

La mezcla se somete a un proceso de separación para obtener vapor puro, ya sea a través de un

separador ciclónico o por diferencia de presiones.

3. Impulso de la turbina:

El vapor puro hace girar las palas de la turbina de vapor, generando energía mecánica.

4. Generación de electricidad:

La energía mecánica de la turbina se utiliza para impulsar un generador que transforma la energía mecánica en energía eléctrica.

5. Condensación y reinyección:

El vapor, una vez que ha pasado por la turbina, se condensa y se devuelve al subsuelo para volver a ser calentado y reutilizado.

En resumen, el funcionamiento de una turbina de vapor geotérmico es similar al de una turbina de vapor convencional, pero utiliza el calor de la Tierra en lugar de la combustión de combustibles fósiles para generar vapor. Este proceso permite la generación de electricidad de manera limpia y sostenible.

En el simulador el colector, el Separador de Humedad y la turbina están representada de la siguiente manera.

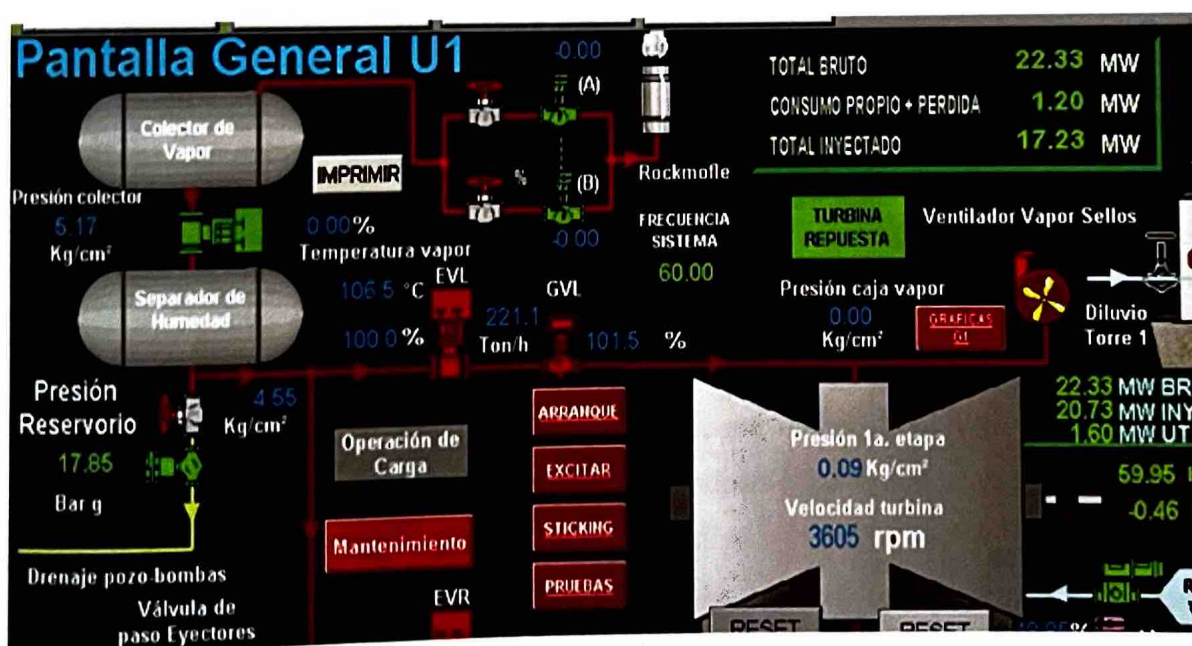


Imagen 68: Colector, Demister y turbina en el simulador proyectado.

5.1.3 Válvula de regulación o de gobernación llamadas comúnmente de paro y control.

Las válvulas de gobernación en turbinas de vapor geotérmico cumplen funciones cruciales. Permiten controlar y regular el flujo de vapor que ingresa a la turbina, asegurando su

funcionamiento óptimo y la eficiencia energética. Adicionalmente, estas válvulas juegan un papel vital en la seguridad, activando la parada de la turbina en situaciones de emergencia y permitiendo el aislamiento completo del vapor cuando la turbina está fuera de servicio. Esto es fundamental para prevenir daños y garantizar un funcionamiento seguro de la planta geotérmica.

El funcionamiento de las válvulas de goberación se puede resumir de la siguiente manera:

1. Control de flujo:

Las válvulas de goberación, como las válvulas de mariposa o las válvulas de disco, regulan el paso del vapor a través de la turbina.

2. Adaptación a la demanda:

Estas válvulas ajustan el flujo de vapor en respuesta a las necesidades de energía, manteniendo la velocidad de la turbina en un rango deseado.

3. Seguridad y emergencia:

Las válvulas de goberación también pueden utilizarse para cerrar completamente el paso de vapor en caso de emergencia, como una sobrecarga o un fallo del sistema.

4. Control de velocidad:

El regulador de la turbina, que es un componente del sistema de control, envía una señal a las válvulas de goberación para ajustar la posición de las válvulas y controlar la velocidad del rotor.

5. Monitorización y ajuste:

Los sistemas de control de la turbina monitorean constantemente la velocidad y la potencia de salida, y ajustan las válvulas de goberación según sea necesario para mantener la estabilidad del sistema.

En resumen, las válvulas de goberación son esenciales para el funcionamiento eficiente y seguro de una turbina de vapor geotérmica, ya que permiten controlar el flujo de vapor y mantener la velocidad de la turbina en un rango deseado, adaptándose a las condiciones cambiantes de la demanda de energía.

Son accionadas hidráulicamente con la ayuda de presión de aceite (aceite control) y forma parte de los lazos de control: el lazo que controla la velocidad de la turbina y el lazo que controla la carga o potencia de la turbina.

También ante cualquier disparo total, las válvulas GVL del simulador cerrarán por completo y cortarán el paso de vapor hacia la turbina ya que ellas son On-Off e impiden el paso de vapor ante cualquier disparo total.

La representación en el simulador se encuentra en la pantalla general.

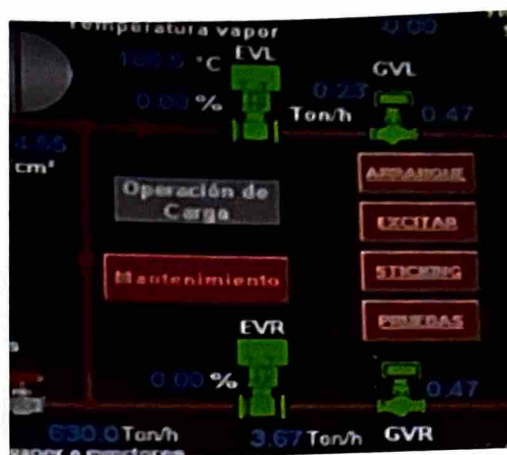


Imagen 69: Valvula de gobernación de la unidad 1 de Ahuachapán físico y en la simulación

5.1.4 Sistema de lubricación

Proporciona el fluido lubricante, generalmente de aceite. Para asegurar la circulación del aceite en todo momento el sistema debe estar equipado con tres bombas:

- **Bomba mecánica principal:** Esta acoplada al eje de la turbina, de forma que siempre que este girando la turbina está girando la bomba, asegurándose así la presión de bombeo mejor que con una bomba eléctrica. No obstante, en los arranques esta bomba no da presión suficiente, por lo que es necesario que el equipo tenga al menos una bomba adicional.

La representación en el simulado la bomba principal de aceite se encuentra acoplada a la turbina la cual al alcanzar el 80% la velocidad nominal (2,880 rpm), se dice que la bomba principal esta suministrando aceite a presión de trabajo (arriba de los 7.55 Kg/cm² presión de gobernación y 1.30 Kg/cm² presión de lubricación).

- **Bomba auxiliar:** Se utiliza exclusivamente en los arranques, y sirve para asegurar la correcta presión de aceite hasta que la bomba mecánica puede realizar este servicio. Se pone en servicio de manera manual antes del arranque de la turbina y se desconecta a 2,880 rpm aproximadamente durante el arranque, cambiando el suministro de aceite automáticamente de la bomba auxiliar a la bomba principal. También entra en servicio automáticamente durante las paradas de la turbina.

Su representación en el simulador se encuentra en la pantalla de sistema de aceite y en la pantalla General unidad #1 con su respectivo arrancador.



Imagen 70: Arranque de bomba de aceite auxiliar en el simulador

- **Bomba de emergencia:** Si se produce un problema de suministro eléctrico en la planta, esta queda sin tensión, durante la parada habría un momento en que las turbinas se quedarían sin lubricación, ya que la bomba auxiliar no tendría tensión. Para evitar este problema, las turbinas suelen ir equipadas con una bomba de emergencia que funciona con corriente continua proveniente de un sistema de baterías.

En el simulador se encuentra en la pantalla de sistema de aceite y en la pantalla General unidad #1 con su respectivo arrancador.

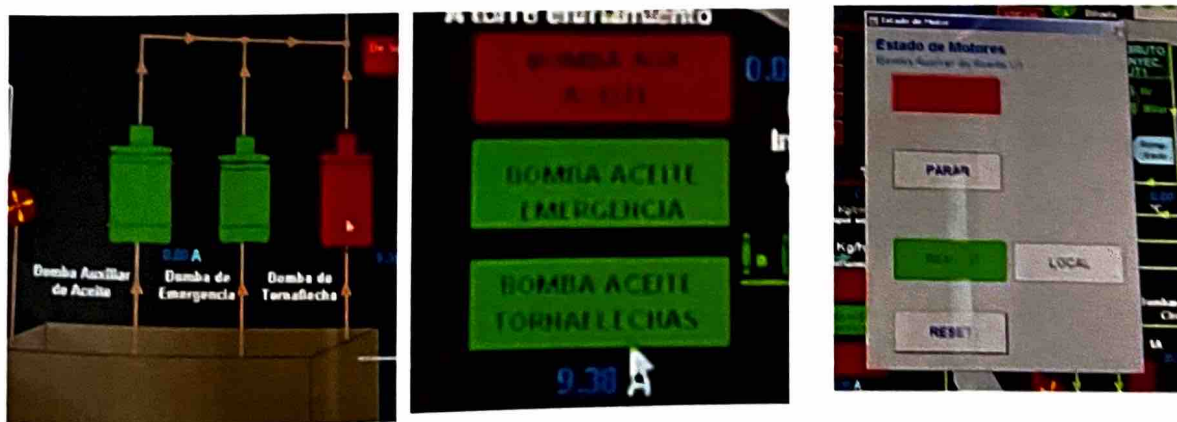


Imagen 71: Bombas de aceite de emergencia y su arrancador.

5.1.5 Sistema de extracción

Los depósitos de aceite suelen estar a una presión por debajo de la atmosférica, para ayudar a la extracción de los vapores del aceite y dificultar una posible fuga de aceite al exterior. Para conseguir el vacío, el sistema de lubricación suele ir equipado con un extractor.

En el simulador se encuentra en la pantalla de sistema de aceite y este vapor de aceite es liberado a la atmósfera.

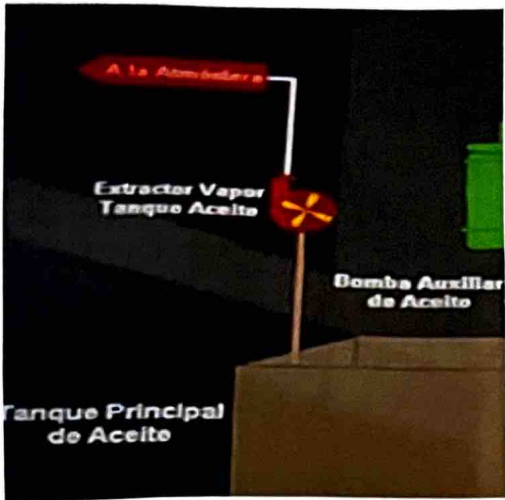


Imagen 72: Extractor de gases del tanque principal.

5.1.6 Sistema de refrigeración del aceite.

El aceite en su recorrido de lubricación se calienta modificando su viscosidad, y, por tanto, sus características lubricantes, llegando a degradarse si el calor es excesivo. Para evitarlo, el sistema de lubricación dispone de unos intercambiadores que enfrían el aceite, estos intercambiadores pueden ser aire-aceite, de forma que el calor del aceite se evacua a la atmósfera, o agua-aceite, de forma que el calor se transfiere al circuito cerrado de refrigeración con agua de la planta.

En el simulador se encuentra en la pantalla de sistema de aceite y está representado de la siguiente manera.

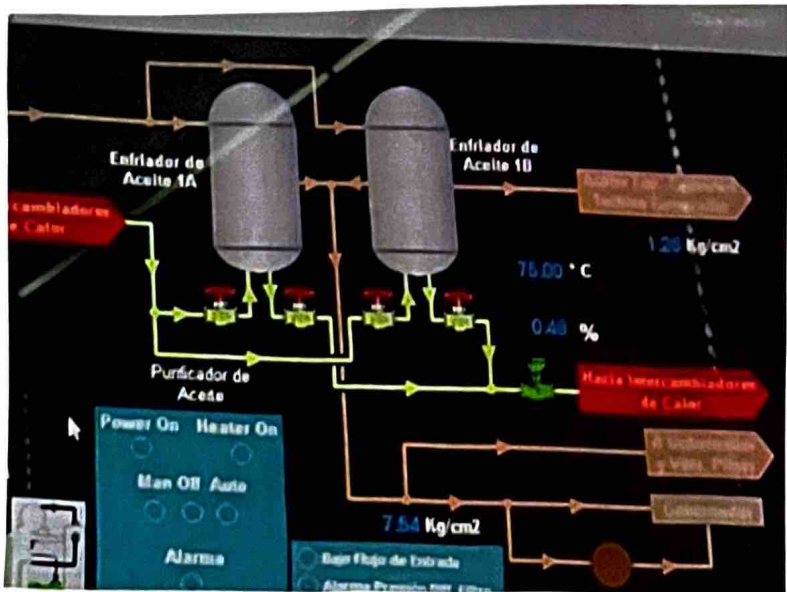


Imagen 73: Sistema de enfriamiento de aceite , enfriador “A” y Enfriador “B”

5.1.7 Sistema de aceite de control

Cuando la válvula de regulación se acciona oleo-hidráulicamente el conjunto de turbina va equipado con un grupo de presión para el circuito de aceite de control. Este, debe mantener la presión hidráulica. La entrada, de control gobierna la válvula de salida del grupo, que hace llegar al aceite hasta la válvula de regulación de entrada de vapor, con la presión adecuada.

En el simulador se encuentra en la pantalla de sistema de aceite y está representado de la siguiente manera.

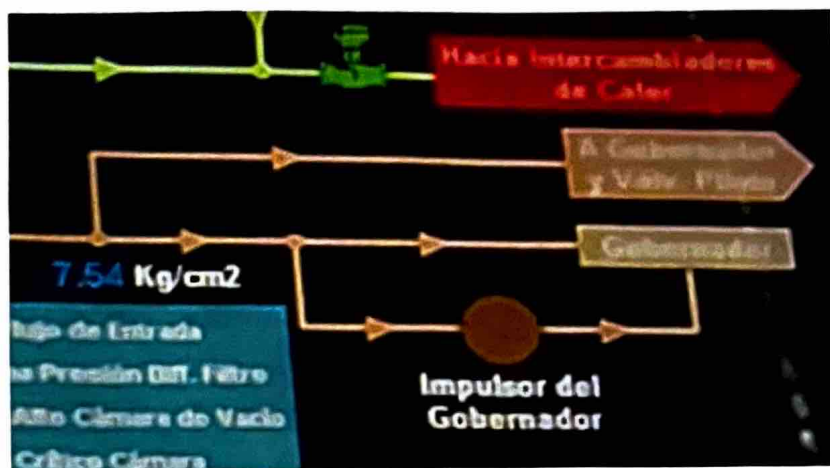


Imagen 74: Impulsor del gobernador con 7.54 Kg/cm2

5.1.8 Sistema de sellado laberíntico de vapor

Un sello laberíntico es un sello mecánico que se utiliza en torno un eje para prevenir la perdida de aceite o de otros fluidos. Un sello laberíntico está compuesto de numerosas ranuras rectas que se ajustan en torno a un eje o dentro de una perforación, de forma tal que el fluido deba pasar por un largo y difícil camino para escapar. A veces poseen marcas en forma de tornillo en las porciones exterior e interior. Estas se encastarán de manera de definir el camino largo característico necesario para disminuir la fuga de fluido. En el caso de sellos laberínticos en ejes que rotan, debe existir un huelgo muy pequeño entre los bordes del laberinto y la superficie sobre la cual se deslizan. Los sellos tipo laberinto de ejes rotatorios permiten obtener características de sellado sin necesidad que las dos superficies entren en contacto, para ello se controla el paso del fluido a través de varias cámaras mediante la acción de la fuerza centrífuga, como también mediante la formación de diversos vórtices en sitios predeterminados. A velocidades mayores más elevadas, las fuerzas centrífugas, obliga al fluido a desplazarse hacia afuera alejándose de los canales. En forma similar, si las cámaras del laberinto han sido diseñadas en forma correcta, todo el líquido que se ha escapado de la cámara principal queda retenido en la cámara laberíntica, donde se lo fuerza a

desarrollar un movimiento de vórtice. Este movimiento ayuda a prevenir la fuga del fluido, y también la ayuda a repeler otro fluido. A causa de que los sellos laberínticos no requieren que las dos superficies a sellar estén en contacto, los mismos no sufren desgaste mecánico. Las turbinas utilizan sellos laberínticos, ya que los mismos no generan fricción, lo cual es altamente conveniente cuando se deben desarrollar elevadas velocidades de rotación.



Imagen 75: Sellos laberínticos.

En el simulador operacional se encuentra representada la presión de sello a 0.39 Kg/cm^2 de presión y su extractor de vapor de sello en la parte superior de la turbina.

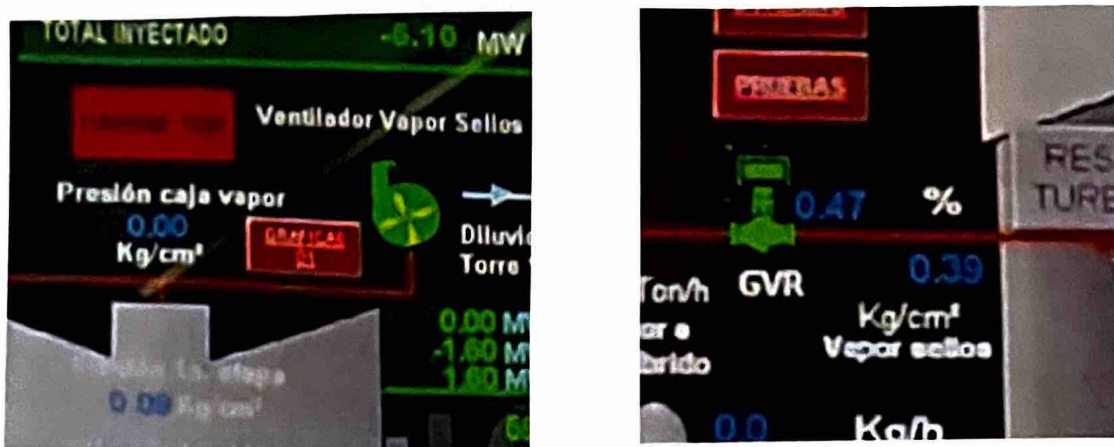


Imagen 76: Extractor de vapor de sellos y presión de entrada a 0.39 Kg/cm^2

5.1.9 Virador

El sistema virador consiste en un motor eléctrico o hidráulico (normalmente el segundo) que hace girar lentamente la turbina cuando esta no está funcionando. Esto evita que el rotor se curve, debido

a su propio peso o por expansión térmica, en parada. La velocidad del sistema es muy baja (varios minutos para completar un giro completo del rotor), pero se vuelve esencial para asegurar la correcta alineación del rotor. Si por alguna razón el sistema se detiene (acaría del rotor, avería de la turbina, inspección interna con montaje) es necesario asegurar que, antes de arrancar, estará girando varias horas con el sistema virador.

En el simulador se encuentra en la pantalla del sistema de aceite una bomba del torna-flecha que es la que envía aceite al sistema de activación del torna-flecha o virador este debe estar en servicio antes de dar el arranque al motor acoplado por medio de un engranaje en el eje del turbo generador y está representado de la siguiente manera en la simulación: en la pantalla del sistema de aceite está representado por un motor llamado bomba de torna flecha con su respectivo arrancador, un motor debajo de la turbina el cual al presionar abre la pantalla de arranque y paro del equipo igual que los demás equipos con motor o válvulas al poner en servicio o al abrir o cerrar, cambian el color en su estados, el motor en paro es color verde y en servicio es rojo.

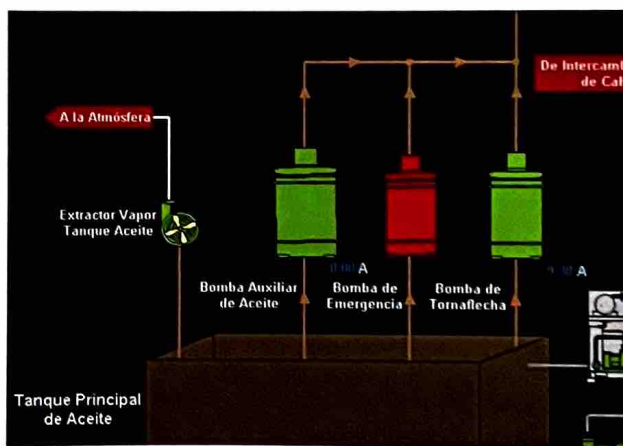


Imagen 77: bomba del tornaflecha y tornaflecha debajo de la turbina.

5.1.10 Turbina de condensación

Son las más utilizadas en las centrales geotérmicas. La turbina descarga en un condensador que fija la temperatura de condensación del vapor expulsado y, en consecuencia, la presión, puesto que deben respetarse las condiciones de equilibrio líquido-vapor saturado. En estas turbinas, la temperatura del condensador suele situarse entre los 60 y 40 °C; lo cual obliga a mantener, en el condensador, una presión inferior a la atmosférica, situada entre 0,2 bar y 0,07 bar absolutos (como se observa en nuestra simulación que la temperatura se encuentra a 40.6 °C y a 0.4 mmHg = 0.00053329 bar :

Para mantener el condensador en depresión se adoptan estas soluciones: bomba de extracción, depresión por columna de agua y extracción mediante eyector de vapor como se muestra en la simulación donde se muestra el flujo de vapor a eyectores, flujo de vapor a eyector híbrido la bomba de anillos líquidos la cual al presionar abre el mando para arranque y paro con su bomba de sello de agua que de igual forma al presionar muestra su pantalla de mando:



Imagen 78: Rotor de turbina y condensador con sus valores representado en la simulación.

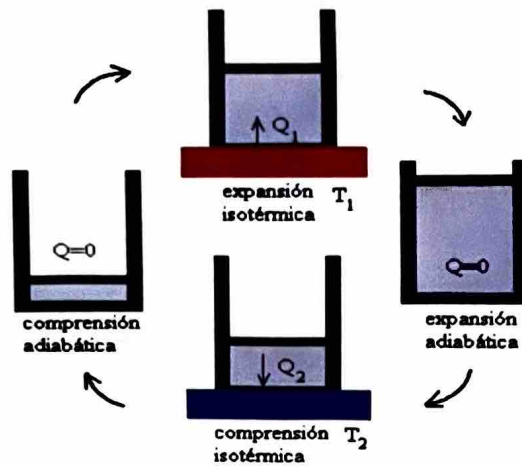
5.1.11 Especificaciones técnicas de la turbina a simular.

Serie:	N – 1020
Fecha de Fabricación:	Julio de 1974
Fluido de Trabajo:	Vapor Geotérmico
Capacidad Nominal:	30000 KW
Velocidad:	3600 rpm
Escape de vacío:	0.085 kg/cm2 absolutos = 625.23 mmHg
Presión de Vapor de Entrada:	4.7 Kg/cm2
Temperatura de Vapor de Entrada:	156.1°C
Marca: Mitsubishi	Marca: Mitsubishi
Procedencia:	Japón
Fabricado por: Heavy Industries Ltd.	Heavy Industries Ltd.

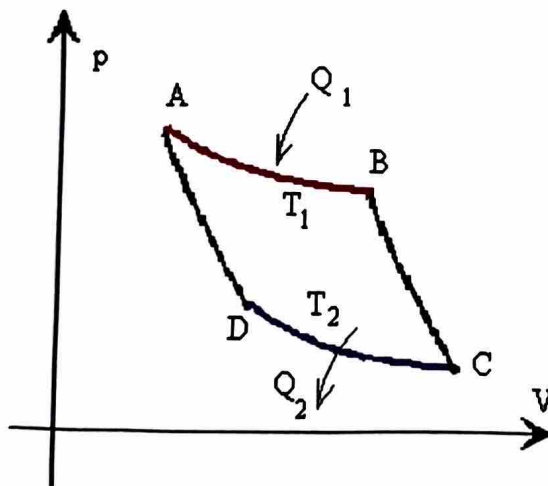
5.1.12 Turbina de un solo flasheo" o de proceso de evaporización instantánea.

EL CICLO DE CARNOT

Se define ciclo de Carnot como un proceso cíclico reversible que utiliza un gas perfecto, y que consta de dos transformaciones isotérmicas y dos adiabáticas, tal como se muestra en la figura.



La representación gráfica del ciclo de Carnot en un diagrama p-V es el siguiente:



En cualquier ciclo, tenemos que obtener a partir de los datos iniciales:

- La presión, volumen de cada uno de los vértices.
- El trabajo, el calor y la variación de energía interna en cada una de los procesos.
- El trabajo total, el calor absorbido, el calor cedido, y el rendimiento del ciclo.

Los datos iniciales son los que figuran en la tabla adjunta. A partir de estos datos, hemos de rellenar los huecos de la tabla.

Variables	A	B	C	D
Presión p (atm)	p_A			
Volumen v (litros)	v_A en A	v_B en B		
Temperatura T (K)	T_1	T_1	T_2	T_2

Las etapas del ciclo

Para obtener las variables y magnitudes desconocidas emplearemos las fórmulas que figuran en el cuadro:

Ecuación de estado de un gas ideal	$pV=nRT$
Ecuación de una transformación adiabática	$pV^\gamma = \text{cte}$
Relación entre los calores específicos	$c_p - c_v = R$
Índice adiabático de un gas ideal	$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$
Primer Principio de la Termodinámica	$\Delta U = Q - W$

Transformación	Calor	Trabajo	Var. Energía Interna
Isócora ($v=\text{cte}$)	$Q=nc_v(T_B-T_A)$	0	$\Delta U=nc_v(T_B-T_A)$
Isóbara ($p=\text{cte}$)	$Q=nc_p(T_B-T_A)$	$W=p(V_B-V_A)$	$\Delta U=nc_v(T_B-T_A)$
Isoterma ($T=\text{cte}$)	$Q=W$	$W = nRT \ln \frac{v_B}{v_A}$	$\Delta U=0$
Adiabática ($Q=0$)	0	$W=-\Delta U$	$\Delta U=nc_v(T_B-T_A)$

El ciclo completo

- **Variación de energía interna**

$$\Delta U = \Delta U_{B \rightarrow C} + \Delta U_{D \rightarrow A} = 0$$

En un proceso cíclico reversible la variación de energía interna es cero

- **Trabajo**

$$W = W_{A \rightarrow B} + W_{B \rightarrow C} + W_{C \rightarrow D} + W_{D \rightarrow A} = nR(T_1 - T_2) \ln \frac{v_B}{v_A}$$

Los trabajos en las transformaciones adiabáticas son iguales y opuestos. A partir de las ecuaciones de las dos adiabáticas, la relación entre los volúmenes de los vértices es $\frac{v_B}{v_A} = \frac{v_C}{v_D}$, lo que nos conduce a la expresión final para el trabajo.

- **Calor**

En la isoterma T_1 se absorbe calor $Q > 0$ ya que $v_B > v_A$ de modo que $Q_{abs} = nRT_1 \ln \frac{v_B}{v_A}$

En la isoterma T_2 se cede calor $Q < 0$ ya que $v_D < v_C$

- **Rendimiento del ciclo**

Se define rendimiento como el cociente entre el trabajo realizado y el calor absorbido

$$\eta = \frac{W}{Q_{abs}} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

El ciclo de Carnot como referente

El ciclo de Carnot es un modelo termodinámico ideal que establece la máxima eficiencia posible para convertir calor en trabajo, operando entre dos temperaturas: una fuente caliente (T_1) y una fuente fría (T_2). Su eficiencia ideal, expresada en porcentaje, se calcula con la siguiente fórmula:

$$\eta_{Carnot} = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\%$$

$$\eta_{Carnot} = 1 - T_2/T_1 \times 100\%$$

Para que la eficiencia sea alta, la diferencia entre la temperatura de la fuente caliente (T1) y la fuente fría (T2) debe ser lo más grande posible. A diferencia de las plantas termoeléctricas que queman combustibles, las plantas geotérmicas utilizan vapor o agua caliente de fuentes subterráneas, que suelen tener temperaturas mucho más bajas.

Aplicando la formula para el tipo de turbina de nuestro simulador, podemos decir:

Que tenemos una temperatura:

T1=140°C Fuente caliente.

T2=43°C Fuente fría

Aplicando la formula obtenemos:

$$\eta_{Carnot} = \left(1 - \frac{43^\circ C_2}{140^\circ C_1}\right) \times 100\%$$

$$\eta_{Carnot} = 1 - 0.307 \times 100\%$$

$$\eta_{Carnot} = 0.693 \times 100\%$$

$$\eta_{Carnot} = 69.3 \% \text{ de eficiencia.}$$

Conclusión

Las plantas geotérmicas no alcanzan la eficiencia máxima del ciclo de Carnot debido a las irreversibilidades de los procesos reales y, sobre todo, a la relativamente baja temperatura de la fuente geotérmica en comparación con las fuentes de calor de combustibles fósiles. Aunque no son tan eficientes en términos de conversión de calor en energía, su gran ventaja radica en utilizar una fuente de energía renovable, estable y con bajas emisiones, lo que justifica su uso pese a su menor porcentaje de eficiencia termodinámica en relación con el ciclo de Carnot.

Esta turbina utiliza vapor húmedo o líquido saturado, primer se lleva a un separador donde aprovechando las diferentes propiedades físicas del líquido y vapor, se separan ambos, alimentando con el vapor a la turbina, el líquido puede desecharse o reinyectarlo en caliente.

Así se muestra en este caso la simulación de entrada de vapor en U1 que es de un solo flasheo ya que solo se maneja un valor de presión de entrada a turbina que es de $5.17 \text{ Kg/cm}^2 = 5.07 \text{ barg}$ en el colector.

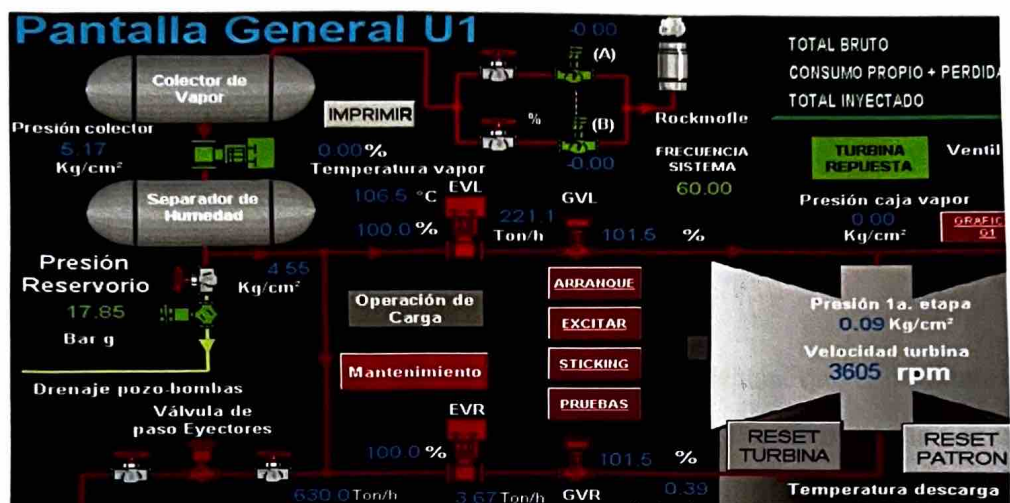


Imagen 79: colector de vapor con sus respectivos valores en la simulación.

5.1.13 Bombas hidráulicas o de extracción de condensado

Dentro de una central geotérmicas, se ha hablado de lo importante que es el fluido en estado gaseoso para poder obtener energía mecánica a través de su energía cinética. Pero cuando el fluido pasa a estado líquido se debe prever de algún medio para poder desplazarlo. Existen dos lugares fundamentales donde es necesario las bombas hidráulicas, a la salida del fluido líquido del condensador y para la recirculación del líquido refrigerante de la torre de refrigeración. El transporte del líquido condensado es necesario para no inundar los condensadores y así poder transportar el líquido hasta la torre de enfriamiento en este caso.

En la simulación también están presentes estos equipos con su respectivo arrancador, los cuales también cambian sus estados al encontrarse en servicio, posee válvulas de control de nivel del fluido y control de agua de entrada al condensador. Estas bombas se encuentran sumergidas en un pozo de bombas de donde ellas recolectan el condensado para enviarlo a las torres de enfriamiento también se encuentran otros equipos auxiliares como es una bomba de recirculación, la cual funciona al inicio de un arranque para recircular el condensado y mantener cebadas las bombas.

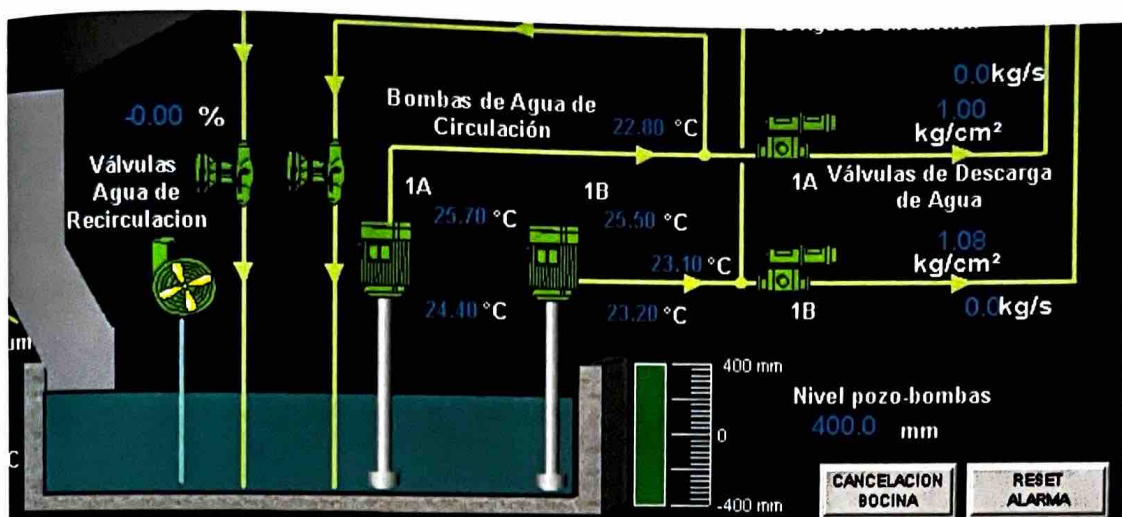


Imagen 80: Pozo de bombas de extracción de condensado.

5.1.14 Condensador de vapor:

En una central geotérmica, el condensador es un componente esencial que convierte el vapor de la turbina de nuevo a estado líquido. Este proceso permite la recirculación del agua y la eficiencia en la generación de electricidad. Todas las centrales geotérmicas permanentes utilizan condensadores para este fin, mientras que las unidades temporales pueden no usarlos. El condensador juega un papel crucial en el ciclo de generación de energía, maximizando la eficiencia y minimizando el impacto ambiental.

Tipos de condensadores:

- **Condensadores de superficie:**

Estos condensadores utilizan un intercambiador de calor de carcasa y tubo, donde el vapor de escape de la turbina se enfría y condensa, transfiriendo su calor al agua de refrigeración.

- **Condensadores de chorro:**

En este tipo de condensador, el vapor de escape de la turbina se mezcla directamente con el agua de refrigeración, lo que puede generar problemas de calidad del condensado.

Ventajas de los condensadores:

- **Aumento de la eficiencia:**

El condensador permite que la turbina funcione a una relación de presión mayor, lo que aumenta la cantidad de energía que se puede extraer del vapor.

- **Reutilización del agua:**

El condensado puede ser reutilizado como agua de alimentación para la caldera, reduciendo la

necesidad de agua fresca.

- **Mejor rendimiento:**

La recuperación de energía térmica del vapor aumenta la eficiencia general de la planta.

En resumen, el condensador de vapor es un componente esencial en las plantas geotérmicas, ya que permite la recuperación de energía, la reutilización del agua y el aumento de la eficiencia del proceso de generación de energía.

Para la simulación la representación se basa en el condensador de la unidad 1 de Ahuachapán que es un condensador de chorro o de contacto directo; al inyecta agua fría que proviene de la torre de enfriamiento esto por medio de válvulas de entrada que al estar operando su estado cambia a color morado, están controladas en automático por el nivel del condensador, se condensa el vapor que ya realizo su trabajo con toberas aspersores, la representación se muestra a continuación.

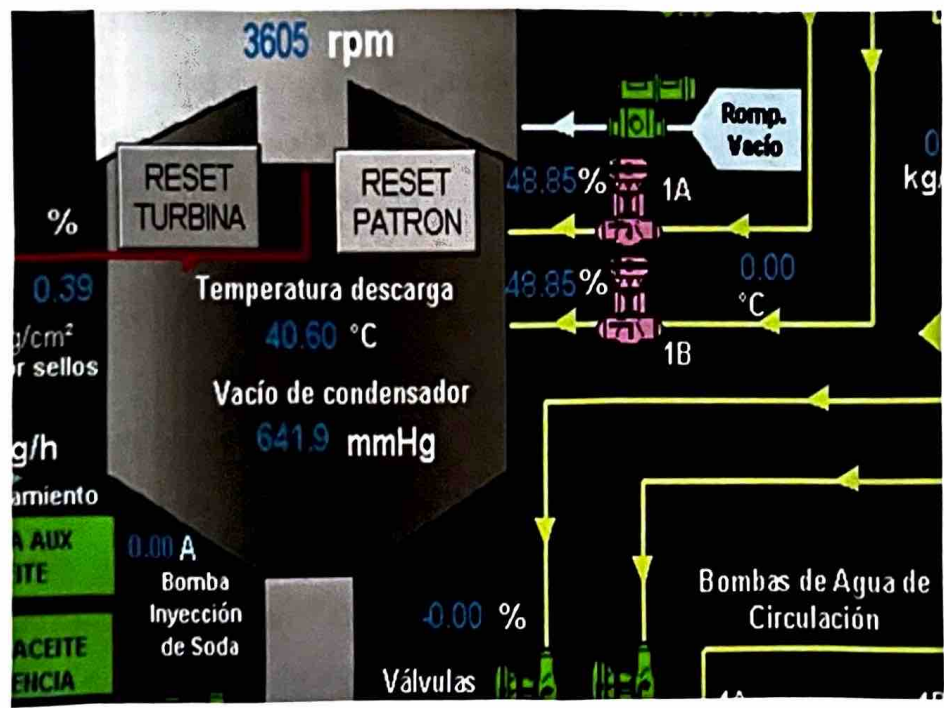


Imagen 81: Condensador de vapor simulado.

Condiciones de vacío.

En un condensador la causa principal del vacío es la condensación del vapor. Esto es debido, a que el volumen específico del vapor es mucho mayor que el volumen específico del líquido. Una forma de apreciar el concepto de vacío en la condensación es que el a agua a una temperatura de 61 °C ocupa un volumen de 1 dm3, es decir, en un recipiente de un condensador de 1 m3 en el que en principio se introduce un gas que ocupar el mayor la totalidad del espacio del recinto al

condensarse ocupa un 0.1% del recinto. Como se comprende esto genera una condición de vacío. Como consecuencia extra ayuda a absorber más vapor. Debido a que el condensador está lleno de aire al comenzar el funcionamiento del condensador y cuando comienza a funcionar se va llenado de gases incondensables, es necesario un sistema de extracción de incondensables, con el cual se mantendrá las condiciones de vacío para las cuales ha sido diseñado el condensador.

Las condiciones de vacío favorecen una mayor expansión del vapor dentro de la turbina (más energía eléctrica), pero se debe tener especial cuidado para que la construcción aguante las condiciones de vacío.

5.1.15 sistema de eyector híbrido.

Un sistema de eyector híbrido para crear vacío en un condensador geotérmico combina la eficiencia de los eyectores de vapor con la confiabilidad de las bombas de vacío de anillo líquido. Estos sistemas son ideales para eliminar gases no condensables (NCG) y mantener un alto rendimiento en plantas de energía geotérmica.

¿Cómo funciona un sistema de eyector híbrido?

1. Eyector de vapor (primera etapa):

El eyector utiliza el vapor a alta presión para generar un vacío. El vapor se expande a través de una boquilla, creando una zona de baja presión que aspira los gases no condensables del condensador.

2. Condensador (intermedio):

El eyector descarga los gases y vapores en un condensador donde se condensan algunos componentes, dejando los NCG.

3. Bomba de vacío de anillo líquido (segunda etapa):

La bomba de vacío de anillo líquido extrae los NCG del condensador, creando una baja presión que permite la condensación eficiente del vapor.

Beneficios de los sistemas híbridos en geotermia:

- **Eficiencia:**

La primera etapa (eyector) puede reducir la presión del condensador a niveles que una bomba de vacío de anillo líquido sola no podría lograr, aumentando la eficiencia general del sistema.

- **Confiabilidad:**

La bomba de vacío de anillo líquido asegura una eliminación constante y eficiente de los NCG, incluso cuando el flujo de vapor es bajo o variable.

- **Mantenimiento:**

El eyector, al no tener piezas móviles, requiere poco mantenimiento en comparación con las bombas de vacío.

- **Ahorro de energía:**

El sistema puede estar diseñado para usar el vapor de la propia turbina geotérmica como fluido impulsor del eyector, reduciendo la necesidad de energía externa.

Aplicaciones en geotermia:

- **Eliminación de NCG:**

Los sistemas híbridos son esenciales para eliminar los gases no condensables (CO₂, H₂S, etc.) del vapor geotérmico que pueden afectar la eficiencia de la turbina y la calidad del condensado.

- **Optimización del ciclo de energía:**

Al eliminar los NCG, el ciclo de energía geotérmica puede funcionar de manera más eficiente, generando más electricidad con la misma cantidad de recursos geotérmicos.

- **Protección del equipo:**

La eliminación de los NCG reduce el riesgo de corrosión y otros daños en el condensador y otros componentes del ciclo.

En resumen, un sistema de eyector híbrido es una solución robusta y eficiente para crear vacío en los condensadores geotérmicos, contribuyendo a una generación de energía más limpia y rentable.

Sistema de extracción de incondensables.

En los condensadores de vapor de las centrales geotérmicas, uno de los factores para tener en cuenta es que no se provoquen sobrepresiones dentro del condensador. Ya que provoca problemas de funcionamiento. Además, en caso de sobrepresión muy alta provocaría explosión y por consiguiente salida de línea de la unidad. Para mantener las condiciones de baja presión en un condensador hay que estar constantemente extrayendo los gases incondensables que contiene el fluido geotérmico. Estos dos parámetros son los principales objetivos de los extractores de gases incondensables en los condensadores. Se distinguen principalmente en dos tipos los extractores en mecánicos y estáticos.

Como se puede dilucidar los mecánicos son aquellos que emplean elementos rotativos o de desplazamiento lineal para absorber los incondensables del interior del condensador.

Mientras que los extractores estáticos en función de la disposición de secciones constantes y variables consiguen absorber los incondensables del interior del condensador.

Si los condensadores trabajan en condiciones de presión por debajo de la atmosférica además se los llama bombas de vacío. Como el condensador de las centrales geotérmicas para aumentar su eficiencia se trabaja a presiones menores de la atmosférica entonces se seleccionará la bomba de vacío que más interese para el propósito de extraer los gases incondensables.

Bombas de anillo líquido

Existen diversas formas constructivas de las bombas de anillo líquido dependiendo de la forma en la que se produce la aspiración y la salida de aire o la entrada y el drenaje del agua de formación del anillo, pero la estructura de la bomba y filosofía de funcionamiento es la misma.

Como se puede apreciar en el esquema se posee una entrada por la cual el gas se aspira y otra entrada por la que el líquido de la bomba introduce.

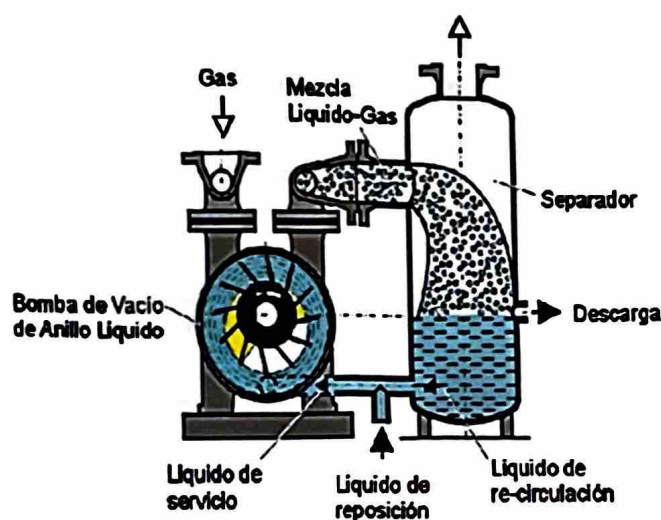


Imagen 82: Bomba de anillos líquidos (NASH).

Se puede observar que el impulsor está situado de manera excéntrica dentro de la carcasa y además la carcasa está inundada por un líquido.

El principio de funcionamiento consiste en introducir un líquido, que, al comenzar a girar el impulsor, forme un anillo líquido alrededor de la carcasa. El impulsor al estar colocado de manera excéntrica y tener paletas genera celdas entre líquido y las paletas cada vez más pequeñas. Entonces el gas a aspirar se introduce por una tubería a la bomba en funcionamiento.

El gas es aspirado ya que por el movimiento del rotor la presión es más baja en el interior de las celdas. Según el gas es conducido alrededor de la carcasa las celdas cada vez son más pequeñas y por tanto el gas se comprime. Este gas se expulsa por la tubería de descarga.

El gas al expulsarse tiene una cierta cantidad de líquido, ya que ha estado presionado en el interior

de la bomba por el líquido y las paletas del impulsor.

El líquido debido a la compresión y el movimiento de la bomba ha aumentado su temperatura. Esta mezcla de gas con gotas se lleva a un separador, y debido que el líquido es más denso que el gas, este es al techo y el líquido cae al fondo del separador.

Es necesario inyectarle líquido a la bomba por medio de una bomba externa. La principal ventaja de estas bombas estriba en que, al no existir roce entre el rotor y el estator, debido a que es el anillo de líquido el que roza con ambos, no hay prácticamente desgaste entre las piezas. El mismo anillo hace de lubricante y refrigerante.

Eyectores de vapor

Hasta entonces se ha destacado los tipos de extractores de gas rotativos.

Los cuales pueden llegar a ser muy eficientes y tener poco manteniendo. Pero ninguna de estas bombas de vacío tiene tan bajo mantenimiento como los eyectores de vapor. El cual extrae los incondensables fundamentalmente con un diseño de un dispositivo de diversas secciones en las que se aplica el efecto Venturi.

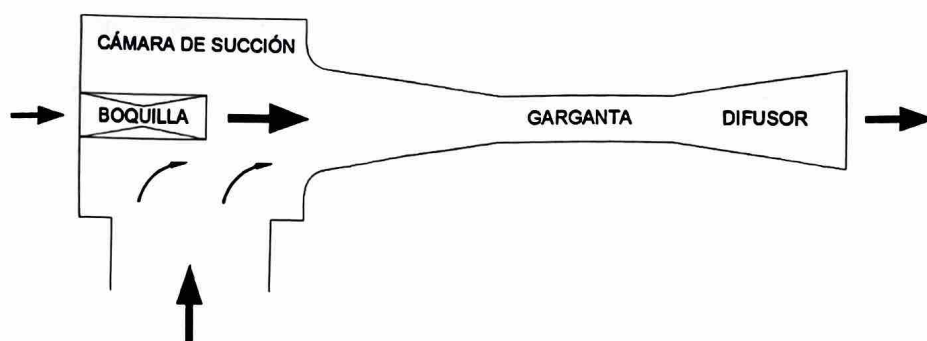


Imagen 83: Identificación de los elementos de un eyector a presión.

Un eyector de vapor consta de las siguientes partes una boquilla, una cámara de succión, la garganta y el difusor.

- La boquilla es donde se introduce un gas a alta presión
- La cámara de succión donde se mezcla el gas a alta presión y el gas que se requiere succionar.
- La garganta es la zona de sección constante donde pasan los gases mezclados.
- El difusor es la zona de sección variable donde pasan por último los gases antes de expulsarse.

Para una mejor comprensión del funcionamiento del eyector nos apoyaremos en la figura Siguiente:

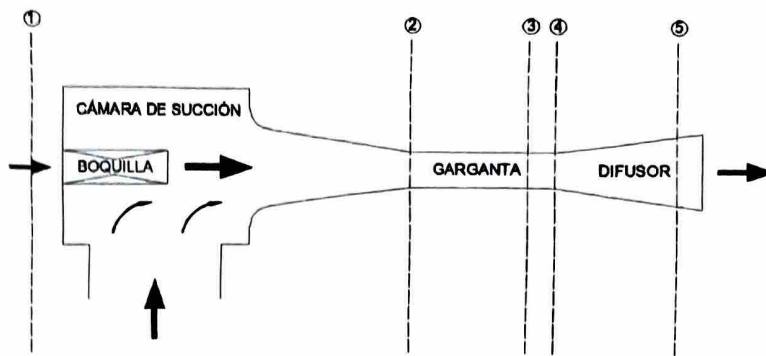


Imagen 84: : Identificación de los puntos de un eyector a presión.

podemos distinguir que a través de la boquilla es donde se mete un gas a alta presión a una velocidad subsónica. La corriente de gas al pasar en principio por una sección convergente empieza a incrementar su velocidad además de disminuir su presión. La siguiente sección de la boquilla es constante y es donde normalmente el fluido alcanza la velocidad del sonido. Por último, en la boquilla se pasa por una sección divergente donde el fluido disminuye la onda de choque que se produce (en caso de superar la velocidad del sonido). Este flujo de gas se le llama fluido motor.

b) En la cámara de succión se introduce el gas que se pretende extraer del condensador. Debido a que el gas que sale de la boquilla se está introduciendo a gran velocidad y una presión más baja que a la entrada de la boquilla induce a arrastrar al fluido que viene del condensador.

c) El fluido motor y el arrastrado en la cámara de succión a continuación pasan por la zona convergente donde debido a su sección cada vez más pequeña se disminuye la presión y aumenta la velocidad.

d) A partir del punto 2 la sección es constante y es donde se mezclan la corriente de flujo motor y el arrastrado. Debido a que al entran en la garganta se llega a la velocidad del sonido se produce una onda de choque que genera que disminuya de manera abrupta la velocidad del flujo mixto y además aumente la presión (punto 3).

e) El flujo mixto transcurre a continuación por la sección divergente. Donde la velocidad disminuye y por tanto la presión aumenta. Es decir, la energía cinética se transforma para aumentar la presión (punto 5).

Las principales ventajas de estos elementos son:

- No requieren excesivo mantenimiento, ya que al no contener elementos mecánicos no se producen excesivos desgastes y rotura por golpes.
- El coste de un eyector de vapor suele ser más barato ya que su diseño es más simple que las bombas de vacío.
- Son más fáciles de instalar.
- Pero la principal desventaja es que tiene una eficiencia más baja que las bombas de vacío.

Se han destacado las principales bombas de vacío existentes hoy en día. Pero lo más utilizado para las centrales geotérmicas son las Bomba de anillo líquido y los eyectores de vapor. Lo bueno de las bombas de anillo líquido es su alta eficiencia, además de su bajo mantenimiento debido a la existencia del anillo líquido. Los eyectores vapor son una tecnología eficiente de bajo coste y muy duradera, ya que carece de elementos en rotación, además de no consumir energía eléctrica.

A continuación se ilustra como esta representado en la simulación la extracción de gases no condensables, por medio de un sistema de eyector híbrido y los diferentes equipos que lo conforman, como es válvula de entrada de vapor al eyector, bomba para hacer sello a la bomba de anillos líquidos, bomba de anillos líquidos y tanque de enfriamiento de gases.

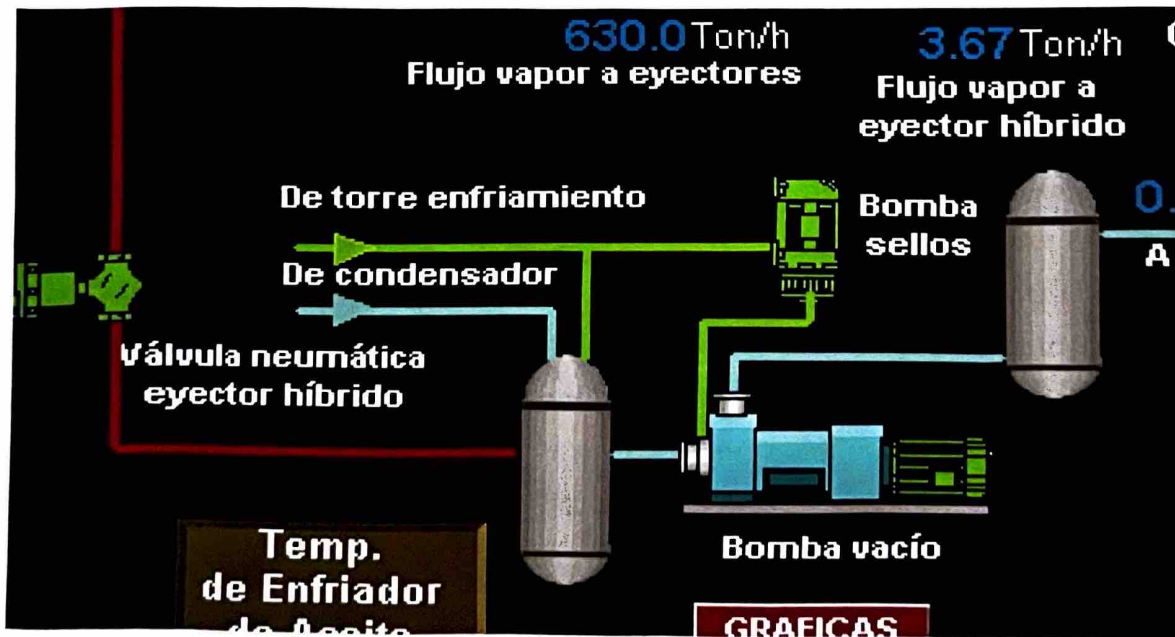


Imagen 85: Sistema de eyector híbrido en el simulador.

5.1.16 Válvulas de rompimiento de vacío.

Se utilizan para operaciones de mantenimiento de la turbina, y para romper el vacío del condensador ante cualquier disparo del turbo generador, por tanto, abre el condensador al exterior para poder igualar presiones con la atmosférica, deteniendo así la turbina.

En la simulación se encuentra al lado derecho del condensador y arriba de las válvulas de entrada de agua al condensador, su estado cerrado es verde y su estado abierta es rojo se identifica como Rompe vacío y ante una emergencia de turbina el operador tendrá el control para dar apertura y disparar el proceso, sirve como sistema de protección vital.

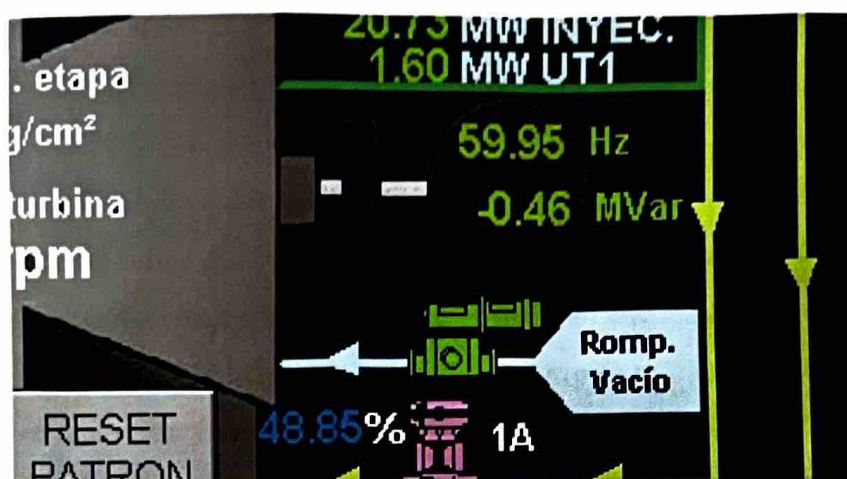


Imagen 86: Valvula de rompimiento de vacio del condensador.

5.1.17 Torre de refrigeración

En multitud de procesos industriales es necesario refrigerar determinados sistemas o elementos. Como fluido refrigerante se suele utilizar agua, proveniente de recursos naturales o de depósitos de almacenamiento contruidos para ese fin. En un caso o en otro se debe enfriar el condensado, que en este caso es el vapor saturado que ya hizo su trabajo en la turbina fue enfriado dentro del condensador por consiguiente es llevado por bombeo hacia la torre de enfriamiento y volver a reutilizar el agua para seguir enfriando el vapor saliente de la turbina.

En una torre de enfriamiento se hace interaccionar una corriente de aire con el agua a enfriar (finamente pulverizada para favorecer el contacto). En este proceso una pequeña cantidad de agua se evapora, suministrando parte de la energía necesaria para su evaporación el resto del agua, que de esta manera disminuye su temperatura. El esquema de una torre de enfriamiento se puede ver a continuación.

Para lograr aumentar la superficie de contacto del agua y el aire se suele disponer de algún elemento (láminas o tubos) que logran dicho efecto al gotear el agua en ellos. A dichos elementos,

en conjunto, se les suele denominar relleno.

Debido a la condensación del vapor en contacto directo con el agua de enfriamiento la evaporación no le afecta en el nivel de la torre por lo tanto en nuestro caso, la cantidad de agua existente en la torre no va disminuyendo con el tiempo, por lo que solo se necesita añadir agua desde el exterior (agua de aporte) al inicio de cada mantenimiento de esta. Salida de la mezcla de aire-vapor.

Las torres de enfriamiento son equipos destinados a enfriar agua, procedente del condensador, a costa de ceder calor al aire atmosférico. En función del mecanismo de circulación de aire, se distinguen dos tipos de torres de refrigeración: torres de tiro natural y torres de tiro forzado.

Las torres más utilizadas son de tiro natural, la transferencia de calor es tipo de contacto directo. Los rociadores expulsan el líquido procedente de la piscina de condensados, al caer cae en una empaquetadura o relleno, lo que aumenta el tiempo que haya transferencia de calor y además se hace pasar aire de tal forma que el líquido se enfríe y el aire se eleve debido a que aumenta su temperatura esto ventiladores extractores que se encuentran encima de la torre de enfriamiento. Por último, el condensado cae en la parte inferior de la torre de refrigeración (piscina), se impulsa al circuito de refrigeración y es el vacío en el condensador el que se encarga de absorber para nuevamente ser utilizado y seguir enfriando o condensando más vapor que ya realizó trabajo dentro de la turbina.

En la simulación la torre de enfriamiento tiene 5 ventiladores extractores de calor, cada uno con su respectivo arrancador, ellos cambian su estado de verde a rojo cuando están en servicio, dentro del proceso tienen su momento para estar funcionando y eso se puede observar en el proceso de arranque de los ventiladores.

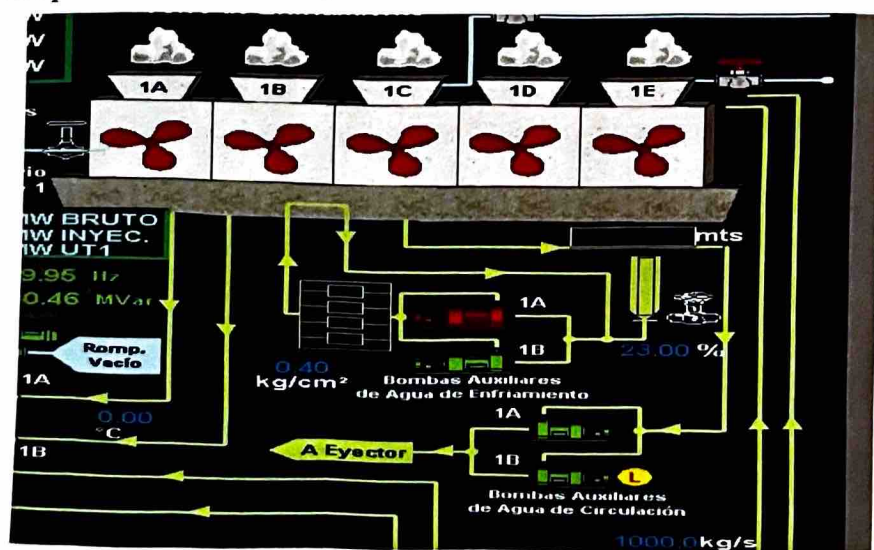


Imagen 87: torre de enfriamiento en la simulación.

5.1.18 Generador Eléctrico.

Un generador de energía eléctrica es una máquina que convierte energía mecánica en energía eléctrica mediante la rotación de su componente principal, el rotor. Este proceso se realiza gracias a la interacción de los campos magnéticos y la circulación de corriente eléctrica.

Un generador eléctrico de 30 MW (megavatios) es una máquina utilizada para convertir energía mecánica en energía eléctrica a gran escala, comúnmente empleada en plantas de energía. Para entender mejor su capacidad, 30 MW equivalen a 37.5 KVA en potencia máxima, considerando un factor de potencia de 0.80. Es importante verificar la especificación técnica adecuada para garantizar que cumple con las necesidades energéticas requeridas.

El generador es un equipo principal en la generación geotérmica porque es el encargado de producir electricidad a partir del calor de las profundidades de la Tierra.

Las centrales geotérmicas aprovechan el agua y vapor a alta presión y temperatura que se obtienen de los reservorios geotérmicos. El generador es el encargado de transformar esta energía en electricidad

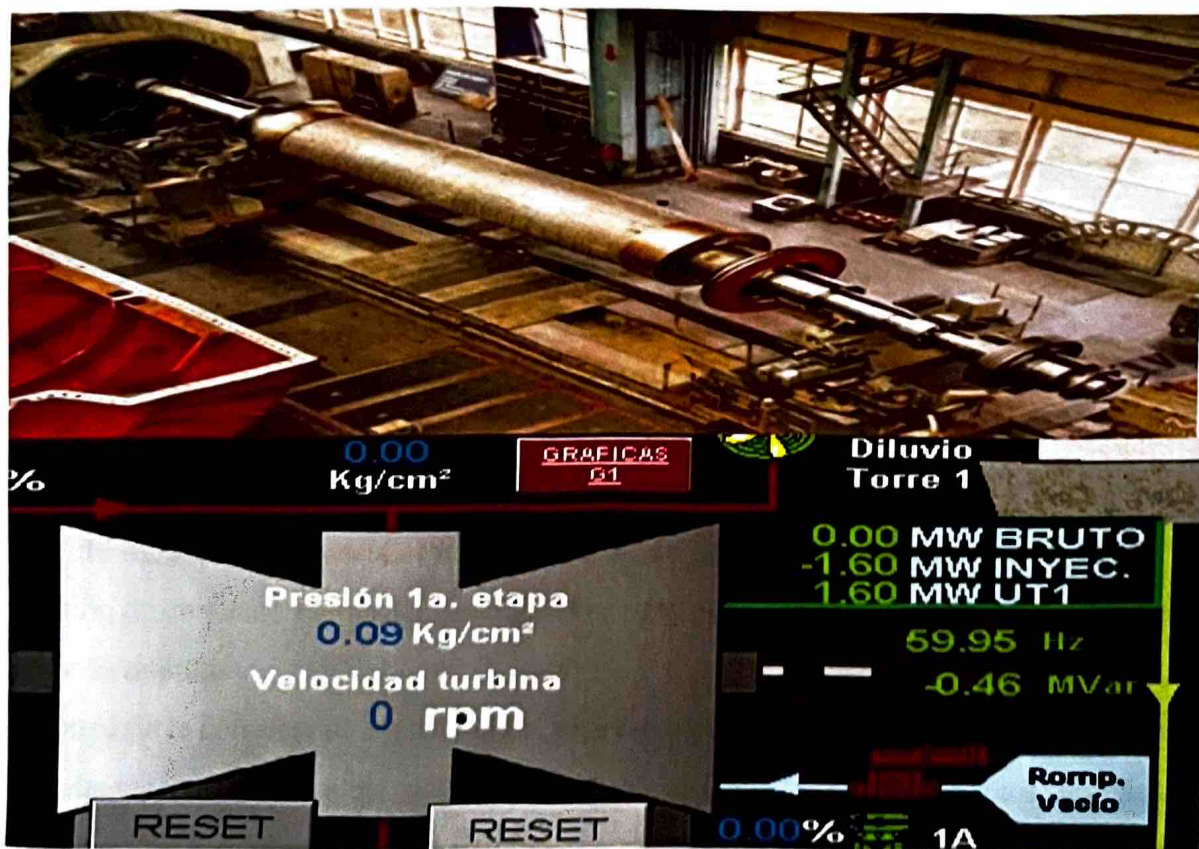


Imagen 88: Rotor de un generador y representación en el simulador.

5.1.19 Especificaciones técnicas del generador a simular.

Tabla 2

Serie:	No. 1 ^a 1180B0101
Fecha de Fabricación:	Junio de 1975
Tipo:	MB
Aislamiento:	B
Velocidad:	3600 rpm
Potencia:	37500 KVA
Frecuencia:	60 Hz
Voltaje:	13800 V
Corriente:	1569 A
Fases:	3
Polos:	2
Factor de potencia:	0.8 F.P.
Capacidad:	Continua.
Voltaje de Excitación:	250 V
Corriente de excitación:	345 A
Marca: Mitsubishi	Mitsubishi
Procedencia:	Japón
Norma:	ANS-C-50

5.1.20 Sistema de excitación sin escobillas (Brushless):

Este sistema consiste en otro generador síncrono de estructura inversa, es decir, los polos inductores están en el estator y el inducido en el rotor. La salida de éste se rectifica mediante un puente de diodos y se conecta al rotor del generador principal. De modo que el este sistema de excitación de corriente alterna del generador síncrono principal se encuentra integrado en el propio rotor de la máquina.

El control de la corriente de excitación del generador principal se consigue regulando la corriente de excitación en el estator del sistema excitatriz mediante dos procedimientos, un esquema de autoexcitación o mediante una excitación piloto a través de imanes permanentes dispuestos también en el eje de la máquina. Este sistema elimina las escobillas, pero gana en complejidad del rotor.

SISTEMA DE EXCITACIÓN BRUSHLESS

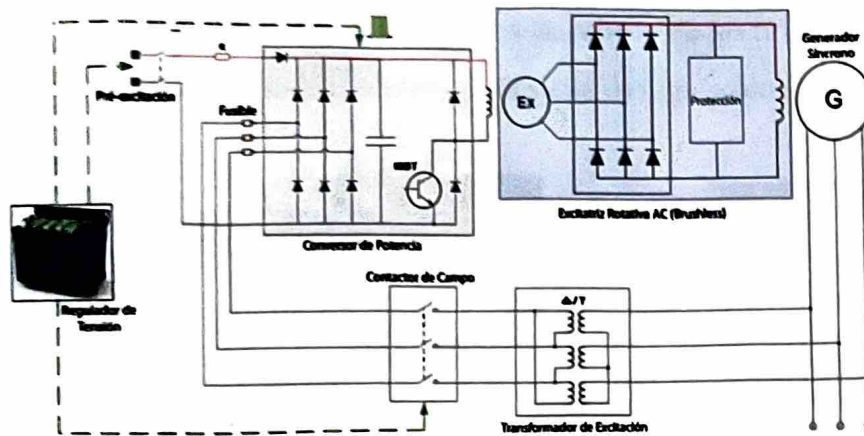


Imagen 89: Diagrama del sistema de excitación U1 Ahuachapán

Armario de excitación y regulación del generador

El armario de excitación y regulación contiene el sistema de excitación, que comprende los circuitos de excitación o de potencia, y los circuitos de regulación de baja potencia, la función del sistema de excitación es la de alimentar el rotor del generador con una corriente continua que permita al generador mantener entre sus bornes una tensión controlada cuando está conectado a la red, el sistema de excitación es controlado por el regulador de tensión.

La potencia de excitación al rotor del generador es suministrada por un excitador de diodos giratorios que alimentan el devanado del rotor, el excitador es alimentado por el generador de imanes permanentes (PMG) a través de un transformador de excitación, cuya tensión secundaria es rectificada por un puente de tiristores monofásico. Los tiristores son controlados por el regulador.

El valor de corriente de excitación es fijado a cada momento por el sistema de regulación el cual en caso de perturbaciones en la red hace volver rápidamente el generador al punto de funcionamiento previamente fijado. El sistema de regulación mantiene al generador dentro de su campo de funcionamiento previsto mediante las limitaciones de Sub-excitación, Sobreexcitación y Sobre flujo (V/F).

El regulador está compuesto por sistemas que forman dos vías de regulación independientes: la vía automática para la regulación automática de la tensión de estator del generador y la vía manual para el ajuste de la corriente de excitación. Un sistema de seguimiento permite cambiar de una vía

a la otra sin perturbar la tensión del generador.

Las vías de regulación automática/manual son independientes, cada vía tiene su propia alimentación y circuito de generación de pulsos de cebado de los tiristores. La vía de regulación automática /manual, así como los valores de consigna de regulación son seleccionados por medio de mando externos.



Imagen 90: Rectificador de diodos giratorios y Generador de imanes permanentes.

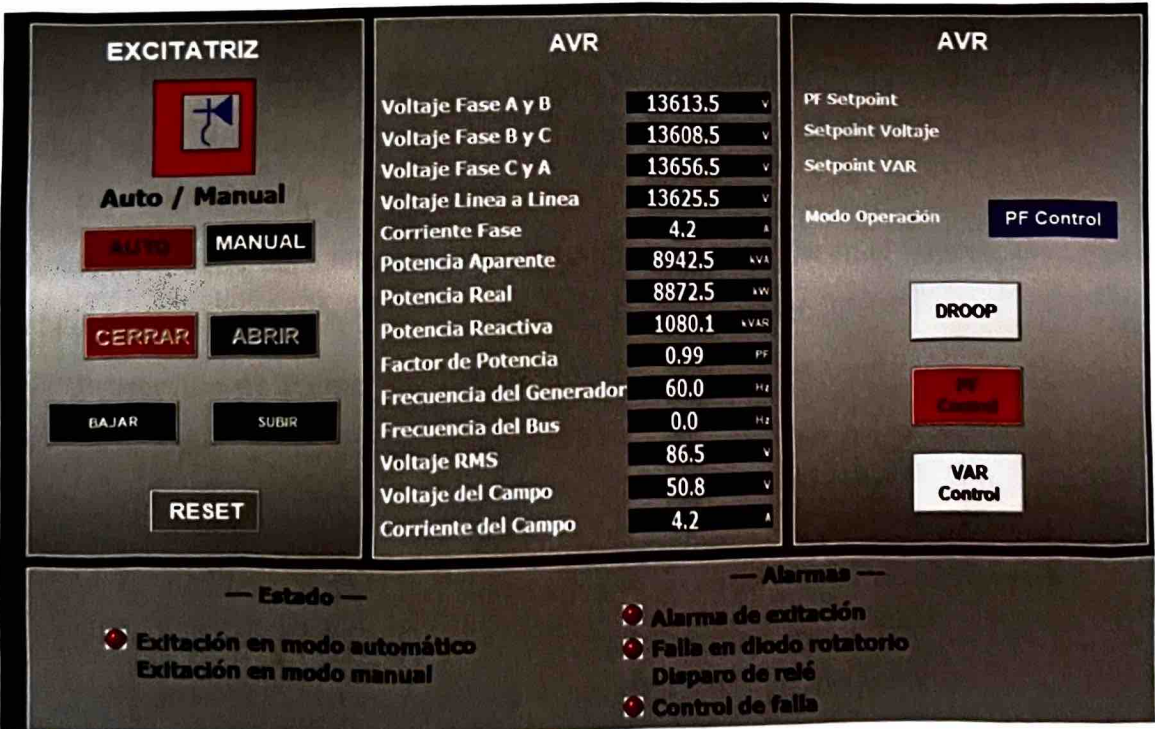


Imagen 91: Selección de excitación del Generador Simulado.

5.1.21 Transformador principal elevador 13.8 KV 115 KV

Un transformador elevador de 13.8 kV a 115 kV se utiliza para aumentar la tensión eléctrica de 13.8 kV a 115 kV en aplicaciones de transmisión de energía. Este tipo de transformador

generalmente tiene una conexión delta-delta en alta tensión y estrella en baja tensión, lo que permite una distribución eficiente de la electricidad.

Los transformadores elevadores, que aumentan el voltaje, suelen tener una conexión estrella-delta (Y- Δ) debido a la necesidad de proporcionar un punto neutro y una relación de transformación adecuada para la transmisión eficiente de energía,

Explicación detallada:

- **Conexión Estrella (Y):**

En el lado de alta tensión (el que recibe la energía), la conexión estrella proporciona un punto neutro, lo que facilita las protecciones y el equilibrio de cargas.

- **Conexión Delta (Δ):**

En el lado de baja tensión (el que entrega la energía), la conexión delta es común en sistemas de alta tensión para mitigar problemas como sobrevoltajes y armónicas, y facilitar la transmisión de energía a largas distancias,

- **Relación de Transformación:**

La conexión estrella-delta permite una relación de transformación adecuada entre el voltaje de entrada y salida, optimizando la eficiencia en la transmisión y distribución de energía.

- **Equilibrio de Cargas:**

La conexión estrella-delta también facilita el equilibrio de cargas en el sistema, lo que es crucial para la estabilidad y el buen funcionamiento del sistema eléctrico.

- **Protección de Tierra:**

En el lado de alta tensión, la conexión estrella ayuda a facilitar las protecciones de tierra del generador.

En resumen, la combinación de la conexión estrella en el lado de alta tensión y la conexión delta en el lado de baja tensión permite una eficiente transmisión y distribución de energía, facilita las protecciones y el equilibrio de cargas, y optimiza la relación de transformación en el transformador elevador, como es en la conexión de la unidad uno de Ahuachapán, la salida del generador esta conectada en estrella pero del lado de 13.8 KV del transformador tiene la delta para evitar que los armónicos que salen del Generador entren a la red de transmisión.



Imagen 92: Transformador elevador unidad 1 de Ahuachapán.

5.1.22 Especificaciones técnicas del Transformador principal a simular:

Serie:	No. 8002.1
Clase de enfriamiento:	OA
Conexión:	Estrella / Delta.
Potencia:	37500 KVA
Frecuencia:	60 Hz
Voltaje:	13800 V
Corriente baja tensión X1 X2 X3:	1569 A
Desplazamiento del grupo 2:	30°
Impedancia:	115/13.8 KV, base 37.5 MVA = 7.84%
Potencia Nomina:	37500 KVA.
Voltaje baja tensión:	13800 V
Corriente baja tensión:	1569 A
Marca:	Italtrafo
Procedencia:	Japón
Norma:	ANSI-C-57.12.00/1968

El relé Bucholz.

El relé de acumulación de gas viene empleado para la protección de descargas, entre las partes bajo tensión, contactos de tierra, cortocircuito entre espiras, interrupción de una fase, quemadura de hierro pérdidas en la Cuba o en el dispositivo de enfriamiento del aceite etc.

El relé interviene cuando se forman gases y en las rápidas variaciones del nivel de aceite que se manifiestan en consecuencia de una normalidad en el transformador y provoca una señal de alarma que si el inconveniente es grave o persistente desconecta al transformador.

El relé Buchholz se monta en la tubería, entre la caldera del aparato a proteger (transformador, bobina de inductancia) y el recipiente de expansión. En régimen normal, el relé está completamente lleno con líquido aislante. El empuje vertical mantiene el flotador de los relés Bucholz en su posición más alta, y al presentarse acumulación de gas en la recamara del flotador el sistema desconecta inmediatamente el transformador de la red.

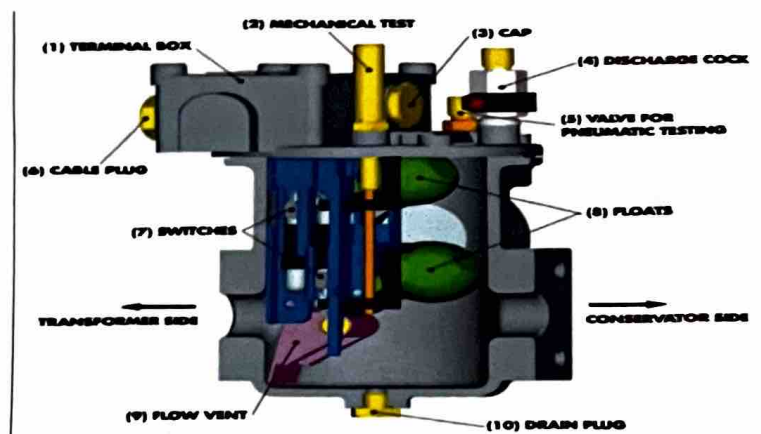


Imagen 93: Esquema y vista física de un relé Bucholz.

5.2 PROTECCIONES MECANICAS Y ELECTRICAS DEL TURBO GENERADOR.

Las protecciones mecánicas en un turbogenerador eléctrico son sistemas diseñados para proteger tanto al equipo como a los operadores de posibles fallas o daños. Estas protecciones incluyen mecanismos de seguridad para evitar sobre velocidades, sobre temperaturas, vibraciones excesivas, y fallas en los sistemas de lubricación, entre otros.

5.2.1 Protecciones mecánicas clave:

- **Sobre velocidad:**

Se utiliza un gobernador, que regula la velocidad del rotor y desactiva el turbogenerador si la velocidad excede los límites predefinidos.

- **Sobre temperatura:**

Se implementan sensores de temperatura en diferentes partes del turbogenerador (rotor, estator, aceite, etc.) que activan alarmas o apagan el equipo si las temperaturas superan los valores de diseño.

- **Vibraciones excesivas:**

Se instalan sensores de vibración que monitorean las vibraciones del rotor y del cuerpo del turbogenerador. Si las vibraciones son demasiado altas, se dispara una alarma o se apaga el equipo para evitar daños.

- **Falla en el sistema de lubricación:**

El sistema de lubricación es monitoreado para detectar posibles fugas, falta de presión, o problemas en la circulación del aceite. Una falla en el sistema de lubricación puede causar daño al rotor y otros componentes.

5.2.2 Protecciones Eléctricas en Plantas Generadoras de Energía.

La necesidad de proteger las máquinas eléctricas de relevancia, como transformadores, generadores y, por supuesto, las mismas líneas de transmisión, ha sido siempre una prioridad. Es importante mencionar la importancia de estas protecciones en las plantas generadoras de energía por medio de turbinas a vapor, con el fin de satisfacer, a través de mediciones, las necesidades del mercado, que es usar una cantidad específica de energía en ciclos de trabajo diurnos y nocturnos. El sistema de protecciones es como el sistema de defensas que posee el ser humano en su cuerpo; estas impiden el paso o afectación de elementos externos nocivos hacia su interior, que puedan dañar la integridad o funcionalidad del sistema y sus partes. La importancia de las protecciones en el sistema eléctrico es inmensa; estas permiten que los diferentes elementos que componen el

sistema funcionen adecuadamente y envíen el voltaje, flujo de energía y corriente necesarios para el funcionamiento de los equipos que protegen. Por otro lado, algunas de estas protecciones permiten la detección de fallas, corte del paso de corriente o envío de una señal para que se actúe a tiempo sobre el problema.

- **Tipos de Fallas en Sistemas Eléctricos**

Los efectos de cortocircuitos son en general más dramáticos que los de sobrecargas. Por último, en el último punto referente a los cortocircuitos, cabe destacar que una medida eficaz para reducir la probabilidad de que un exceso de corriente provoque un cortocircuito es el uso de fusibles en el circuito al que está conectado el equipo en cuestión. Si la intensidad suprema provocada por el cortocircuito es superior a la nominal del fusible, se producirá su quemado, una medida especial de alarmas de incendios, cerrando el circuito y cortando la intensidad elevada que circulaba en caso de cortocircuito.

Fenómenos distorsivos: son aquellos que no afectan a la continuidad del circuito, pero alteran las formas de onda de las señales eléctricas. La fuente característica de este tipo de problema es la conexión de cargas no lineales que actúan como nuevos generadores de corriente alterna de alta frecuencia, a creciente extensión dentro de nuestra sociedad debido a la creciente presencia de fuentes de alimentación conmutada, rectificadores de corriente, hornos microondas, aparatos electrónicos de todo tipo.

Fenómenos transitorios: se dan, a nivel general, cuando las condiciones de trabajo del sistema cambian sin alcanzar unas condiciones de trabajo estables o cuando un sistema pasa de una situación de estable a otra nuevamente estable. Los dos tipos más frecuentes y particularmente destructores son las sobretensiones y los picos térmicos debidos, respectivamente, al alejamiento de la carga desde el generador y a conmutaciones de cargas de elevada corriente, a lo que se le agregan los efectos generados por la existencia de inductancia en la línea de transporte o de alimentación.

- **Protecciones de generadores:**

Protección de Generadores Grandes

Los generadores grandes de hasta 50MVA suelen ser equipados con las siguientes funciones de protección:

- **Función 32:** Relé de potencia inversa para protección anti-motorización.
- **Función 40:** Relé VAR inverso para protección contra pérdida de campo.

- **Función 46:** Relé de sobre corriente de secuencia negativa para protección contra condiciones de desequilibrio.
- **Función 49:** Relé térmico para monitorear la temperatura del devanado del estator.
- **Función 51G:** Relé de sobre corriente de tierra temporizado de respaldo.
- **Función 51V:** Relé de sobre corriente de respaldo (ya sea con restricción de voltaje o controlado por voltaje).
- **Función 60:** Relé de equilibrio de voltaje.
- **Función 64F:** Relé de tierra del campo del generador.
- **Función 87:** relé de protección diferencial que proporciona protección instantánea de sobre corriente.
- **Función 87G:** Relé diferencial de tierra.

Puede haber excepciones dependiendo de la aplicación y de la simplicidad del sistema.

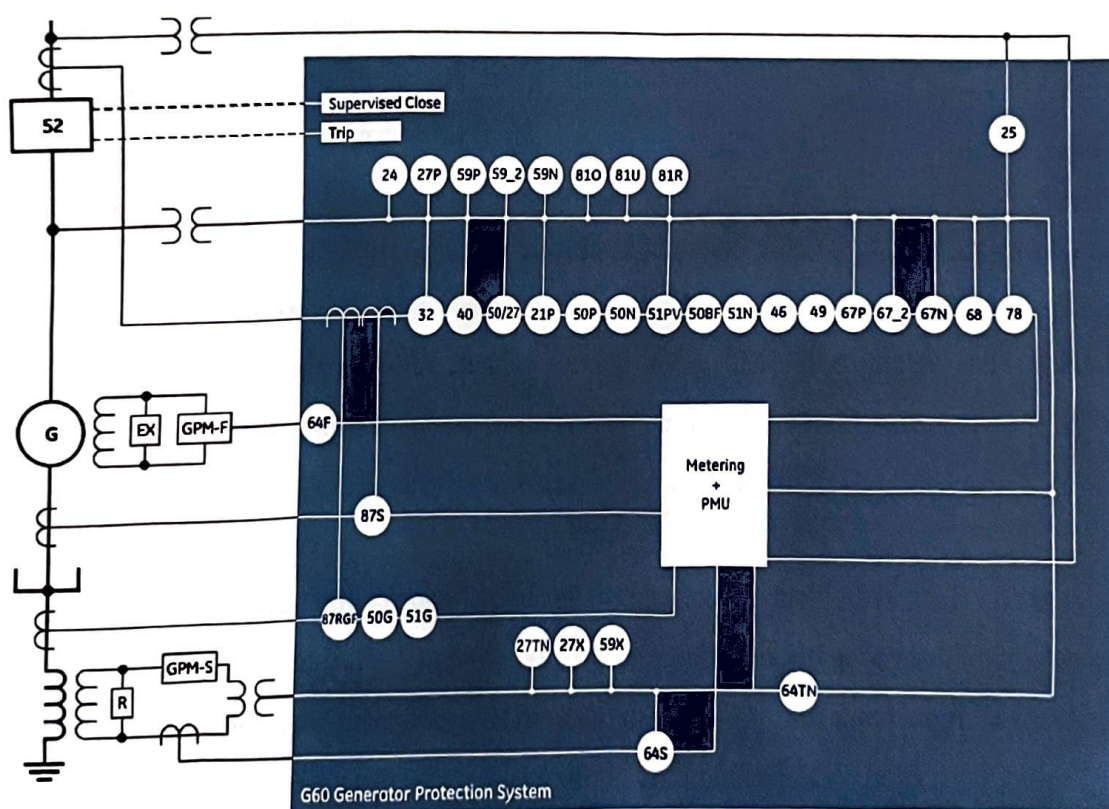


Imagen 94: : Esquema de protección para generadores de potencia.

5.2.3 Filosofía de Protección en Generadores de Potencia.

Una vez que un relé de protección haya detectado una falla y se haya identificado que la solución para despejar la falla es desconectar el generador, se deben hacer las siguientes

operaciones básicas para iniciar el apagado:

1. Disparar el interruptor del generador.
2. Abrir la fuente de excitación, disparando el interruptor de campo.
3. Retirar la fuente de energía del motor primario, cerrando la válvula de mariposa.
4. Iniciar una alarma.

Sin embargo, estas operaciones deben ser realizadas de una manera que depende de las causas del disparo, del tipo de fuerza motriz (turbina hidráulica, turbina de vapor, turbina de gas, motor de Diesel o de gas, entre otros), de las consideraciones ambientales y de la seguridad de los operadores. Adicionalmente, depende del impacto de la pérdida repentina de potencia de salida en el sistema eléctrico.

5.2.4 Lógica de Disparo de las Protecciones del Generador

Las lógicas de disparo de cada función de protección varían dependiendo de las preferencias del cliente, de las habilidades de la fuerza motriz y de su sistema de suministro. Sin embargo, hay cuatro métodos muy comunes para aislar el generador después de condiciones eléctricas anormales, y las definiremos a continuación.

1. Disparo Simultáneo

El método de disparo simultáneo se utiliza cuando se han detectado fallas internas en el generador y anomalías graves en su zona de protección. Este método consiste en que los relés de protección aíslen el generador disparando al mismo tiempo todos los interruptores del generador, el interruptor de campo, y apagando el motor primario cerrando las válvulas de la turbina. Al mismo tiempo, las cargas auxiliares se transfieren a una fuente de reserva.

2. Disparo del Generador

Este método de disparo se utiliza cuando ocurren perturbaciones en el sistema de energía, y no por fallas internas del generador. Este método consiste en que los relés de protecciones disparen los interruptores principales del generador y el interruptor de campo, sin interrumpir la fuerza motriz. Y, se usa cuando es posible corregir rápidamente la anomalía de la red eléctrica y, por lo tanto, volver a conectar la máquina al sistema en poco tiempo.

Es posible que este modo de disparo no sea posible con algunos tipos de fuerza motriz, reguladores y sistemas de calderos que no son capaces de responder rápidamente después de un rechazo de carga.

En estos casos, es necesario interrumpir la fuerza motriz para todas las fallas y condiciones de

operación anormales.

3. Disparo de Separación de Unidades

El modo de separación de unidades consiste en disparar solamente el interruptor principal del generador. Y, se utiliza cuando se desea mantener las cargas auxiliares de la unidad conectadas al generador. La ventaja de este modo es que el generador se puede volver a conectar al sistema con un retraso mínimo. Se aplican las mismas precauciones descritas para el modo de disparo del generador.

4. Disparo Secuencial

En el modo de disparo secuencial, las válvulas de la turbina se disparan primero. Luego, se inicia el disparo de los interruptores principales del generador y del interruptor de campo. Este modo se usa principalmente para turbinas de vapor cuando el disparo retrasado no tiene un efecto perjudicial en el generador.

5.2.5 Funciones de Protección en Subestaciones de Transmisión

Existen muchas Funciones de Protección que se aplican en Subestaciones de Transmisión. Sin embargo, las más comunes e importantes a tomar en cuenta son las siguientes:

1. Protección de Sobre corriente (ANSI 50/51).
2. Protección Direccional de Sobre corriente (ANSI 67).
3. Protección Diferencial (ANSI 87).
4. Protección de Distancia (ANSI 21).
5. Protecciones Mecánicas de los Transformadores de Potencia.

Es importante recordar que el objetivo fundamental de un sistema de protección es aislar rápidamente un área problemática del sistema de potencia. De modo de minimizar el impacto en el resto del sistema y dejarlo intacto en lo que sea posible.

La lógica de aplicación de las Funciones de Protección en Subestaciones de Transmisión consiste en dividir el sistema de potencia en varias zonas. Y, asignarle a cada una un grupo de relés que tendrán diferentes funciones de protección dependiendo del equipo a proteger:

- Transformador.
- Línea de Transmisión.
- Barra.
- Entre otros.

A continuación, describiremos las funciones de protección más comunes en los relés numéricos.

1. Protección de Sobre corriente

Consiste en configurar un valor umbral de sobre corriente en el relé para que actúe instantáneamente o por configuración de sobre corriente de tiempo inverso. La temporización que se programe en el relé debe ser menor al tiempo de daño del equipo a proteger. Y, al mismo tiempo, debe corresponder al orden de selectividad que se diseñó en el sistema de protección. La protección de sobre corriente instantánea se define con el número ANSI 50; mientras que la de sobre corriente temporizada se define con el número ANSI 51. Esta es la función más simple, y es la base de las demás funciones de protección.

2. Protección Direccional de Sobre corriente

La protección direccional de sobre corriente generalmente se usa en líneas de transmisión. Consiste en comparar la dirección de la corriente de falla en ambos extremos de la línea (se define con el número ANSI 67). Si la medida indica que la falla se dirige hacia la línea protegida, significa que es una falla interna y que el relé debe disparar. En cambio, si una de las medidas indica una corriente circulando hacia afuera de la zona protegida significa la existencia de una falla externa. En este caso, el relé no debe ordenar el disparo.

Los relés direccionales que detectan fallas entre fases se polarizan con tensiones de fase en el punto del relé. Mientras que los relés direccionales que detectan fallas a tierra se pueden polarizar con la tensión de secuencia cero o con alguna corriente de referencia. Como, por ejemplo, la corriente de la conexión del neutro a tierra de un transformador de potencia local en el punto del relé.

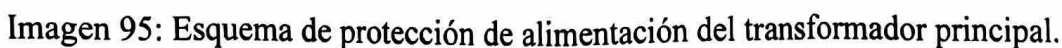
3. Protección Diferencial

Los sistemas de protección diferencial (definidos por el número ANSI 87) son las funciones de protección más utilizadas en las subestaciones de transmisión. La Protección Diferencial opera en base al principio de comparación de corriente. Es decir, parten de que la corriente que entra a un objeto protegido sano es la misma que sale de él. De este modo, la corriente medida por el elemento "M" debe ser cero. Cualquier medida de corriente diferente de cero es un indicador de falla en algún lugar de la zona de protección.

4. Protección de Distancia

La protección de distancia (definida por el número ANSI 21), sirve para proteger líneas de transmisión. Se encarga de medir constantemente la impedancia de carga de la línea. Esta impedancia se expresa como $U_L/I_L = Z_L$. Es decir, la relación entre la tensión y la corriente vistas por el relé en su sitio de instalación. Si hay una falla, la medida de la impedancia será menor que

5.2.6 Protección de Transformadores de Potencia.



Adicionalmente, se tienen protecciones propias del transformador:

- Protección térmica (número ANSI 49) para sobre cargas.
- Relé Buchholz (número ANSI 63B, opera atrapando el gas que resulta de alguna anomalía).
- Relé de presión (ANSI 63P, válvula de alivio de presión) para fallas internas.
- Relé del nivel de aceite (número ANSI 71) para detectar pérdidas de aceite.
- Entre otras.

Como los transformadores tienen numerosos elementos de protección, se debe diseñar que todas las órdenes de disparo de los diferentes relés de protección vayan a los interruptores a través de un relé de disparo y bloqueo (número ANSI 86). Este relé dispara los interruptores asociados y los bloquea para evitar que se cierren nuevamente hasta que no haya una reposición intencional. Puesto que, las fallas en los transformadores no suelen ser transitorias. Sino que, requieren de la intervención de personal capacitado para solventar el problema que causó la falla.

5.3 DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN Y SOFTWARES UTILIZADOS.

Al encender nuestro servidor físico y entrar al escritorio encontraremos el acceso directo al software virtual, es el VMware Workstation 16 Player que es donde correremos nuestro software de programación y la aplicación donde se encuentra el simulador; al dar doble clic abre la ventana donde es necesario seleccionar dando otro clic en VDA-X86.

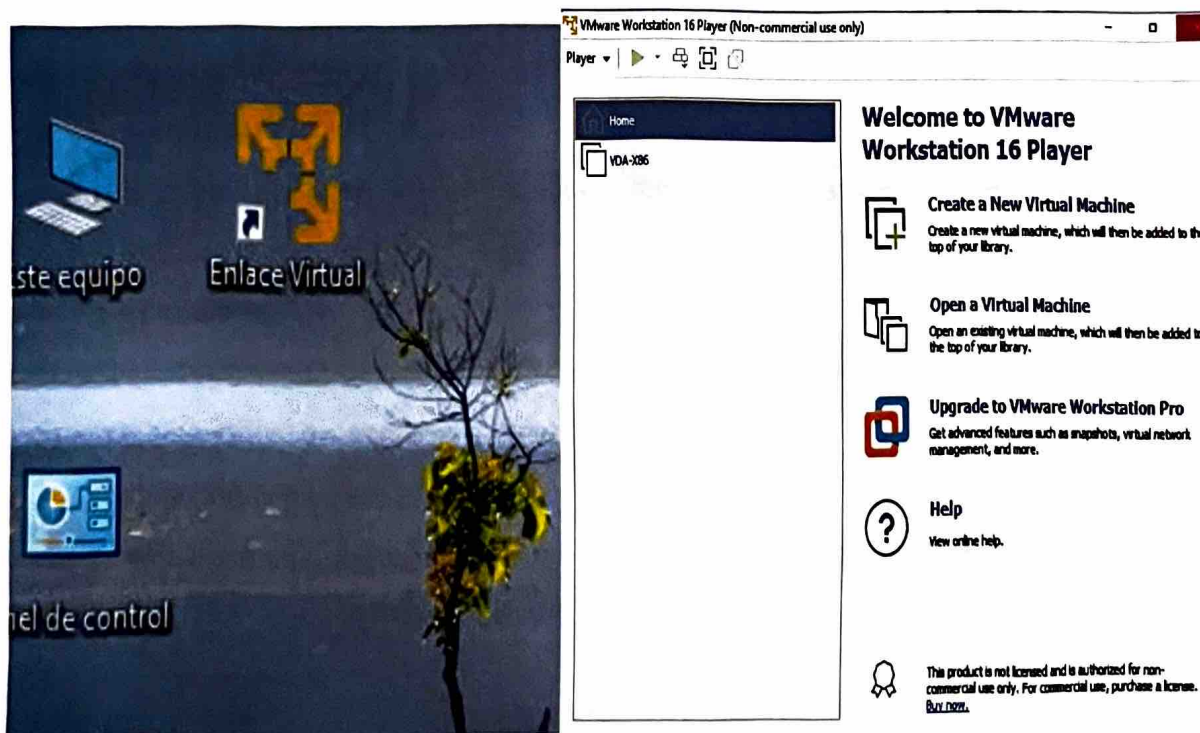


Imagen 96: Enlace de virtualización.

5.3.1 VMware Workstation 16 Player.

Es un software de virtualización gratuito que permite ejecutar máquinas virtuales en un ordenador. Permite a los usuarios instalar y ejecutar diferentes sistemas operativos o aplicaciones dentro de un entorno virtual, sin necesidad de tener que reiniciar o realizar múltiples instalaciones en el hardware físico.

Crea una "máquina virtual" dentro del ordenador. Esta máquina virtual funciona como un ordenador independiente, donde se instala un sistema operativo diferente al del ordenador principal y ejecuta aplicaciones que requieren una configuración específica.

En detalle:

- **Virtualización:**

VMware Workstation Player crea una capa virtual encima de tu sistema operativo principal (el "host"), permitiéndote instalar y ejecutar otros sistemas operativos (los "huéspedes") como si fueran máquinas físicas dentro de tu computadora.

- **Ejecución de múltiples sistemas operativos:**

Puedes tener Windows, Linux, o cualquier otro sistema operativo que soporte la virtualización corriendo en máquinas virtuales dentro de tu PC.

- **Pruebas y desarrollo:**

Es ideal para probar software, aplicaciones o juegos en diferentes sistemas operativos sin afectar tu sistema operativo principal.

- **Aprendizaje:**

Podemos explorar y aprender sobre diferentes sistemas operativos sin tener que instalar múltiples copias en tu disco duro.

- **Aislamiento:**

Cada máquina virtual está aislada del resto de tu sistema, lo que significa que los cambios o errores en una máquina virtual no afectarán a las otras ni al sistema operativo host.

- **Utilización profesional:**

Se utiliza en entornos profesionales para proporcionar escritorios corporativos, crear entornos de prueba seguros, y ejecutar software que requiere un entorno específico.

- **Versión gratuita:**

VMware Workstation Player es una versión gratuita de VMware Workstation, que es un software de virtualización más avanzado y completo.

- **Compatibilidad:**

Podemos ejecutar software o aplicaciones que no son compatibles con tu sistema operativo principal en una máquina virtual.

- **Copia de seguridad:**

Podemos crear copias de seguridad de tu máquina virtual en cualquier momento, para poder restaurarla a un estado anterior en caso de que ocurra un problema.

En resumen: VMware Workstation Player es una herramienta poderosa que te permite ejecutar múltiples sistemas operativos o aplicaciones en un solo ordenador, lo que te ofrece flexibilidad y seguridad al trabajar con diferentes entornos de software.

5.3.2 VDA (Virtual Delivery Agent) y X86.

Son conceptos relacionados con la tecnología informática, pero no están directamente ligados. VDA se refiere a un software que permite a los usuarios acceder a aplicaciones y escritorios virtuales. X86, por otro lado, se refiere a un conjunto de instrucciones de arquitectura de procesador.

VDA:

- **¿Qué es?**

VDA es un software que se instala en las máquinas que ofrecen aplicaciones y escritorios virtuales a través de tecnologías como Citrix Virtual Apps and Desktops.

- **¿Para qué sirve?**

Permite a los usuarios acceder a estas aplicaciones y escritorios virtuales desde cualquier lugar y dispositivo, como si estuvieran trabajando en una máquina física.

X86:

- **¿Qué es?**

X86 es una familia de arquitecturas de procesador, ampliamente utilizada en ordenadores personales.

- **¿Para qué sirve?**

X86 define el conjunto de instrucciones que el procesador entiende y ejecuta, lo que permite a los ordenadores realizar tareas informáticas.

Relación entre VDA y X86:

Aunque no están directamente relacionados, la tecnología VDA puede funcionar en máquinas con procesadores X86. Por ejemplo, un VDA podría instalarse en un ordenador personal con un

procesador X86 para permitir a los usuarios acceder a aplicaciones y escritorios virtuales.

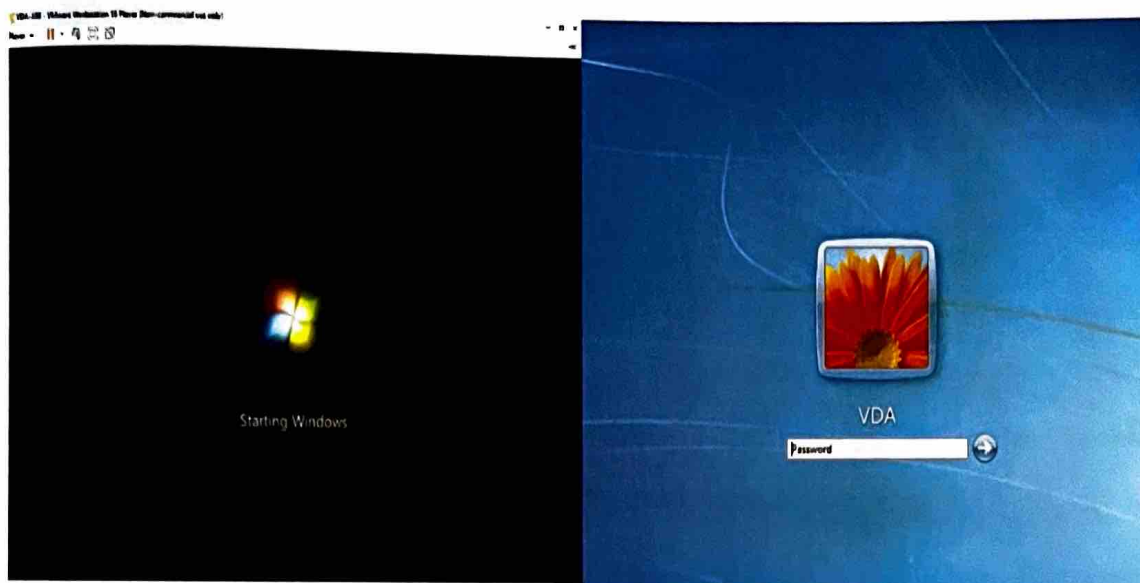


Imagen 97: Cargando sistema operativo Windows.

5.3.3 Clave de acceso a cuenta de usuario VDA.

Para entrar al escritorio virtual de nuestro proyecto solicita una clave de acceso del usuario la cual es: **Gamma**

A continuación, abrirá una ventana de activación de Windows, (hacer caso omiso) seleccionar preguntar mas tarde, como se observa en la siguiente figura.

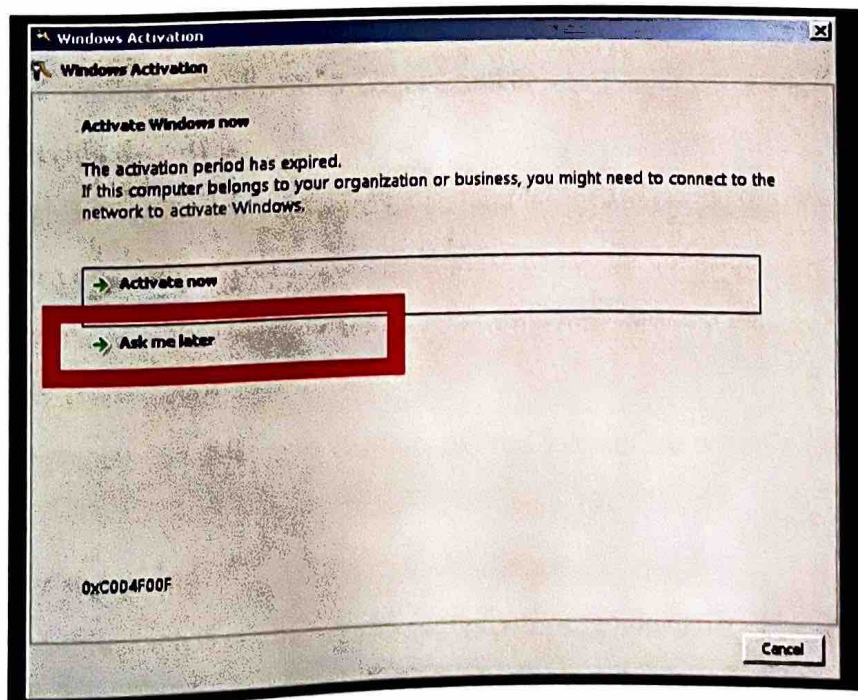


Imagen 98: ventana de activación de Windows .

5.3.4 Dispositivo virtual (PLC virtual).

El emulador Studio 5000 Logix Emulate es un software que permite emular el funcionamiento de los controladores Logix 5000. Esto significa que puedes probar y depurar tu código de aplicación sin necesidad de un controlador físico, lo que te permite probar, depurar y optimizar el código de aplicación sin necesidad de hardware físico.

¿Para qué sirve el emulador Studio 5000 Logix Emulate?

El emulador Studio 5000 Logix Emulate sirve para:

- **Pruebas y depuración:**

Puedes probar tu aplicación en un entorno virtual, lo que te permite identificar errores y problemas de programación antes de implementarla en un controlador físico.

- **Optimización del código:**

El emulador te permite probar diferentes configuraciones y optimizar el rendimiento de tu código sin necesidad de hardware.

- **Desarrollo y diseño:**

Puedes utilizar el emulador para desarrollar y diseñar tus aplicaciones sin necesidad de tener el hardware disponible.

- **Simulación y entrenamiento:**

El emulador puede conectarse a otros sistemas de simulación y entrenamiento, lo que permite simular procesos y entrenar a los operarios en un entorno seguro.

Beneficios del emulador Studio 5000 Logix Emulate:

- **Reducción de costos:**

Evita la necesidad de adquirir hardware físico para las pruebas y depuración.

- **Ahorro de tiempo:**

Puedes desarrollar y probar tus aplicaciones de forma más rápida y eficiente.

- **Mayor flexibilidad:**

Puedes experimentar con diferentes configuraciones y optimizar el código sin las limitaciones del hardware.

- **Mayor seguridad:**

Puedes probar aplicaciones en un entorno seguro sin riesgo de dañar el hardware físico.

En resumen, el emulador Studio 5000 Logix Emulate es una herramienta esencial para el desarrollo, prueba y optimización de aplicaciones para controladores Logix 5000.

El emulador se carga automáticamente inicia mostrando esta ventana donde se está generando el proceso.

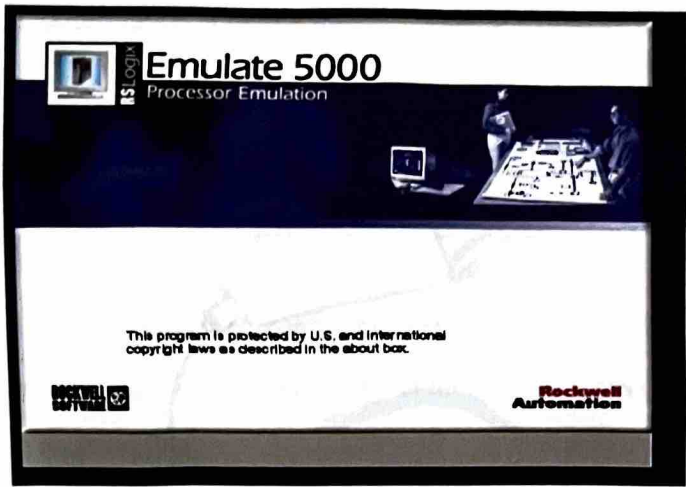


Imagen 99: Cargando emulador de Rockwell Automación

Si se presenta un mensaje de Windows Activación solo de ok y se abrirá la simulación. Al abrir el emulador, te encuentras con un chasis. En la ranura 10 hay un módulo RSLinx necesario para que funcionen las comunicaciones del emulador. La ranura 1 tiene otro módulo RSLinx no extraíble, en la ranura 2 se encuentra el controlador del emulador.

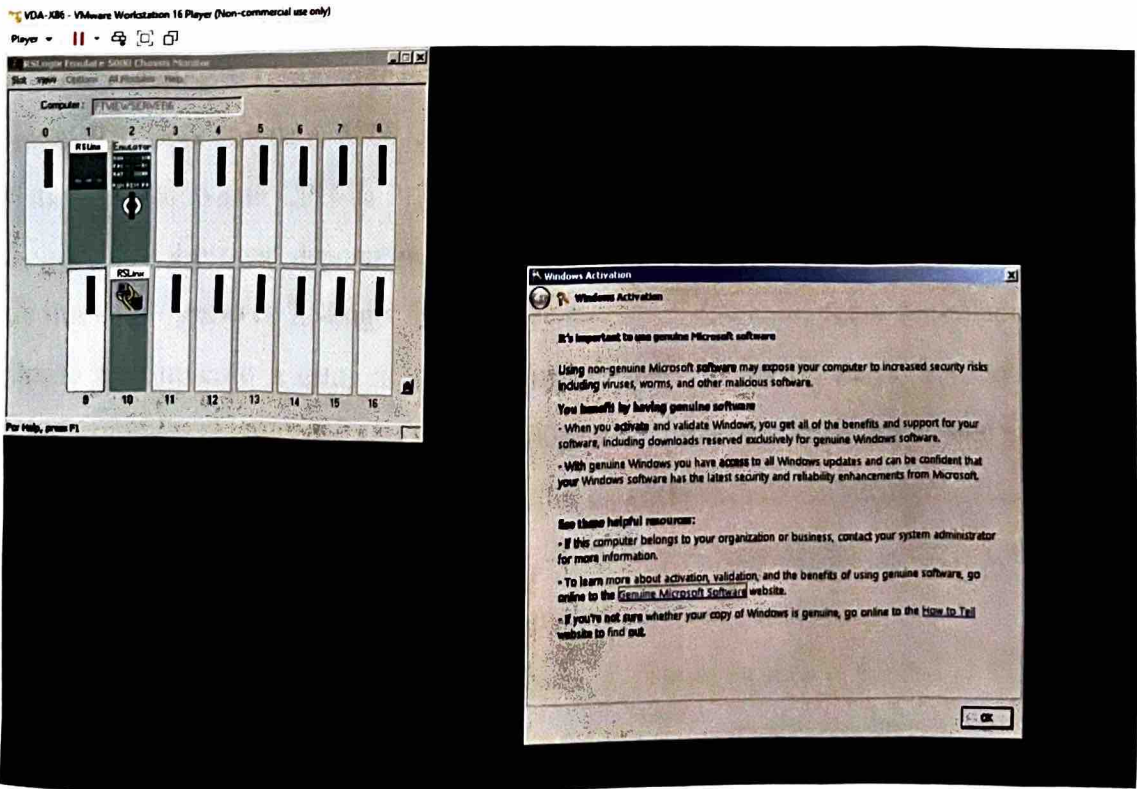


Imagen 100: Chasis del emulador.

Al iniciar el emulador, se muestra un chasis vacío virtual donde se pueden agregar los módulos necesarios para la simulación, como la CPU y los módulos de comunicación. Este chasis virtual permite configurar la arquitectura del hardware simulado, como la ubicación de los módulos en las ranuras.

RSLinx.

Es un software de Rockwell Automation que gestiona las comunicaciones entre dispositivos en entornos Windows. Permite la comunicación a través de diferentes puertos, incluyendo USB. Para utilizarlo, se inicia el software y se configuran los drivers necesarios, como los drivers USB. Proporciona una interfaz para la configuración y el monitoreo de las comunicaciones.

"módulo RSLinx no extraíble"

Se refiere a un componente físico, generalmente un cable o adaptador, que no puede ser removido fácilmente de un sistema de automatización. En el contexto de RSLinx, estos módulos son necesarios para establecer la comunicación entre diferentes dispositivos de Rockwell Automation.

El propósito de RSLinx:

Permite la comunicación entre diferentes dispositivos de Rockwell Automation y otros dispositivos en una red industrial. Esencialmente, actúa como un puente, facilitando la transferencia de información entre equipos.

El controlador del emulador RSLogix 5000

Es el RSLogix Emulator 5000, que se utiliza dentro del software Studio 5000 Logix Emulate™. Funciona como una CPU de PLC, permitiendo simular el funcionamiento de los controladores Logix 5000 y probar, depurar proyectos sin la necesidad de hardware físico. Para usarlo, se crea un nuevo proyecto en RSLogix 5000 y se selecciona el emulador como controlador.

Como seguimiento a esto, se creó un proyecto con lógica de escalera y bobinas de salida. Configurando el emulador para probar la lógica del programa se observa cómo cambia el estado de las bobinas de salida al cambiar los estados de cualquiera de las variables.

Se creó un cliente SCADA que es Factory-Talk para colocar objetos como botones, luces piloto y otros elementos de entrada/salida para simular usando el emulador.

En el simulador operacional una vez cargado el cliente, se abre el acceso al SCADA con dos botones abajo que se pueden utilizar con un usuario, pero en esta ocasión se dejó abierto para que cualquiera que cargue el SCADA pueda tener acceso directo a las pantallas de la simulación operacional para las etapas de operación.

En los botones de arriba se encuentran los accesos a las 3 pantallas principales del simulador, la pantalla general al lado izquierdo primera fila, la pantalla de aceite en la parte medio primera fila, diagrama unifilar derecha segunda fila y alarmas en la parte derecha primera fila.

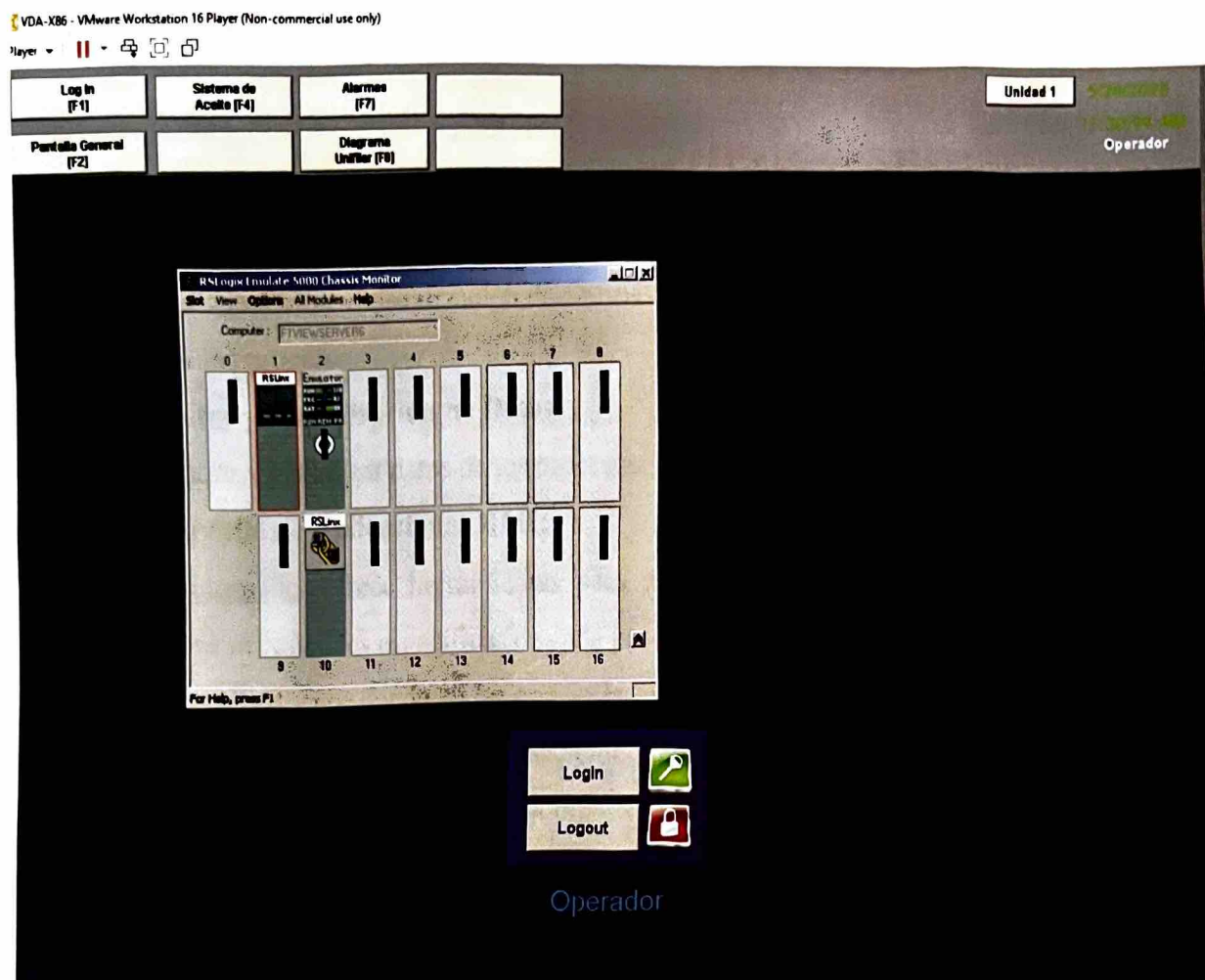


Imagen 101: botones de entrada a la simulación SCADA.

5.3.5 Interacción con el software factory talk view site edition e información de este.

FactoryTalk View es un software HMI (Interfaz Hombre-Máquina) de Rockwell Automation que permite a los operadores interactuar y supervisar sistemas de automatización industrial. Proporciona una vista en tiempo real de las operaciones, permite controlar procesos y máquinas, y ofrece herramientas de visualización y gestión de alarmas.

FactoryTalk View es una plataforma de software HMI versátil que se utiliza para crear interfaces gráficas de usuario (HMI) y aplicaciones SCADA (Supervision Control and Data Acquisition) para monitorear y controlar procesos y maquinaria industrial. Permite a los operadores interactuar con los sistemas, recibir información y realizar acciones de control.

¿Para qué sirve?

- **Supervisión y Control:**

Facilita la supervisión de las operaciones en tiempo real, permitiendo a los operadores visualizar datos, tendencias y alarmas.

- **Interfaz Operador-Máquina:**

Proporciona una interfaz gráfica para que los operadores interactúen con las máquinas y los procesos, permitiendo el control manual o automático.

- **Gestión de Alarmas:**

Permite la configuración y visualización de alarmas, alertando a los operadores sobre condiciones anormales en los procesos.

- **Registro y Visualización de Datos:**

Permite registrar y visualizar datos de los procesos, facilitando el análisis y la toma de decisiones.

- **Desarrollo de Aplicaciones HMI:**

Rockwell Automation ofrece herramientas para desarrollar aplicaciones HMI personalizadas, adaptadas a las necesidades específicas de cada proceso.

Es aquí en este software donde se ha creado la arquitectura e ingeniería para poder realizar el simulador operacional de la U1 a condensación de la central geotérmica Ahuachapán, y en donde se presentan las etapas de operación que componen la unidad para poner en línea.

Desde el arranque o puesta en marcha de los equipos auxiliares, lubricación, enfriamiento, control de niveles, vacío, extracción de gases, etc., hasta el sincronismo de la unidad se encuentran simulados en este software ya implementado.

En una arquitectura R2 de Windows Server 2012, se utilizará la terminología de servicios de escritorio remoto.

Esta es la herramienta utilizada para el diseño interfaz de usuario (HMI) para el sistema de automatización para la simulación operacional para operación de central geotérmica U1. Para usarlo, primero se creó una nueva aplicación, se configuró la comunicación con el PLC, se diseñaron las pantallas con los objetos gráficos y se creó la animación. Finalmente, se descarga la aplicación al PanelView o HMI.

Pasos para usar FactoryTalk View Studio:

1. **Configurar la comunicación:**

- **Selección del controlador:** Especificando el tipo de PLC con el que se comunicará

la HMI (por ejemplo, ControlLogix en nuestro caso).

2. Diseño de las pantallas:

- **Creación de pantallas:** Agregada las nuevas pantallas al proyecto, personalizar el fondo, los títulos, etc.
- **Agregar objetos gráficos:** Se Insertan objetos como botones, indicadores, gráficas, etc., y se asignan propiedades como tamaño, color, posición.
- **Conexión de objetos a etiquetas de PLC:** Se asocian los objetos gráficos con las etiquetas de PLC para que muestren los valores en tiempo real o controlen el equipo.

3. Creación de las animaciones:

- **Se Asignan propiedades de animación:** Definiendo las animaciones para los objetos gráficos, como cambio de color, cambio de posición, parpadeo, etc., basadas en las etiquetas de PLC.
- **Creando estados de animación:** Se configuran los estados de los objetos gráficos, como el estado de "encendido" o "apagado", y asignación de colores o imágenes diferentes.

4. Guardar y descargar:

- **Guardando el proyecto:** Guardar el proyecto en un archivo .ftv.
- **Descargando a la HMI:** Transferir el proyecto a la PanelView o HMI deseada.

5.3.6 Diferentes pantallas creadas en el software FactoryTalk View Studio.

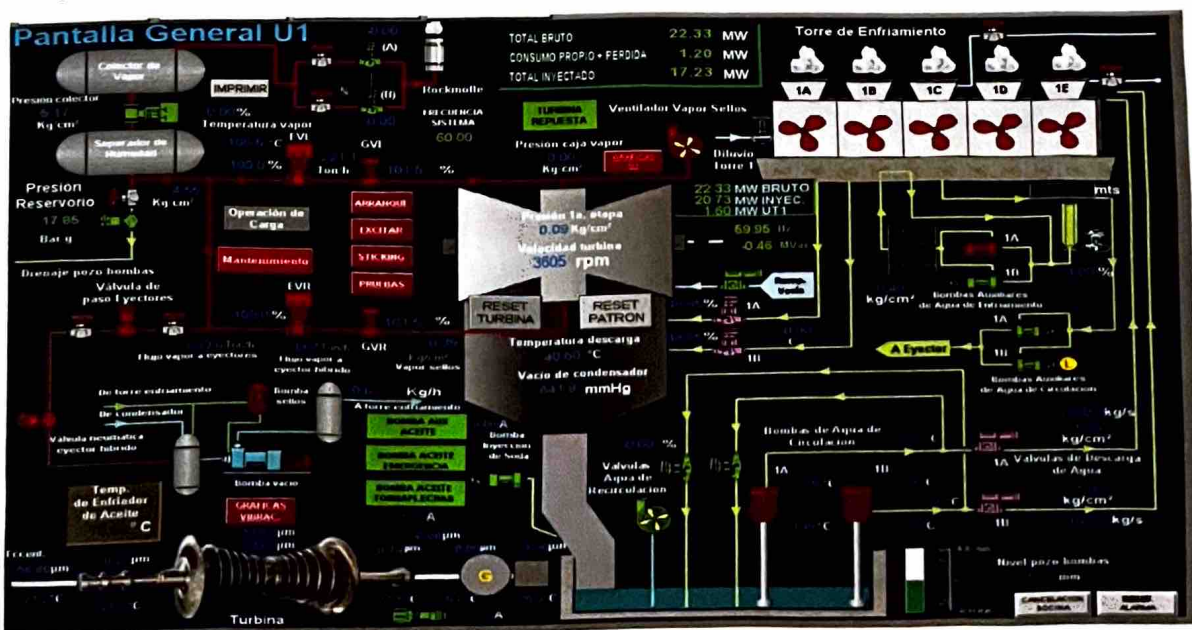


Imagen 102: pantalla general U1

In Alarm Time	Mensaje	Unidad
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	DI-103 U1 DISPARO CWP 1B	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	DI-262 INSUFICIENTE FLUJO AGUA DE SELLO EYECTOR U1 "B"	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	AI-29 U1 SEÑAL ANORMAL POSICION LIMITADOR DE CARGA IZQ.	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	AI-30 U1 SEÑAL ANORMAL POSICION LIMITADOR DE CARGA DR.	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	AI-51 U1 SEÑAL ANORMAL 4.16 KV VOLTAJE DE BUS	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	AI-54 U1 SEÑAL ANORMAL CORRIENTE SECUNDARIO AT2	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	AI-45 U1 SEÑAL ANORMAL POTENCIA ACTIVA DEL GENERADOR	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	AI-126 U1 SEÑAL ANORMAL TEMPERATURA 5 EMBOBINADO ESTATOR DEL GENERADOR	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	AI-69 U1 SEÑAL ANORMAL TEMPERATURA AGUA ENTRADA CONDENSADOR	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	AI-114 U1 SEÑAL ANORMAL TEMPERATURA ESTATOR MOTOR B.A.E.-A	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	AI-115 U1 SEÑAL ANORMAL TEMPERATURA ESTATOR MOTOR B.A.E.-B	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	DI-13 U1 PRESION BAJA DE ACEITE DE PARO AUTOMATICO	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	AI-44 U1 SEÑAL ANORMAL VOLTAJE DEL GENERADOR	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	AI-05 U1 BOMBAS AUXILIARES A.C. PRESION SALIDA BAJA	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	DI-184 U1 CB 1-02 13.8KV ABIERTO	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	DI-104 U1 PERTURBACION MOTOR DE TORRE DE ENFRIAMIENTO	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	DI-221 NORMAL VENTILADOR DE CABINETE	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	DI-94 U1 ALTA EXCENTRICIDAD DEL EJE	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	DI-91 U1 VALVULA DE EMERGENCIA CERRADA	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	DI-128 U1 ANORMALIDAD EN BOMBA DE VACIO	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	DI-87 U1 ALTO O BAJO NIVEL DE TANQUE ACEITE PRINCIPAL	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	DI-190 U1 LIMITE INFERIOR LIMITADOR DE CARGA 1A	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	DI-189 U1 LIMITE SUPERIOR LIMITADOR DE CARGA 1A	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	DI-191 U1 LIMITE SUPERIOR LIMITADOR DE CARGA 1B	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	DI-159 U1 4.16KV STR BUS TIE CB 15BT2 CLOSE	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	DI-160 AT2 SECONDARY CB 52AT2 CLOSE	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	DI-148 U1 SECONDARY CB 15UT2 CLOSE	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	DI-243 COM SYSTEM FAILURE	Unidad 1
15/01/2025 04:58:08.914 p.m.	DI-95 U1 PARO POR VAPOR DE EYECTOR VALVULA CERRADA	Unidad 1

Imagen 105: Pantalla de alarmas.

5.4 Equipos Auxiliares que existen en la simulación.

La planta por simular consta de una turbina geotérmica acoplada a un generador de 30.0 MW, con su monitoreo de vibraciones de turbogenerador, sistema de aceite para trona-flecha, lubricación en cojinetes y sistema de gobernación.

5.4.1 Equipos de pantalla sistema de aceite y su funcionamiento:

En ella se encuentra simulado el tanque de aceite con todos sus equipos principales y auxiliares:

- El tanque principal: de donde suministra aceite de lubricación y aceite de control.
- Bomba para torna flecha: Al inicio se encarga de enviar el aceite al torna flecha.
- Bomba de aceite auxiliar: Luego de empezar a girar la turbina ella queda suministrando aceite de lubricación a los cojinetes del turbogenerador hasta que alcanza la velocidad nominal y trabaja la bomba principal, acoplada al turbogenerador.
- Bomba de emergencia: como su nombre la describe, ella entra a trabajar ante cualquier emergencia de baja presión de aceite.
- Extractor de gases del tanque de aceite: Este se encarga de extraer los gases que se generan dentro del tanque de aceite y es aliviado a presión atmosférica para evitar sobre presiones dentro del tanque y por ende elevación de temperatura.

- Purificador de aceite: este se encarga de separar la humedad (agua) y purificar el aceite para reutilizarlo y es enviado al tanque.

- Enfriadores de aceite: por medio de una válvula controlada por la temperatura del aceite seteada A 55°C por medio de serpentines.

En donde pasa agua por unos tubos y el aceite para por la parte externa sin hacer contacto directo si no que, por convección, así el aceite realiza su trabajo y vuelve para ser enfriado.

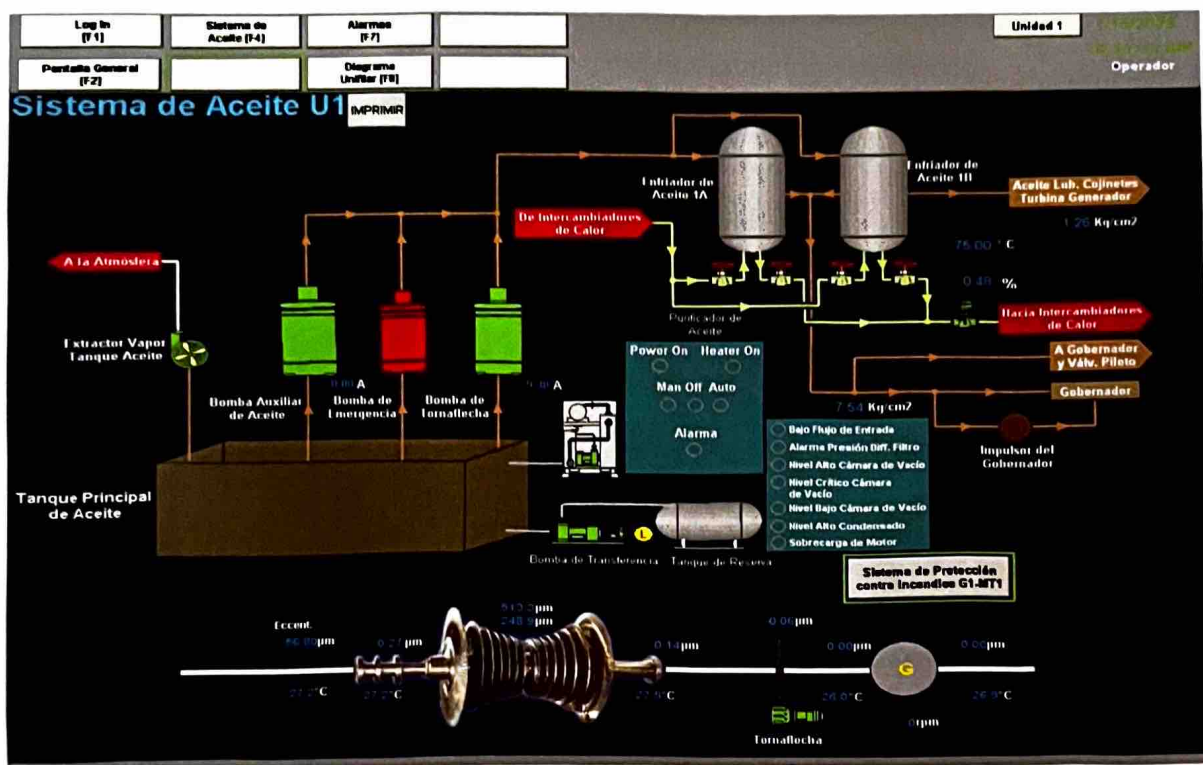


Imagen 106: Consola de aceite.

5.4.2 Equipos en pantalla diagrama unifilar.

En ella se encuentra el diagrama eléctrico de la central, componentes y parámetros que se necesitan para monitoreo y protección eléctrica desde:

- Generador: con todas sus mediciones.
- Interruptor de sincronismo 52G (1-01)
- Interruptor de línea: que es el que conecta al bus principal 52T (7-01)
- Seccionadores: Son los encargados de aislar los interruptores principales y auxiliares respectivamente.
- Interruptor de campo magnético: Es el que conecta y por medio del AVR regula el voltaje y corriente de excitación para lograr un voltaje de salida del generador de 13.8 KV.

El diagrama unifilar también tiene el bus de transferencia y los transformadores principal y de unidad que reducen a 4.16 Kv y 480V; las salidas de las líneas que transportan la potencia hacia Santa Ana y Sonsonate a 115 KV.

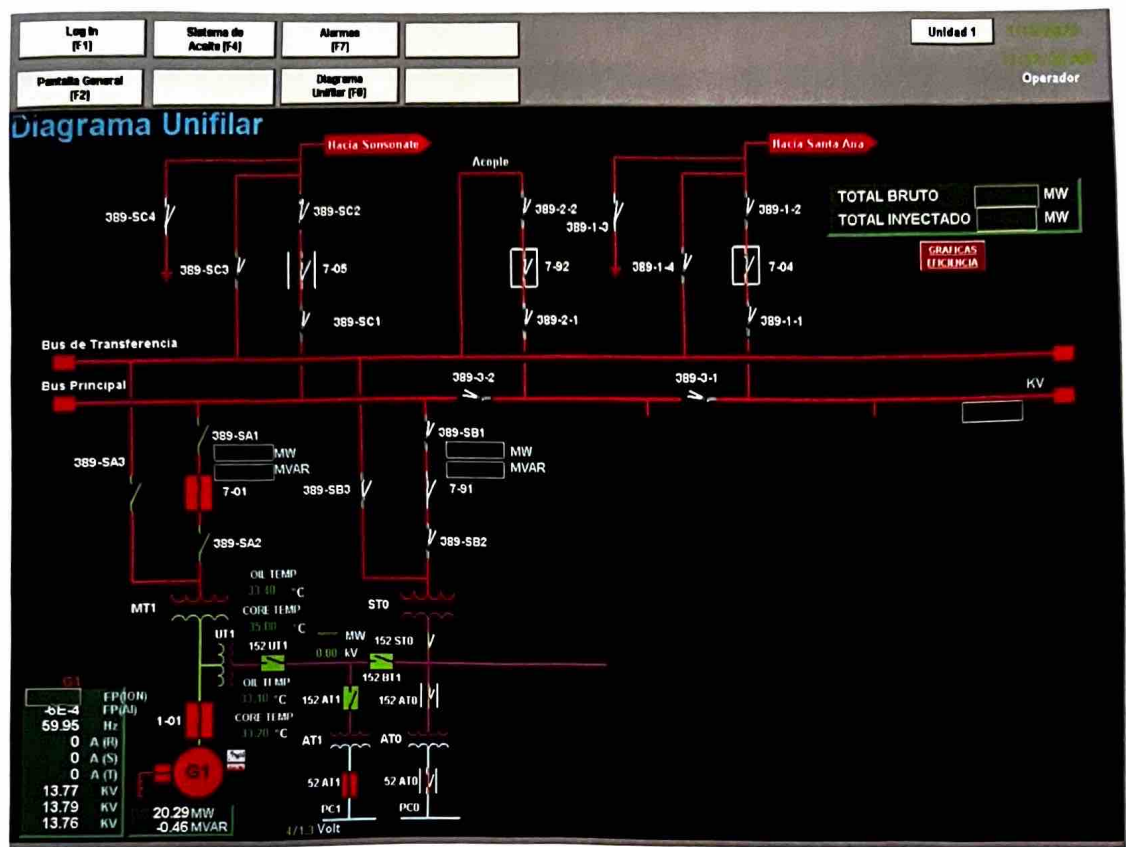


Imagen 107: Diagrama Unifilar.

5.4.3 Pantalla de alarmas.

En un sistema SCADA, la página de alarmas es fundamental para monitorear y responder a eventos inesperados o fuera de lo normal en el proceso industrial. Permite a los operadores detectar problemas, entender la causa y tomar acciones correctivas. Funcionalidades clave de la página de alarmas en un SCADA: Visualización de alarmas: Presenta una lista de alarmas activas, mostrando detalles como el tipo de alarma, la ubicación, la prioridad y el tiempo de activación. Gestión de alarmas: Permite al operador reconocer, confirmar, desactivar o silenciar alarmas, así como asignar responsables para su resolución. Notificación de alarmas: Puede enviar notificaciones a través de diferentes medios (visuales, sonoros, SMS, correo electrónico, etc.) para alertar a los operadores sobre eventos críticos. Análisis de alarmas: Facilita el seguimiento histórico de las alarmas, lo que permite identificar patrones, causas recurrentes y tendencias para mejorar la eficiencia y prevenir futuros problemas. Configuración de alarmas: Permite definir umbrales, prioridades y tipos de

alarmas, así como personalizar la visualización y las notificaciones. En resumen, la página de alarmas en un SCADA es una herramienta esencial para el control y la supervisión de procesos industriales, que permite una respuesta rápida y eficiente a eventos no deseados, mejorando la seguridad, la eficiencia y la productividad de las operaciones.



Imagen 108: Pagina de alarmas.

5.4.4 Pantalla Principal.

En ella se encuentra la puesta en servicio de la máquina.

- **Sistema de aceite y lubricación:**

Arranque de las bombas de aceite de lubricación auxiliar, emergencia y bomba para torna flecha.



Imagen 109: bombas de aceite y sus botones de arranque y local remoto.

En un SCADA de operación, el botón de "Arranque, Local/Remoto" indica dos modos de control para un dispositivo o proceso:

Local:

El control del dispositivo se realiza directamente en el sitio, a través de los controles locales (botones, interruptores, etc.) del dispositivo.

Remoto:

El control del dispositivo se realiza desde una estación centralizada, a través del sistema SCADA. En pocas palabras, "Local" significa que el operario controla el equipo directamente en el sitio, mientras que "Remoto" significa que el equipo es controlado desde la estación centralizada SCADA

- **Sistema de extracción de gases incondensables.**

Arranque y paro de bombas de sellos y bomba de vacío, apertura y cierre válvula de paso a eyectores y válvula neumática de eyector híbrido.

un sistema híbrido de generación geotérmica, las bombas de sellos y las bombas de vacío juegan roles clave en la optimización del ciclo de energía. Las bombas de sellos, como las de anillo líquido, crean una barrera física que impide fugas y garantiza el funcionamiento eficiente de las bombas de vacío, mientras que estas últimas son esenciales para la extracción de gases no condensables (GNC) del condensador de turbina, mejorando la eficiencia general del sistema.

El papel de las bombas de sellos:

Sellado:

Las bombas de sellos, especialmente las de anillo líquido, utilizan un líquido, como el agua, para crear un sello hermético, impidiendo que el vacío se escape y que el aire entre en el sistema.

Funcionamiento de la bomba de vacío:

El sellado adecuado por parte de las bombas de sellos es crucial para el correcto funcionamiento de las bombas de vacío, que necesitan un vacío para operar eficientemente.

El papel de las bombas de vacío:

Extracción de GNC:

Las bombas de vacío, como las de anillo líquido, son esenciales para eliminar los gases no condensables del condensador de la turbina, lo que aumenta la eficiencia del sistema de generación.

Optimización del ciclo de energía:

La extracción de GNC ayuda a mantener la presión y la temperatura adecuadas en el condensador, lo que permite que el ciclo de energía funcione de manera más eficiente.

Sistemas híbridos:

En los sistemas híbridos, se combinan eyectores de vapor con bombas de vacío para una extracción de GNC más eficiente.

En resumen: Las bombas de sellos y las bombas de vacío trabajan en conjunto para garantizar que los sistemas de generación geotérmica híbridos funcionen de manera eficiente y segura. La bomba de sellos asegura el sellado adecuado, mientras que la bomba de vacío elimina los gases no condensables, optimizando el ciclo de energía.

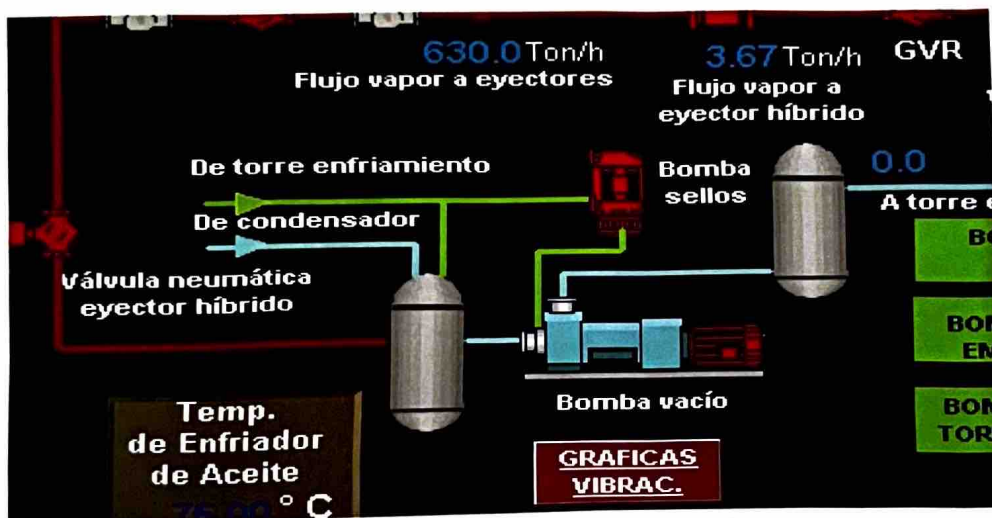


Imagen 110: Bombas de sello y anillos líquidos.

- **Sistema de condensación:**

Condensador, entrada de agua de enfriamiento, válvula de rompimiento de vacío y monitoreo turbina y condensador, temperatura y presión de vacío en mmHg, parámetros del generador, potencia, frecuencia, reactivos, etc.

Componentes del sistema de condensado:

Condensador: El corazón del sistema, donde el vapor se convierte en agua líquida.

Bomba de condensado: Para mover el agua condensada a la torre de enfriamiento o al sistema de re-inyección.

Torre de enfriamiento (opcional): Para enfriar el agua antes de re-inyectarla.

Sistema de re-inyección: Para devolver el agua al subsuelo.

Tuberías y válvulas: Para la conducción y control del flujo de vapor y agua.

Instrumentación y control: Para monitorear y controlar el proceso de condensado, incluyendo la temperatura, presión y caudal.

En resumen, el sistema de condensado es crucial para la eficiencia y sostenibilidad de las centrales geotérmicas, ya que permite reutilizar el vapor residual y cerrar el ciclo de energía.

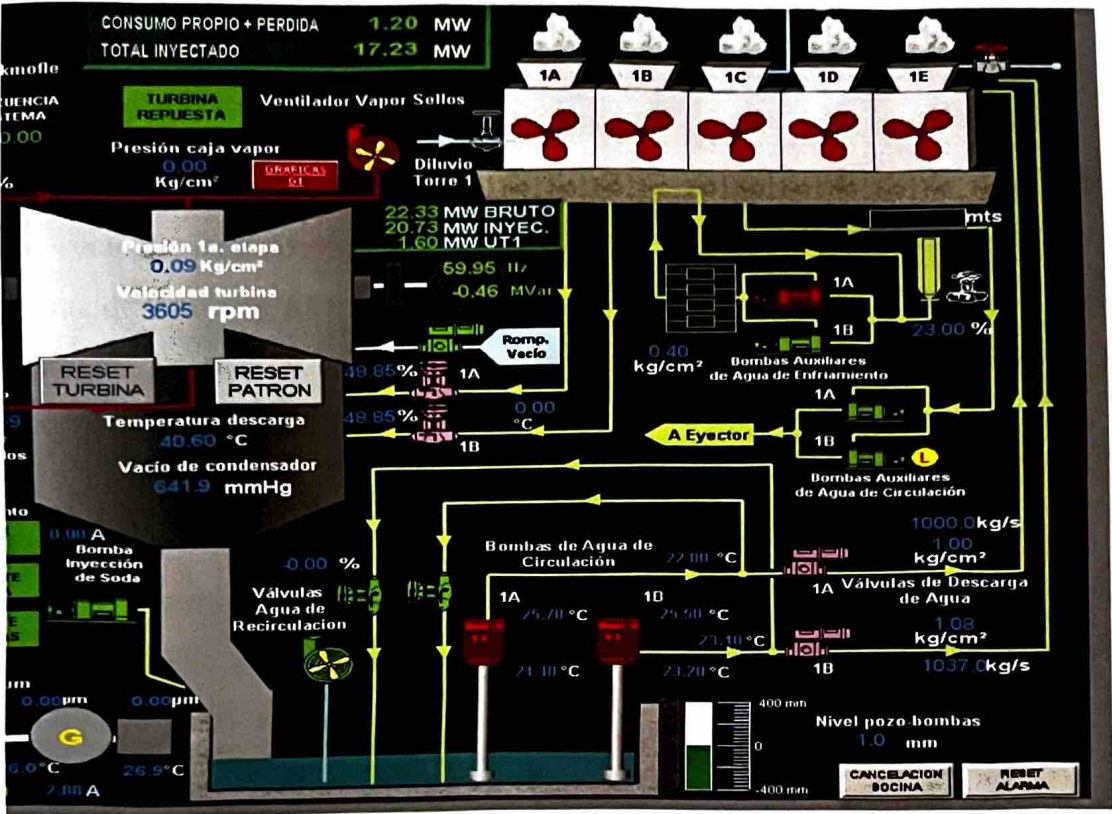


Imagen 111: ciclo de condensación con todos sus equipos.

• **Sistema de vapor de entrada a turbina.**

Colector de vapor, Demister o separador de humedad, silenciador o Rock mofle, válvulas de entrada de vapor a turbina y válvulas de gobernación.

En una central geotérmica, el sistema de vapor de entrada a turbina desde el recolector hasta el sistema de gobernación es un proceso complejo que involucra la extracción, transporte, purificación y control del vapor para generar electricidad. El sistema consta de varios componentes clave que trabajan en conjunto para asegurar un suministro de vapor adecuado y controlable a la turbina.

Componentes y Funcionamiento del Sistema:

Recolector de Vapor:

El vapor, junto con agua caliente, es extraído de los pozos geotérmicos y transportado a un recolector. Aquí, la mezcla se separa, separando el vapor del agua para garantizar un suministro de vapor seco y purificado a la turbina.

Vaporductos:

El vapor purificado se transporta a través de vaporductos (tuberías) hacia la turbina.

Turbina:

La turbina recibe el vapor y lo utiliza para generar energía mecánica de rotación.

Sistema de Gobernación (o Control de Turbina):

Este sistema es crucial para controlar la velocidad y la potencia de la turbina, y por lo tanto, la producción de electricidad.

Sistema de Control y Automatización:

Un sistema de control y automatización monitorea y ajusta los parámetros del sistema de vapor (presión, flujo, temperatura) para garantizar un funcionamiento óptimo y seguro.

Detalles del Proceso:

Extracción y Separación:

El proceso comienza con la extracción de la mezcla de vapor y agua caliente del pozo geotérmico. En el recolector, esta mezcla se separa, separando el vapor del agua para obtener un vapor seco y purificado.

Transporte a la Turbina:

El vapor purificado se transporta a través de vaporductos hacia la turbina.

Funcionamiento de la Turbina:

La turbina recibe el vapor y lo utiliza para hacer girar un eje conectado a un generador eléctrico.

Control de la Turbina:

El sistema de gobernación controla la velocidad y la potencia de la turbina, ajustando la cantidad de vapor que entra a la turbina.

Control y Automatización:

Un sistema de control y automatización monitorea y ajusta los parámetros del sistema de vapor para garantizar un funcionamiento óptimo y seguro.

En resumen, el sistema de vapor de entrada a turbina en una central geotérmica es un proceso complejo y crítico para la generación de energía eléctrica, que involucra la extracción, purificación, transporte, control y automatización del vapor para garantizar un suministro

adecuado y controlable a la turbina.

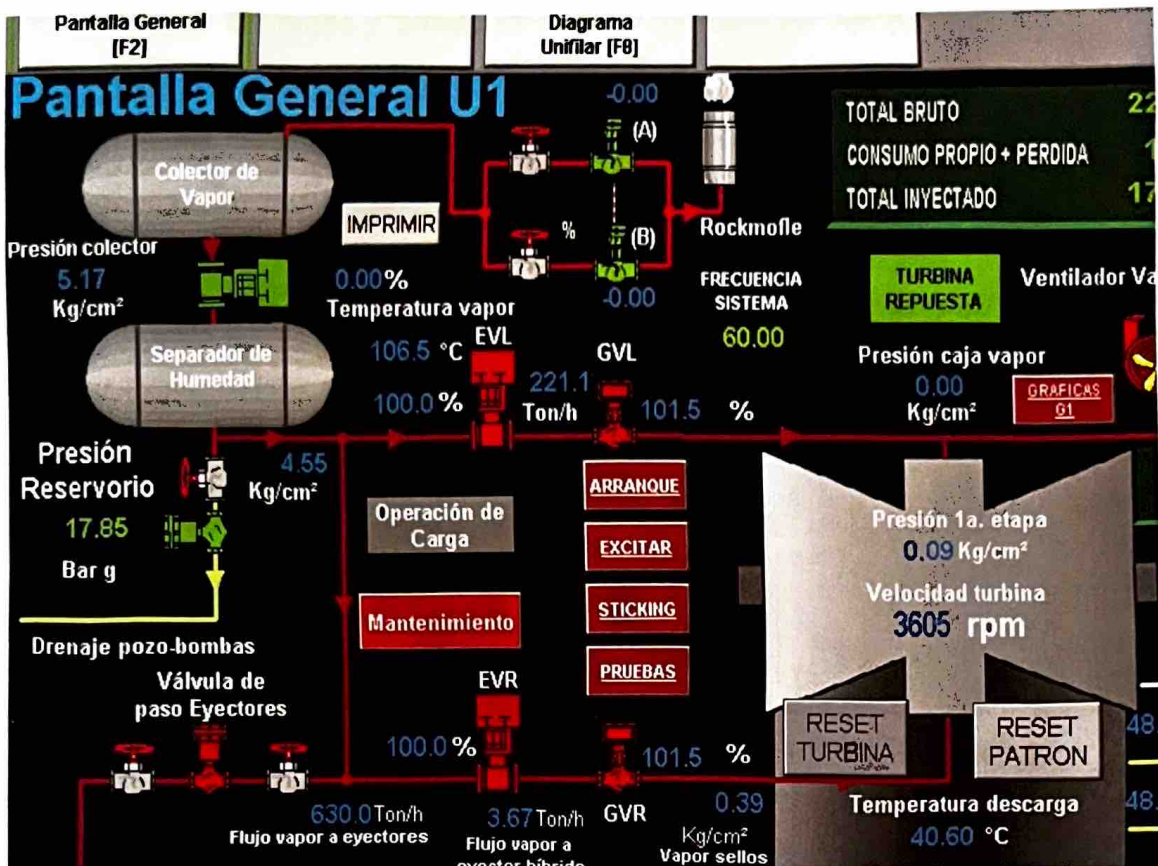


Imagen 112: Sistema de vapor con sus componentes.

5.4.5 Pantalla general para arranque y puesta en marcha U1

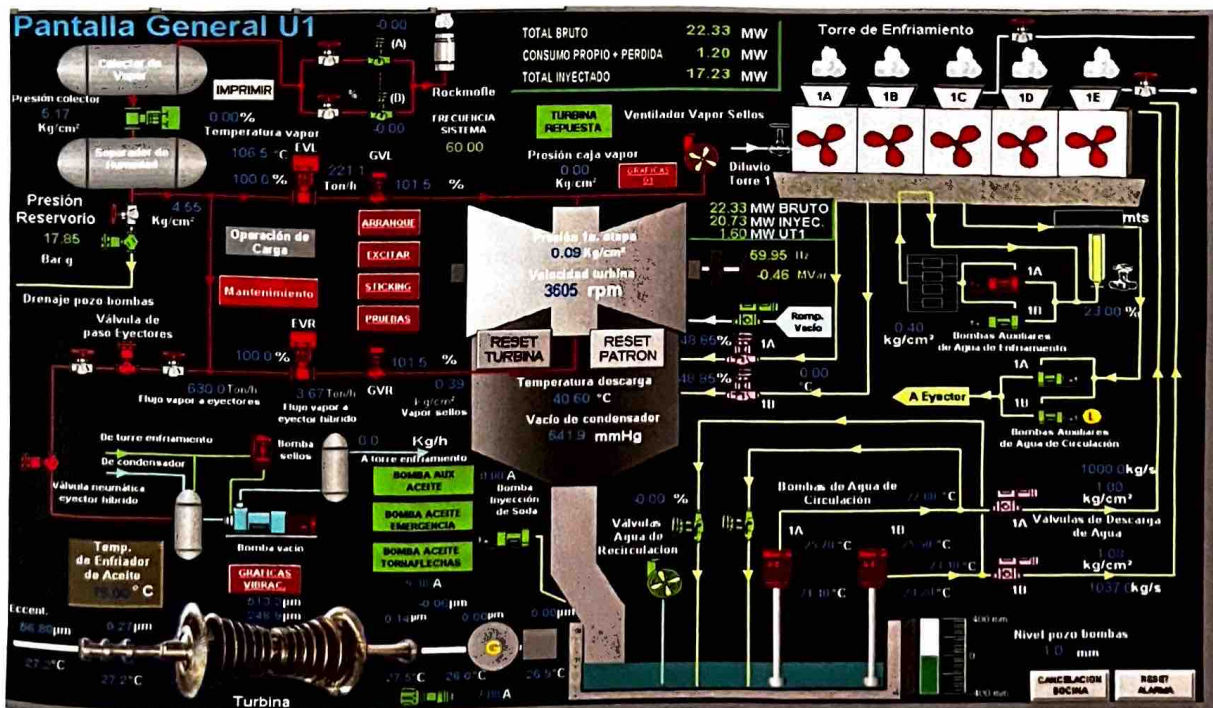


Imagen 113: Pantalla general donde servirá para la puesta en marcha de la unidad.

5.5 Procedimiento de arranque de unidad 1.

- * Previo al arranque y puesta en marcha de todos los equipos auxiliares tomar en cuenta que antes de cerrar el programa deben estar fuera de servicio todos los equipos y cerradas todas las válvulas, a excepción de las válvulas, rompimiento de vacío y válvulas de descarga del colector hacia el silenciador o rock mofle de lo contrario hacerlo manualmente para que al abrir el programa nuevamente lo allá guardado de esa forma y pueda iniciar desde cero el arranque nuevo.

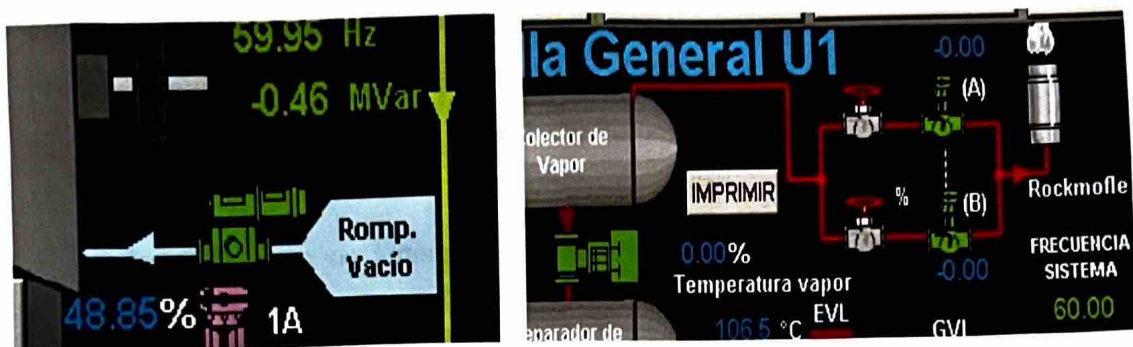


Imagen 114: Válvulas rompimiento de vacío y válvula descarga hacia silenciador.

Arranque de unidad 1:

En página sistema de aceite.

1. Poner en servicio, extractor de vapor, tanque de aceite.

En pantalla general.

2. Poner en servicio bomba auxiliar de aceite.
 3. Poner en servicio bomba auxiliar de agua de enfriamiento.
 4. En botón de arranque, protección de Turbina, presionar reset turbina.
- * Verificar que donde dice turbina repuesta aparezca en verde.
5. Poner en servicio bomba de aceite torna flecha.
 6. Poner en servicio torna flecha.
 7. Cerrar válvula de rompimiento de vacío.
 8. Arranque bomba de sellos.
 9. Arranque, bomba de vacío y esperar el vacío alcance 450 mmHg.
 - Verificar que las válvulas del colector estén en automático.
 10. Abrir válvula de paso de vapor a eyectores.
 11. Abrir válvula neumática eyector híbrido cuando alcance los 450mmHg.

12. Arranque, bomba de agua de circulación "A" o "B".
 13. El vacío llegará a 650 mmHg, Poner en servicio bomba de auxiliar de aceite.
 14. Sacar de servicio torna flecha.
 15. Poner fuera de servicio bomba de aceite torna flecha.
- * Verificar que las válvulas de entrada al condensador estén regulando el nivel, abriendo aproximadamente de 40% a 50%.
- * La válvula de descarga de agua dará indicación de que está abriendo y cambiará a color morado, Eso indica que ya debería estar cayendo agua en torre de enfriamiento.
16. En el botón de arranque, pulsar permisivo de arranque, y verificar las condiciones de arranque de la turbina 1 que se encuentren todas en color rojo, eso indica que ya está lista para dar arranque a la turbina.
 17. Presionar el botón de arranque, velocidad de arranque, presionar encender y luego presionar ejecutar; las válvulas GVL y GBR comenzarán a abrir por completo (son las válvulas de entrada a la turbina).
 18. Cuando las válvulas de entrada a la turbina se encuentren abiertas completamente, empezarán abrir las válvulas de gobernación.
- La turbina empezará a girar hasta tomar la velocidad de primer calentamiento en 500 RPM, esto por el tiempo que dé en segundos en la ventana modo de arranque.
19. Mientras la turbina está en el primer calentamiento, poner en servicio la segunda bomba de circulación.
 20. Al finalizar el tiempo de arranque, la turbina tomará la velocidad nominal.
 21. Verificar que el modo de excitación este en automático si no pasar en automático para que al llegar a la velocidad nominal de 3600 RPM excite en automático, esto en el botón excitar.
 22. Mientras, la turbina toma la velocidad nominal, que son 3600 RPM. Poner en servicio los ventiladores de la torre de enfriamiento.
 23. Cuando la turbina alcance velocidad de sincronismo a 3600 RPM y el generador tenga a la salida los 13.8 KV esta lista para sincronismo.
 24. Sincronizar U1.
 25. Solicitar autorización a la UT (unidad de transacciones) permiso para sincronizar la U1.
 26. Tomar carga en el botón gris operación de carga verificando si hay suficiente presión de entrada a turbina, hasta alcanzar la nominal de 30 MW.

5.6 ¿El simuladore operacionales para qué sirven?

El proyecto de simulador operacional para etapas de operación de una central geotérmica servirá a los estudiantes de la universidad para comprender y experimentar el funcionamiento de una central geotérmica en un entorno seguro y controlado. El simulador, basado en algoritmos matemáticos y una arquitectura SCADA, permitirá a los estudiantes modelar y analizar subsistemas, lo que facilita el aprendizaje práctico y la aplicación de conocimientos teóricos. Esto les preparará mejor para las futuras fases de desarrollo y operación de campos geotérmicos, como se indica en los esquemas básicos de desarrollo. La experiencia práctica es crucial en la formación de ingenieros en este campo.

Preguntas relacion

Los simuladores operacionales son aquellos sistemas a través de los cuales podemos experimentar y entrenarnos en el funcionamiento de procesos determinados. Dichos simuladores emplean modelos matemáticos o de otro tipo que reproducen el comportamiento de esos procesos, así como:

- interfaces hombre-máquina conectadas con un controlador del proceso, dinámicas que nos permiten movernos por el sistema y modificar las distintas variables operativas en tiempo real, a medida que el sistema evoluciona.
- En el entorno aeroportuario, los simuladores operacionales son sistemas muy utilizados ya que sirven para el entrenamiento de personal y pruebas de seguridad de procesos.

Un simulador es un conjunto de equipos:

- Sistemas de adquisición de datos.
- Herramientas informáticas.
- Modelos matemáticos.
- Personas que manejan y toman decisiones.
- Instalaciones o laboratorios de ensayos físicamente representados.

Todos estos elementos están coordinados para que una persona o varias personas entrenadas en la operación, mando o control de un sistema complejo, puedan desarrollar de forma segura, rentable y útil para su formación, adiestramiento o investigación.

Adicionalmente, el término simulador abarca todos los grados formativos o de entrenamiento de los dispositivos que contemplan niveles de sofisticación variables y más complejos. Los simuladores pueden representar e imitar tantos sistemas físicos reales mediante la instrumentación con verdaderos dispositivos tipo cockpit, mandos, pantallas, equipos de comunicación o sistemas

de armamento.

En nuestro caso es igual la aplicación ya que este simulador es una herramienta didáctica, con sistema de adquisición de datos, tiene modelos matemáticos muy bien estructurados y reproduce el comportamiento de una máquina de generación geotérmica de 30 MW con controlador de proceso dinámica que permite moverse por todo el sistema y modificar algunas variables operativas en tiempo real a medida que se esté operando un equipo o poniendo en servicio la unidad.

Es una interacción hombre-maquina y servirá para entrenar y formar estudiantes de ingeniería eléctrica capaces de operar procesos de generación geotérmica entre otros similares se realizará manejo del equipo y serán capaces de tomar decisiones con un buen criterio de operación.



Imagen 115: Entrenamiento con simulación.

5.7 ¿Qué función tiene los simuladores actualmente?

El papel de los simuladores en la actualidad

El desarrollo científico-técnico requiere, cada vez más, de la utilización de técnicas de validación que permitan ensayar lo creado previamente a su aplicación práctica. Los laboratorios de investigación de las principales entidades, tanto empresariales como universitarias, amplían sus recursos ofreciendo instalaciones complejas integradas, para que sus experimentos tengan aplicabilidad directa. El desarrollo e implantación de líneas de investigación de ingeniería multidisciplinarias en un marco de colaboración internacional, laboratorio común, interdisciplinar,

implica la utilización de instalaciones experimentales complejas e integradas. Estas instalaciones son utilizadas como elementos de investigación del programa y la colaboración.

En el mundo, aún falta que se desarrolle una cultura de la simulación adecuada a la calidad del trabajo que se viene desarrollando en otros campos, y probablemente porque dicha simulación no está basada en fórmulas, sino que se sirve de elementos matemáticos que no todo el mundo maneja. La cultura que se ha generado con respecto a los simuladores en ingeniería ha sido un tema, que ha ido evolucionando desde hace muchos años, y más concretamente desde que en España, hace dos o tres lustros, se generalizó su utilización en el campo de los sistemas.

La capacitación profesional mediante simuladores ha mostrado una tendencia creciente en los últimos años, obteniendo resultados muy positivos. Resalta el caso de la aviación, donde los simuladores arrojan resultados invaluable como fase previa a la fase de control bajo condiciones reales, porque permiten la formación de pilotos desde el mismo momento en que se sientan en el asiento por primera vez. Desde el punto de vista de la operación y emergencia, resulta más real al cien por ciento a una catástrofe potencial y, sobre todo, puede ser realizado en un corto periodo de tiempo que permite a sí mismo una rápida modificación para la corrección en un ambiente seguro. La simulación no es entrenamiento, es un ambiente en el que el entrenamiento puede ocurrir. La capacitación profesional con simuladores se centra en la preparación para asumir responsabilidades que requieren conocimiento previo y habilidades o destrezas específicas, las cuales no se deben adquirir manipulando únicamente en la realidad. Por ejemplo: detectar una falla en la turbina en una central generadora conectada a red de transmisión por medio del generador, cómo instaurar maniobras de recuperación para evitar salir de línea o disparar la maquina y en qué condiciones entre otras habilidades. Es un desafío en equipo, inserto en sus funcionalidades, la posibilidad de entrenar en línea que permite a los usuarios distantes en tiempo y espacio realizar las propuestas de casos críticos y llevar a cabo sus discusiones en tiempo real o diferido. Una de las tareas post simulación sugeridas es comparar sus casos de fallas y sus conclusiones.

En nuestro caso funcionará como una implementación de líneas de investigación y también un adiestramiento operativo y emergente resultando real ante cualquier falla la respuesta de cualquiera que lo esté operando.

Por último, nos queda hablar del impacto social y ético de los simuladores. Son múltiples los beneficios que se pueden observar en este aspecto. A nivel educativo, la disponibilidad de simuladores en red liberaría de ciertos conflictos a la hora de realizar determinadas prácticas, como

el número de intentos o la asunción de riesgos. Con ello, no se percibiría el efecto de pérdida de oportunidades de aprendizaje o habilidades, incrementándose la competición entre los estudiantes. Además, los simuladores en red potenciarían un aprendizaje más autónomo y autodirigido. El papel del instructor se desplazaría en mayor medida de la transmisión de información y la resolución de problemas a la orientación y supervisión, lo que supondría un importante beneficio para la eficiencia del proceso formativo.

Estos sistemas permiten realizar pruebas destructivas o peligrosas sin poner en riesgo la vida de las personas y la operatividad de las máquinas y equipos.

Un tipo especial de simuladores son los simuladores virtuales que se apartan de la reproducción electrónica de circuitos y entornos, para recrear el funcionamiento de un sistema real mediante un modelo concreto de simulación formativa. Estos modelos de simulación están constituidos por un conjunto de ecuaciones matemáticas relacionadas con las leyes de funcionamiento del sistema modelizado, que, mediante un software específico, simulan el comportamiento real del sistema en un determinado espacio, tiempo y contexto, como es el caso del presentado en este proyecto.

5.8 ¿Qué beneficios tiene un simulador?

5.8.1 El papel y los beneficios de los simuladores en la educación y la formación.

En general, la evidencia científica sobre la eficacia de los simuladores, aunque no es definitiva, muestra que suelen ser equiparables o superiores a los métodos tradicionales de formación. Eso sí, la eficacia de un simulador depende de un diseño adecuado que permita alcanzar los objetivos de aprendizaje.

Los simuladores son uno de los métodos de enseñanza más efectivos y modernos; con ellos es posible estudiar distintos fenómenos, como la utilización de máquinas controladas con computadoras y simular sistemas regidos por leyes físicas. Además, es un medio eficaz para probar y comparar medidas teóricas sin poner en peligro la integridad física del estudiante y el ambiente. Se favorece, además, el proceso y se potencia el aprendizaje activo, facilitando que los estudiantes sean más receptivos hacia la instrucción y obtengan un entendimiento más profundo de la información. Además, la instrucción práctica motiva a los estudiantes e incrementa la autoeficacia percibida, sugiriendo que son capaces de conducir la tarea con éxito, lo que puede traducirse en un mejor desempeño cuando se apliquen a situaciones futuras. Es evidente que los simuladores son una de las herramientas educativas coherentes con la teoría de la instrucción programada.

Así, al relacionar el e-learning, es posible indicar que uno de los elementos básicos del mismo

radica en la habilidad de enlazar la posibilidad de simular situaciones, personas y acciones alrededor del entorno capacitante-pedagógico, donde en este caso hablamos de los mundos inmersivos virtuales. La posibilidad que estas tecnologías brindan para interactuar con objetos y personajes desde el entorno que proporciona un VLE, vincula los temas propuestos en el entorno real y las actividades basadas en esta teoría pedagógica.

El incremento en la demanda energética está llevando a que cada vez adquiramos más compromiso con energías renovables de mayor impacto ambiental como la energía geotérmica. Actualmente, la producción mundial de esta fuente de energía es de aproximadamente 70,000 MW de potencia eléctrica, repartida en 23 países; el país referente es Estados Unidos con 3,000 MW de producción, seguido actualmente por Filipinas (2,500 MW) e Indonesia (1,900 MW); sin embargo, al ser esta tecnología muy específica se requiere de un grado elevado de conocimiento y formación, a través de programas especializados, para los profesionales con el fin de reducir riesgos y costes no previstos a lo largo de las plantas. Igual de importante es que los estudiantes que puedan desarrollar, por primera vez en su formación, esta especialización, tengan las mismas oportunidades y recursos para el aprendizaje. Si a esto sumamos la problemática relacionada con los factores que afectan a la explotación y diseño específico de cada planta, del lugar de implantación y de la disponibilidad del fluido geotérmico, entendemos que las oportunidades y recursos para afrontar el problema son muy limitados, escogiendo siempre entre unos problemas y otros aceptando un nivel de formación deficiente; con el problema y el costo que esto conlleva.

Por todo esto, la educación, especialización y formación de los profesionales del sector eléctrico tiene un papel fundamental en este ámbito. Para suplir las necesidades formativas de los profesionales del sector, algunos centros de formación superior y universidades ofrecen títulos de posgrado en dicha especialidad en países de mundo desarrollado. A modo de conocimiento, en España, dos son los principales centros que ofrecen este tipo de titulaciones: la Universidad de Comillas y la Universidad de La Laguna. En ambos centros, la formación se imparte por profesionales de experiencia en el sector, las fuerzas de trabajo están principalmente centradas en el diseño, percepción y entendimiento del recurso geotérmico, por lo que, por problemas de competitividad y tiempo, los alumnos dispondrán de un repertorio muy limitado de plantas en las que desarrollar su práctica específica es por ello la gran necesidad de los simuladores.

A continuación, se presentan algunos beneficios de trabajar con simuladores como recurso educativo y formativo:

Permiten el desarrollo de las habilidades relevantes del puesto. La simulación que conlleva el trabajo con un simulador permite a los participantes desarrollar todas las habilidades necesarias del puesto con el que se estén formando. Permiten la experimentación y el desarrollo del conocimiento con un coste bajo, totalmente eliminado con respecto a los elementos con los que se estaría trabajando. La retroalimentación puede darse de una manera instantánea y ajustada de manera precisa, dependiendo del criterio establecido. La motivación: suelen ser entornos novedosos que incentivan la participación y proporcionan un mayor motivo para la concentración y el esfuerzo. Se mejora el uso del tiempo, al no verse perdido por la utilización de equipamiento delicado que ha de ser bien manipulado desde el principio o por dificultades ocasionadas por otros condicionantes.

La aceptación de este tipo de herramientas ayuda a la mejora continua del trabajador. El error no supone un peligro como sí significaría en una situación real, por lo que el usuario se va a atrever a hacer cosas en la simulación que jamás haría en un entorno real. También debe ser tenido en cuenta el deseo de recibir una retroalimentación crítica pero constructiva, lo que debería afirmar este deseo de recibir información. Permite obtener una situación de desempeño mínimamente favorable, dado que todo lo que haga el sujeto tanto cognitiva como motóricamente tiene un reflejo en el entorno virtual.

5.9 ¿Qué es un simulador digital?

Un simulador digital para procesos de generación es una herramienta informática que permite reproducir virtualmente los procesos de producción y analizar su comportamiento.

5.9.1 Qué se entiende por simulación de procesos industriales?

La simulación de procesos industriales se define como el uso de modelos informáticos para probar virtualmente los métodos y procedimientos de fabricación, incluidos procesos como la producción, el montaje, el inventario y el transporte.

Una simulación imita el funcionamiento de los procesos o sistemas del mundo real con el uso de modelos. El modelo representa los comportamientos y las características clave del proceso o sistema seleccionado, mientras que la simulación representa cómo evoluciona el modelo en diferentes condiciones a lo largo del tiempo.

Por ejemplo, un ingeniero de producción puede necesitar saber cómo afectará a la producción el aumento del caudal en un intercambiador de calor o en el condensador. Una simulación de procesos puede demostrar este cambio en un software basado en la nube a través de una interfaz web, dando

al ingeniero la confianza de que los ajustes serán beneficiosos con lo podemos probar en el simulador cerrando una válvula de entrada de agua al condensador.

Las simulaciones suelen estar basadas en el ordenador y utilizan un modelo generado por un software para apoyar las decisiones de los gestores e ingenieros, así como con fines de formación. Por otro lado, las técnicas de simulación facilitan la comprensión y la experimentación, ya que los modelos son visuales e interactivos.

Además, incluyen la simulación de eventos discretos, la simulación de procesos y la simulación dinámica.

En definitiva, las empresas pueden utilizar todos estos sistemas en diferentes niveles de la organización. Esto reduce en gran medida el tiempo y los costes que supondrían las pruebas físicas de un sistema de fabricación.

El software de simulación puede utilizarse para predecir el rendimiento de un sistema de fabricación planificado y comparar soluciones para cualquier problema descubierto en el diseño del sistema como el disparo de la bomba del sistema híbrido en nuestro simulador, la alarma nos indica la falla y nos da tiempo de dar solución o arranque si es viable.

Esto hace que la simulación de procesos industriales sea una capacidad bastante competitiva, ya que permite a los fabricantes probar una serie de escenarios antes de comprar herramientas, reservar capacidad o coordinar otros costosos recursos de producción.

Al utilizar el software de simulación para determinar exactamente lo que se necesita, el fabricante puede evitar problemas durante la producción, reduciendo al mismo tiempo los desperdicios y las repeticiones.

5.10 ¿Qué tipo de software es el simulador?

El simulador FactoryTalk® View es un software de interfaz hombre-máquina (HMI) que proporciona soluciones para la programación y operación de dispositivos como los Panel View Plus. Este software se destaca por su versatilidad y capacidad de comunicación, así como por incluir un simulador que permite la prueba de aplicaciones.

5.11 ¿Dónde se utiliza la simulación ejemplos?

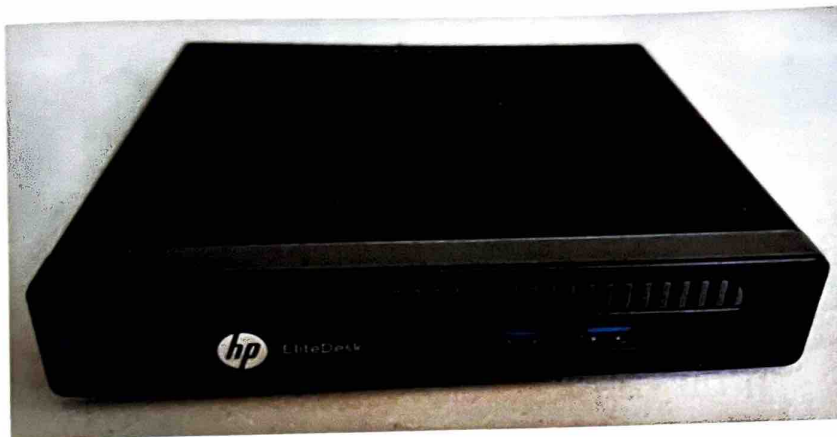
En procesos industriales secuenciales tales como el presentado en nuestro simulador, que se inicia desde el arranque de la bomba de enfriamiento, luego bomba de lubricación, puesta en marcha de sistema de extracción de gases, hasta la sincronización del generador a la red nacional de transmisión.

Conclusiones y Recomendaciones

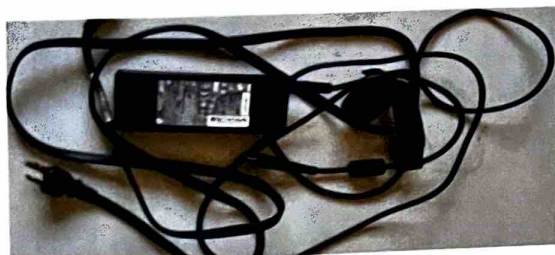
- Los resultados obtenidos, una vez validado el simulador, permiten confirmar lo esperado, obteniéndose resultados coherentes, denotando que el simulador desarrollado cumple con el objetivo de haber construido un ambiente digital para simular los cambios dinámicos de los principales parámetros de desempeño en un proceso real de generación de energía geotérmica.

- Lo anterior significa que dicho simulador se podría utilizar como herramienta para la verificación de nuevos diseños, al tener la posibilidad de introducir recintos o perturbaciones externas al generador, y usarlo indistintamente para propósitos de instrucción, administración del parque geotérmico, obtener valores de set points óptimos para el control feedback o proposición de algoritmos de nuevo cálculo para el cierre de lazo controlador.

- Como futuras líneas de investigación y desarrollo del simulador, se proponen las siguientes áreas de mejora a realizar, focalizándose en los tres principales componentes:
 - Aplicabilidad de Generación a plantas varias.
 - Mejora de etapas a simular o agregar etapas futuras.
 - Ampliar o modificar los parámetros de protección en turbina como los de Bently Nevada.
 - Ampliar o modificar los parámetros de protección eléctrica del generador como es incluir los reles 51, 32, 51N, etc.



Anexo 1: Mini PC compacta HP Elite Desk.

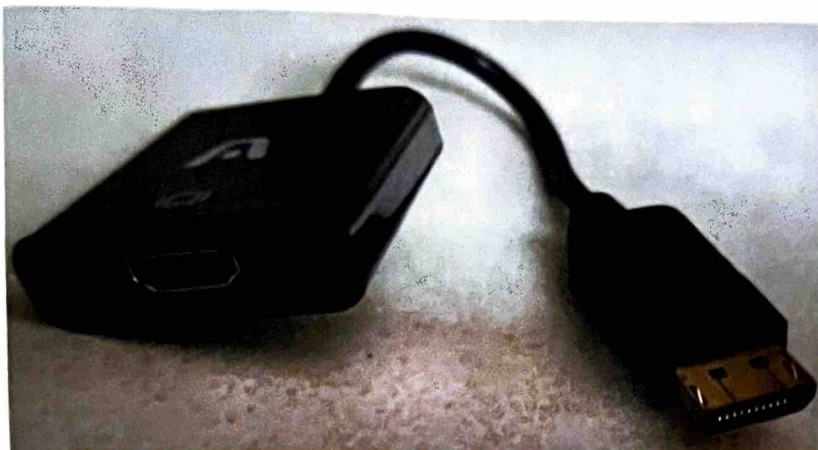


Anexo 2: Especificaciones técnicas del Adaptador CA, con 1.6 A de 90 W



Anexo 3: Cable HDMI (Interfaz Multimedia de Alta Definición).

- Adaptador de video DisplayPort a HDMI. Este adaptador permite conectar una fuente de video con salida DisplayPort a una pantalla o proyector que tenga entrada HDMI.



Anexo 4: Adaptador de video DisplayPort a HDMI.



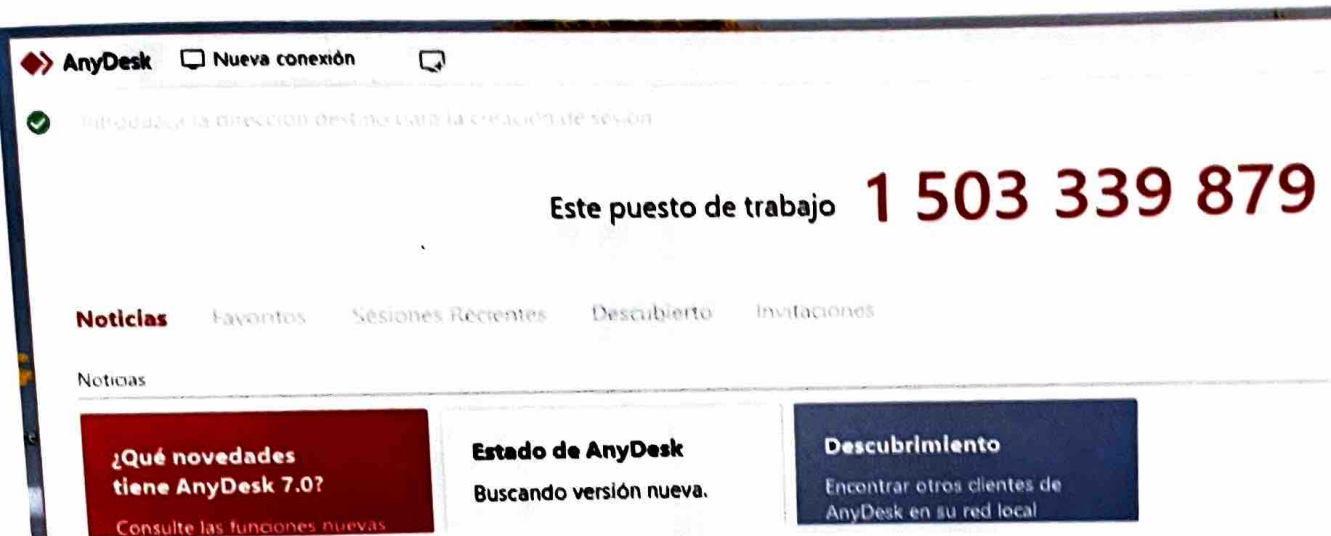
Anexo 5: Monitor táctil



Anexo 6: Adaptador AC para monitor táctil.



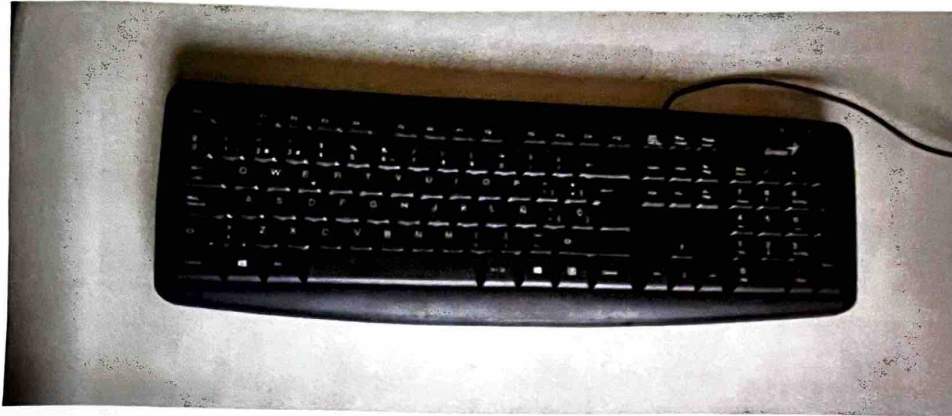
Anexo 7: Cable de red o cable Ethernet.



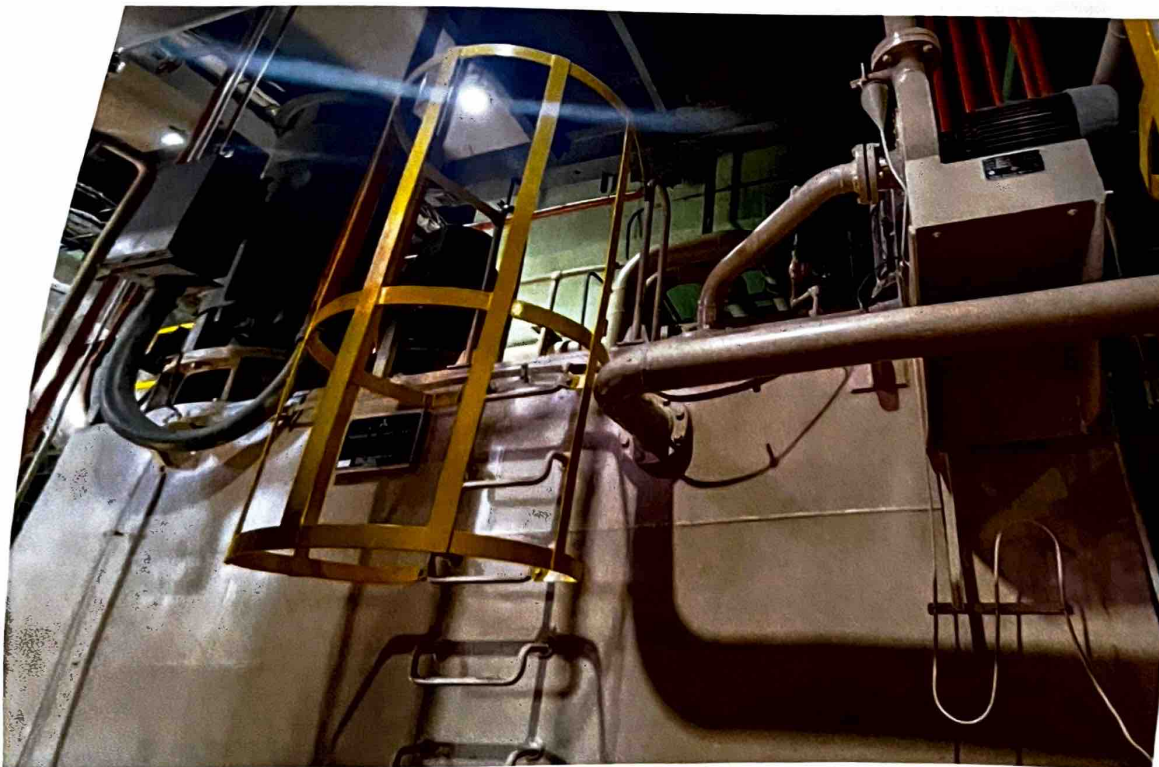
Anexo 8: AnyDesk software de escritorio remoto.



Anexo 9: Raton para mover el cursor en la pantalla.



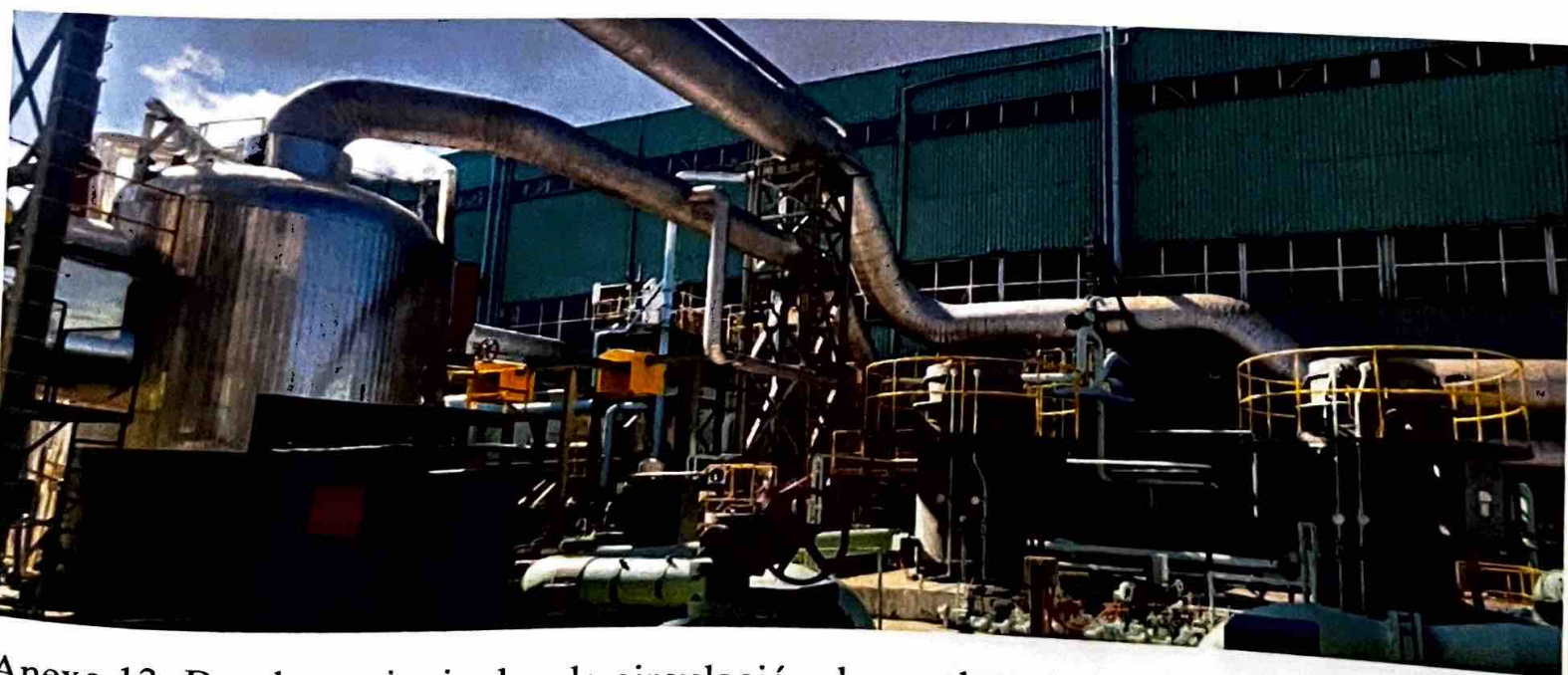
Anexo 10: teclado



Anexo 11: Consola de aceite U1 con sus respectivos equipos principales.



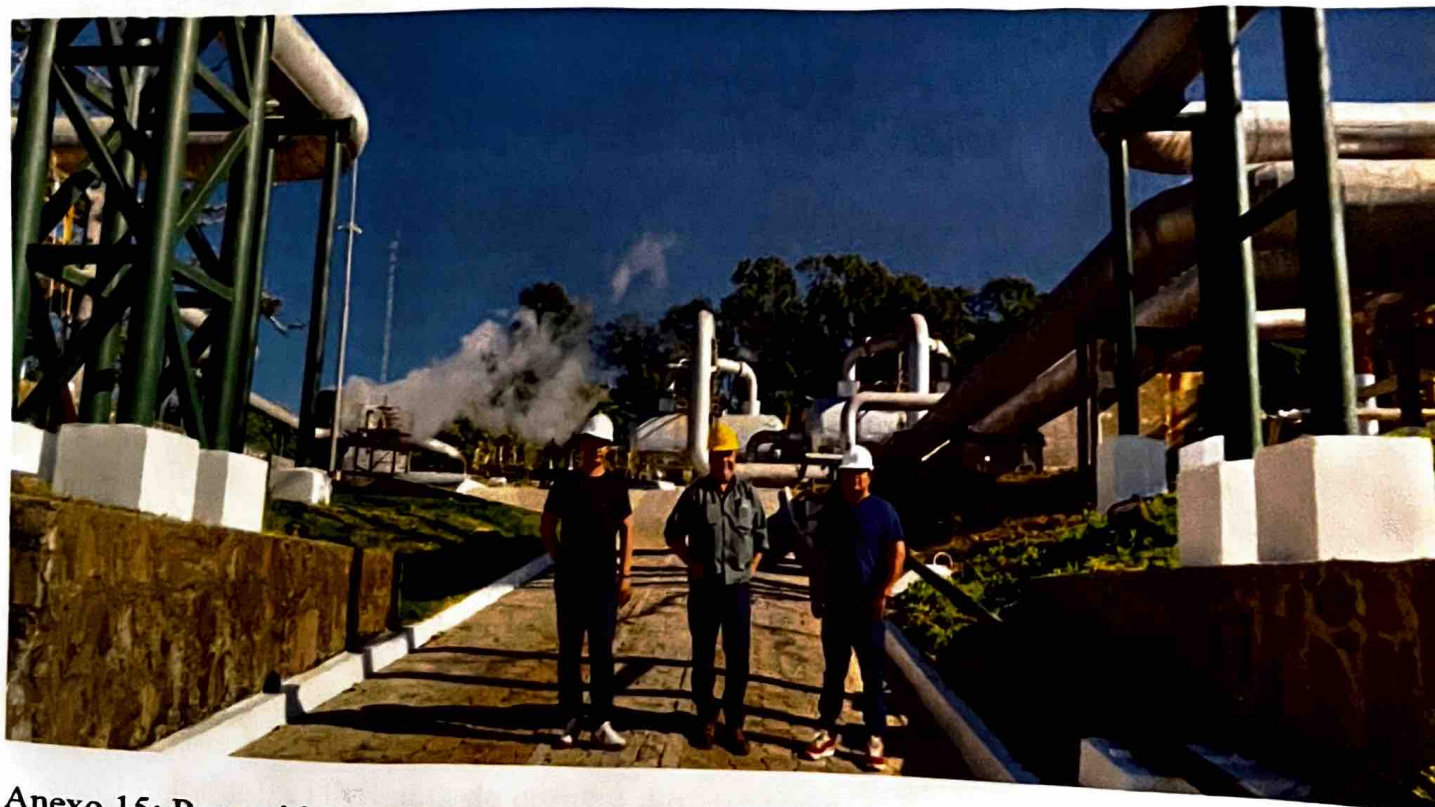
Anexo 12: Sistema híbrido de extracción de gases no condensables.



Anexo 13: Bombas principales de circulación de condensado y Demister



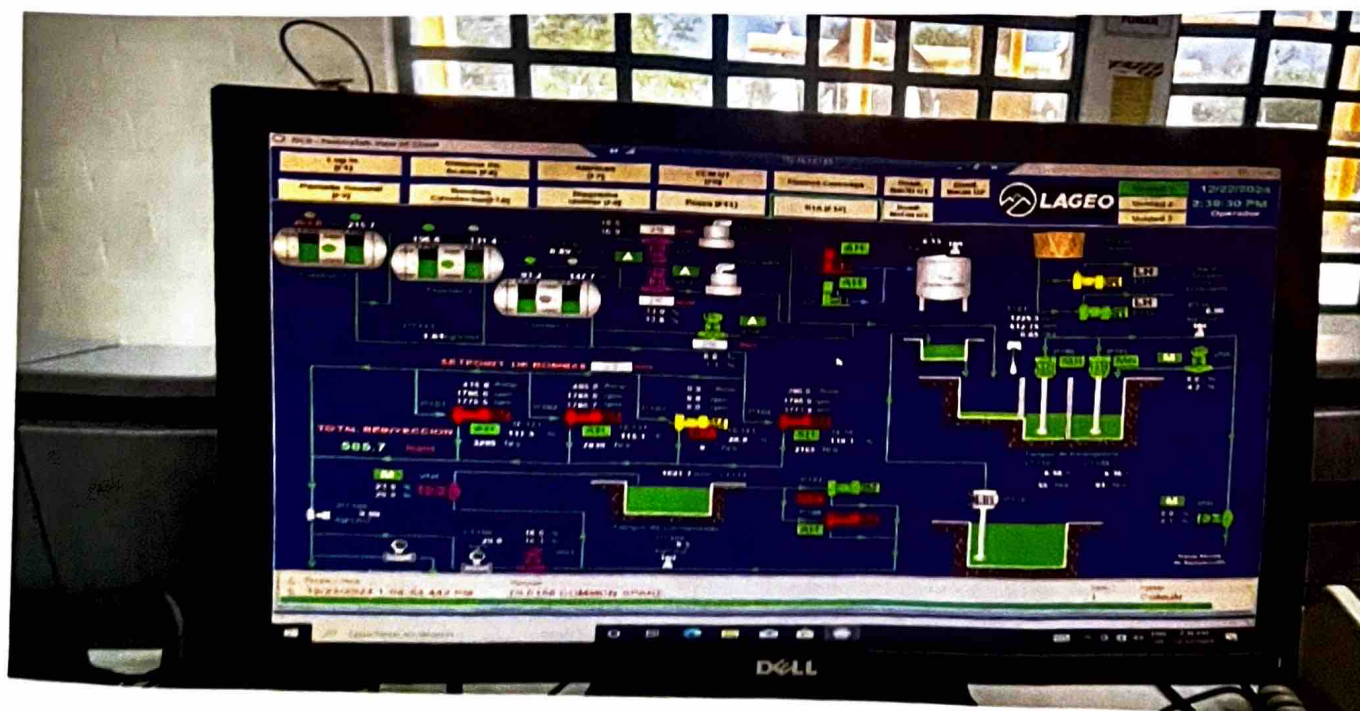
Anexo 14: Torre de enfriamiento de condensado.



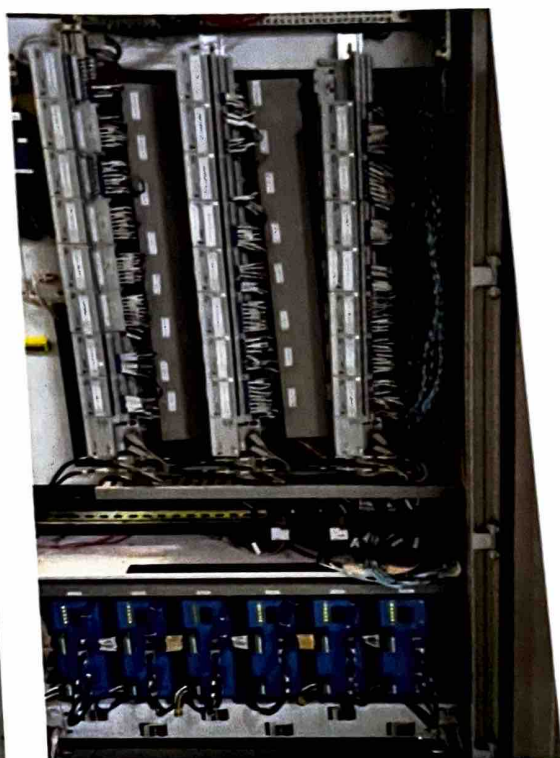
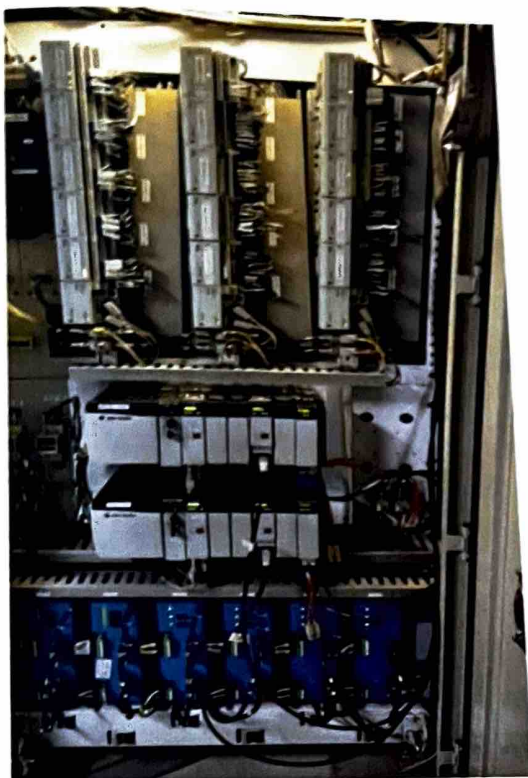
Anexo 15: Recorrido a colectores de vapor



Anexo 16: Transformador reductor de 13.8 KV a 4.16 KV.



Anexo 17: Pantalla HMI sala de control Ahuachapán.



Anexo 18: PLC ALLEN BRADLEY controlador U1.

Need help? Call Us 435 673 5455 [I My Account](#)

 [Search](#)  [My Cart](#)

[Shop By Category](#) [Products](#) [TouchScreens](#) [TouchComponents](#) [Tools](#) [Hardware](#) [Contact Us](#)

Thank you for your order. Please keep this confirmation for your records.

Order # 02104
Date 06/18/2015 11:17 AM PST

SHIP TO:
Felipe Santos
11025 Bismarck Pl
Cooper City FL 33026 US
feli@santosx.com
954 665 1118

BILL TO:
Felipe Santos
11025 Bismarck Pl
Cooper City FL 33026 US
feli@santosx.com
954 665 1118

Qty	Part #	Description	Unit Price	Total Price	Shipping
1	QV222D-A2-48PQ	21.5 Inch PCAP Touch Monitor, USB, VGA+HDMI, Tilt Stand	\$125.00	\$125.00	Shipping: UPS Ground \$32.36
					Sales Tax: \$0.00
					Total: \$458.05

Payment: MasterCard (5428 01)

Anexo 19: Factura de Pantalla Táctil.



Anexo 19: Entrevista a operador sala de control.



Anexo 20: Sala de control Ahuachapán.



Anexo 21: Entrevista operador de campo.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

DISEÑO Y ELABORACION DE UN SIMULADOR PARA ETAPAS DE OPERACIÓN DE UNA CENTRAL GEOTERMICA																													
ITEM	ACTIVIDAD	AÑO 2024																								AÑO 2025			
		JUL				AGO				SEP				OCT				NOV				DIC				ENE			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	Visita técnica a Central Geotérmica de Ahuachapán	■	■																										
	a) Proceso conceptual de operación																												
	b) Componentes principales y auxiliares																												
	d) Reconocimiento y levantamiento instrumentación																												
2	Visita técnica a Central Geotérmica San Vicente			■																									
	a) Proceso conceptual de operación																												
	b) Componentes principales y auxiliares																												
	d) Reconocimiento y levantamiento instrumentación																												
3	Visita técnica a Central Geotérmica de Berlín			■	■																								
	a) Proceso conceptual de operación																												
	b) Componentes principales y auxiliares																												
	d) Reconocimiento y levantamiento instrumentación																												
4	Elaboración de documento					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
	a) Recopilación de información																												
	b) Estructura de documentación																												
	c) Digitado																												
	d) Revisión																												
	e) Impresión de tomos																												
5	Construcción de simulador																	■	■	■	■	■	■	■	■				
	a) Conformación de arquitectura																												
	b) Elaboración de lógicas de control																												
	c) Programación simulada de PLC virtual																												
	d) Pruebas de fundonamiento operativo																									■	■	■	■

PRESUPUESTO

No.	DESCRIPCIÓN	VALOR (US\$)
1	Monitor táctil	\$ 458.05
1	CPU compacto	\$ 300.00
1	Copias de manuales	\$ 50.00
1	Transporte y combustible visitas	\$ 100.00
1	Papelería	\$ 70.00
1	Impresiones de ejemplares	\$ 300.00
	Subtotal	\$ 1478.05
	Imprevistos (10%)	\$ 215.00
	TOTAL	\$ 1,693.05

GLOSARIO

1. **Diferencia de potencial:** Se define como el cambio de energía potencial de una carga q desplazada de A hacia B, dividido entre la carga. Las unidades de diferencia de potencial son julios por culombio, el conocido término voltaje es el nombre común de la diferencia de potencial eléctrico.
2. **Conductor eléctrico:** Material que ofrece poca resistencia al movimiento de la carga eléctrica.
3. **Trabajo eléctrico:** Alteración de la energía eléctrica a otra forma o viceversa.
4. **Generador eléctrico:** Dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos (llamados polos, terminales o bornes) transformando la energía mecánica en eléctrica.
5. **Mediciones eléctricas:** Métodos, dispositivos y cálculos usados para medir cantidades eléctricas.
6. **Energía:** Se define como la capacidad de realizar un trabajo.
7. **Fluido:** Materia compuesta por moléculas que se atraen entre sí a través de una fuerza de atracción muy débil.
8. **Vapor saturado:** es un tipo de vapor que se produce cuando el agua se calienta hasta su punto de ebullición y se evapora con calor adicional.
9. **Yacimiento Geotérmico:** Zona del subsuelo donde se puede aprovechar el calor interno de la Tierra para generar energía.
10. **Condensador:** Es un cambiador de calor latente que convierte el vapor (en estado gaseoso) en vapor en estado líquido, también conocido como fase de transición.
11. **Presión de vapor:** La presión de vapor es la presión que ejerce la fase gaseosa o vapor sobre la fase líquida en un sistema cerrado a una temperatura determinada,
12. **Turbinas de vapor:** Es un equipo térmico de flujo, que extrae la energía térmica del vapor y la convierte en trabajo mecánico en un eje giratorio. La energía térmica en una turbina se convierte en energía cinética al expandir el vapor en su interior.
13. **Ciclo binario:** proceso que se utiliza en las centrales geotérmicas para generar electricidad, el fluido geotérmico se utiliza para vaporizar, mediante un intercambiador de calor, un segundo líquido (que suele ser Isobutano o isopentano), con una temperatura de ebullición más baja que la del agua.

14. **Hidrotermales:** Hidrotermal es un adjetivo que se refiere a procesos, sustancias y fenómenos naturales vinculados a agua caliente.
15. **Roca sello:** Es una roca con baja porosidad e impermeable que actúa como barrera para evitar que los fluidos contenidos en los yacimientos se escapen o pasen. Las lutitas, las evaporitas, la anhidrita o la sal son ejemplos de rocas sello.
16. **Fumarolas:** Es una abertura en la superficie terrestre que emite gases y vapores de un volcán o de un flujo de lava.
17. **Ciclo Rankine:** Es un proceso termodinámico que se utiliza en las centrales termoeléctricas para generar energía.
18. **Isobutano:** Es un hidrocarburo con la fórmula química C_4H_{10} que se utiliza en diferentes aplicaciones, como refrigerante, combustible, propelente para aerosoles y en la fabricación de caucho:
Como refrigerante, se utiliza en heladeras domésticas, heladeras de refrigeración comercial pequeñas y máquinas expendedoras.
Como combustible, se utiliza en aplicaciones especiales.
19. **Isopentano:** El isopentano, también conocido como metilbutano o 2-metilbutano, es un líquido incoloro, desodorizado y extremadamente inflamable. Su fórmula química es C_5H_{12} .
20. **Tubería de perforación:** Es un tubo tubular de acero y está equipado con un extremo roscado especial llamado junta de herramienta.
21. **Barrenas triconos:** Son herramientas utilizadas en la perforación de pozos geotérmicos para realizar agujeros de gran diámetro en roca dura.
22. **Entalpia:** Es la cantidad de energía que un sistema termodinámico intercambia con su medio ambiente en condiciones de presión constante.
23. **Temperatura:** Es una magnitud física que mide el grado de calor o frío de un cuerpo o del ambiente. Se define como la energía cinética promedio de las partículas de una sustancia, ya sea gaseosa, líquida o sólida.
24. **Flujo axial:** Es un término que se refiere al movimiento de un fluido o gas en paralelo al eje de rotación.
25. **Separador de humedad geotérmico:** es un dispositivo que separa el vapor del agua geotérmica, que es una mezcla de vapor y agua que se extrae de un reservorio geotérmico.
26. **Sistemas de eyectores:** es un dispositivo que separa el vapor del agua geotérmica, que es

una mezcla de vapor y agua que se extrae de un reservorio geotérmico.

27. **Vapor de sello:** reutilización del vapor que se inyecta en los cojinetes de la turbina, con el objetivo de evitar que el aire entre en el sistema de vacío.

28. **Indicadores de desempeño energético:** Medidas cuantitativas que permiten monitorear, controlar y supervisar el rendimiento energético de una organización.

29. **Centrales hidroeléctricas:** Es una instalación que genera electricidad a partir de la energía cinética del agua en movimiento. Se construyen en ríos y embalses, y funcionan aprovechando el ciclo hidrológico.

30. **Centrales térmicas:** Es una instalación industrial que genera energía eléctrica a partir de la combustión de combustibles fósiles o del calentamiento de un fluido.

31. **Centrales Geotérmicas:** Una central geotérmica aprovecha el calor de las profundidades de la Tierra para producir electricidad renovable.

32. **Central boca pozo:** Las unidades de compresión en boca de pozo son dispositivos que reducen la presión en las tuberías y evitan la contrapresión, que puede impedir la producción.

33. **Feedback:** O retroalimentación, es la comunicación de una opinión o punto de vista sobre un producto, servicio, persona o experiencia. Su objetivo es mejorar y tomar decisiones informadas.

34. **Set point:** Se refiere comúnmente a un punto de ajuste utilizado en varios contextos, como en calefacción y control de temperatura. En español, se traduce como "punto de ajuste".

BIBLIOGRAFÍA

Martínez Mercuri, J. (2011)

En su trabajo titulado "Proyecciones de la capacidad máxima teórica de Insee durante enero del 2011", Martínez Mercuri realiza un análisis detallado sobre el potencial teórico de generación energética de Insee en dicho periodo. Este estudio fue desarrollado en el Centro de Energía Renovable (CERE) de la Universidad Nacional de Misiones, Argentina. Además, el documento es citado en la publicación "Geotermia" del Servicio Nacional de Geología y Minería del Gobierno de Chile (Sernageomin), lo que refuerza su relevancia en el ámbito del estudio geotérmico. La información está disponible en línea y corresponde al sistema analizado.

Ángel Pérez García (2017)

La tesis doctoral de Ángel Pérez García, "The Effect of Shading on Photovoltaic Systems", aborda el impacto que tiene la sombra sobre el rendimiento y la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos. Este trabajo contribuye a comprender y optimizar la generación de energía solar, considerando factores externos que pueden afectar la producción.

Ballesteros Molina, Julciel Ariel (2019)

El estudio titulado "Estudio comparativo de Ecuaciones de Estado y Modelos Térmicos Empíricos Aplicados a Simuladores de Plantas Geotérmicas" de Julciel Ariel Ballesteros Molina compara diferentes ecuaciones de estado y modelos térmicos empíricos en el contexto de simuladores para plantas geotérmicas. Este documento, realizado como tesis de maestría en el Instituto Costarricense de Electricidad y la Universidad Nacional, es parte de la Red Geotérmica de las Américas, aunque no ha sido publicado.

Rapopa Rividez, M. A. (2016)

Rapopa Rividez presenta la "Metodología de Análisis de Proyectos de Empleo de las ENF sin NDT en Redes Eléctricas para la Toma de Decisiones en la Empresa de Diseño, Movimiento de Carga". Este trabajo propone métodos para el análisis y la toma de decisiones en proyectos eléctricos, centrándose en redes donde no se emplean NDT (Normas de Diseño Técnico) y se busca optimizar el movimiento de carga.

Arzate, A.; Flores, M. (2018)

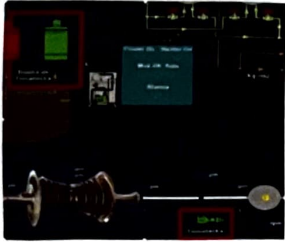
En el documento "Simulador de Centrales Geotérmicas, un enfoque académico en la enseñanza de operación de Sistemas de Generación de Energía", Arzate y Flores presentan un enfoque educativo para la operación de sistemas de generación energética en el contexto geotérmico. Este trabajo fue expuesto en las Jornadas Académicas 2018 del Instituto Tecnológico de Morelia, mostrando la importancia de los simuladores como herramienta didáctica en la formación técnica y académica.

PRACTICA #1 DE LABORATORIO

Arranque de la unidad.

Condiciones previas:

- Si la unidad se encuentra por más de 8 horas en reposo será necesario con 4 horas anticipadas al arranque, que el mecanismo de giro (tornaflecha) se encuentre en operación y por ende la bomba que alimenta de aceite al tornaflecha (seleccionadas con el recuadro rojo).



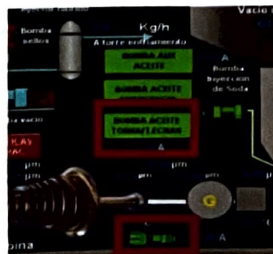
- Arrancar bomba agua auxiliar de enfriamiento del circuito cerrado 1A o 1B dando clic en la bomba saldrá la ventana de arrancar luego ejecutar y cambiará de verde a rojo el estado de la bomba, indicando que se encuentra en servicio.



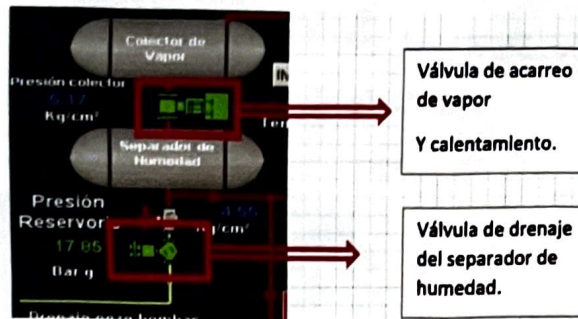
6. Procedimiento para puesta en operación de mecanismo de giro

- a) Arrancar bomba de aceite lubricante de tornaflecha
- b) Arrancar motor eléctrico de tornaflecha

En la pantalla general U1 se encuentran los arrancadores de ambos equipos como se muestra en la imagen seleccionados por el recuadro rojo, al estar en servicio cambiara el estado a rojo:

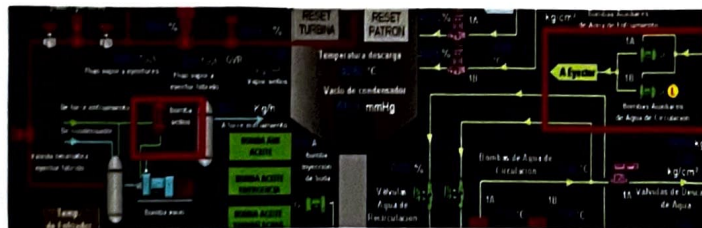


- Transcurridas las 4 horas de operación de tornaflecha, proceder a calentar paulatinamente las tuberías de acarreo de vapor de colector hasta válvulas de admisión turbina, abriendo los drenajes respectivos para evitar condensaciones de vapor, cuando la temperatura de las tuberías alcance los $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, abrir completamente la válvula de alimentación de vapor a la turbina y cerrar válvulas de drenajes (en este caso solo representada por la válvula de drenaje demister).

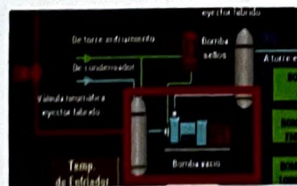


Arranque de eyector híbrido

- Arrancar bomba auxiliar A o B de agua de circulación y bomba de sellos para lubricación cojinete de bomba de vacío, indicados en recuadros rojos.



- Arrancar bomba de vacío como se indica en el recuadro rojo y espera que el estado cambie de verde a rojo, indicando que se encuentra en servicio.



- Cerrar válvula solenoide de rompimiento de vacío de condensador esperar que el estado cambie de rojo a verde indicando que está cerrada (de color verde).

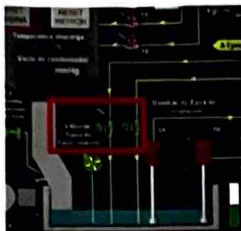


- Arranque de bomba de circulación de condensado “A” o “B”

a) Verificar que válvulas neumáticas de entrada de agua al condensador se encuentren en modo automático.



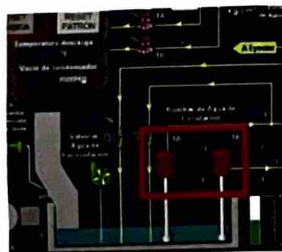
b) Verificar que válvulas de agua de control de nivel de pozo se encuentren en modo automático y el controlador se encuentre en consigna cero (0).



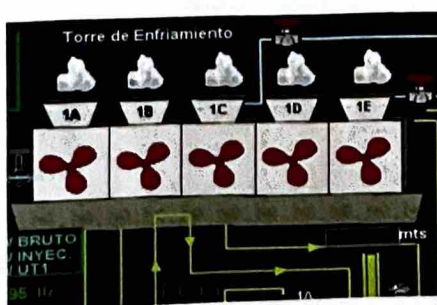
c) Presión de vacío en el condensador sea igual o mayor a 500 mmHg, esto se hace con la finalidad de que el agua proveniente de la torre de enfriamiento sea succionada por gravedad hacia las entradas de agua al condensador.



d) Arranque de bomba A o B de agua de circulación de condensado.

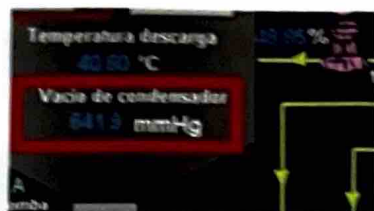


e) Arrancar secuencialmente los cinco ventiladores de la torre de enfriamiento



■ ARRANQUE DE TURBINA

- a) Verificar que la presión en el condensador sea de 650 mmHg.



- b) Arrancar bomba auxiliar de aceite desde página principal o desde sistema de aceite.



- c) Arrancar extractor de gases de consola de aceite desde pantalla de sistema de aceite.



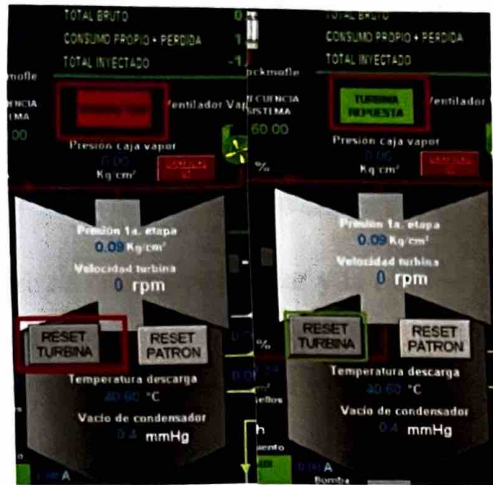
- d) Colocar el set point de temperatura de aceite en 45 °C para la regulación de la válvula de enfriamiento de aceite y pasar en automático.



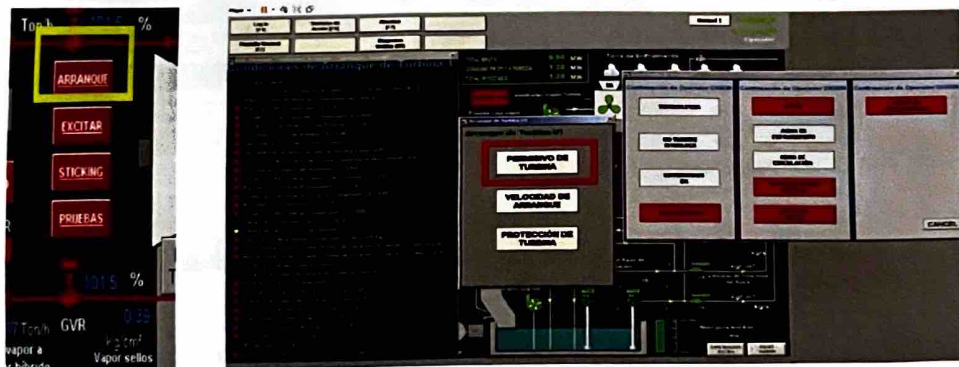
- e) Sacar de operación bomba de aceite de toma flecha.



- f) Reset mecánico en panel de turbina se encuentra en el condensador y cambiara el estado de TURBINE TRIP A TURBINA REPUESTA EN COLO VERDE, esto indica que si repuso y esta lista para el arranque.



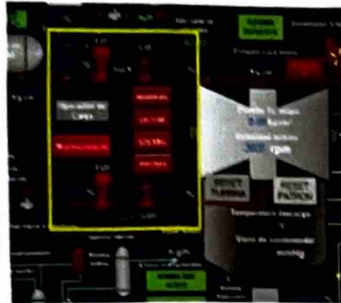
- g) En el HMI abrir pantalla de permiso arranque turbina y verificar que todas las condiciones estén habilitadas, en rojo indica que todas las condiciones se han cumplido.



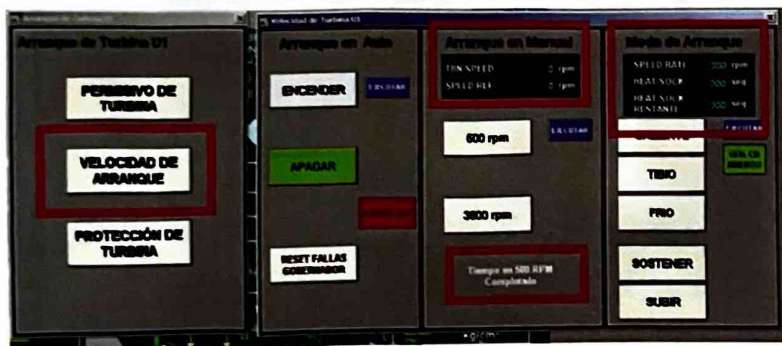
- h) En el HMI proceder con botón velocidad de arranque y se desplegará pantalla de arranque clic en **RESET DE GOBERNADOR** luego clic en **ENCENDER**, **EJECUTAR** como se muestra encerrado en recuadro rojo a continuación.



- i) En el mímico de HMI verificar que las válvulas de gobernación lleguen a posición abierto al 100% las 4 válvulas encerradas de color amarillo.



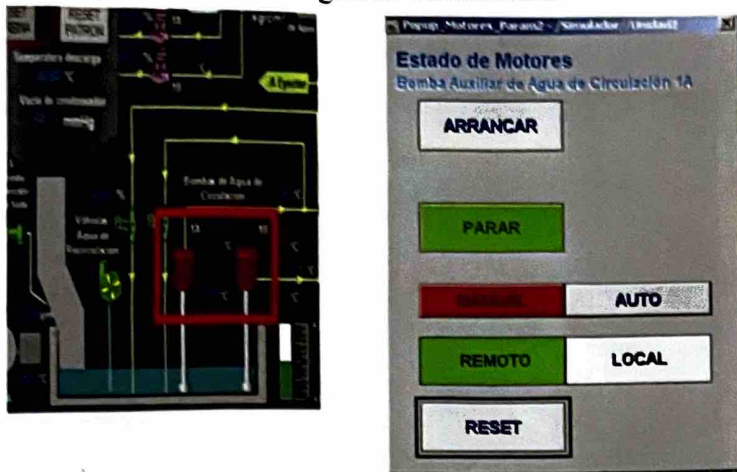
- j) La turbina empezará a rodar y la turbina alcanzará una velocidad de calentamiento de 500 rpm y permanecerá durante 30 minutos (el tiempo se puede observar en el **modo de arranque** en la parte de arriba dado en seg.), la velocidad se puede observar que va aumentando en la parte de arriba de **arranque en manual**, una vez el tiempo de primer calentamiento se cumpla muestra la indicación en la parte de debajo **de arranque manual**, he indica **completado**.



- k) Transcurrido los 30 minutos automáticamente la turbina llegará a velocidad nominal de 3600 rpm y la bomba auxiliar de aceite saldrá de servicio y el aceite de lubricación y control estará suministrado por una bomba que mecánicamente se encuentra acoplada al rotor.

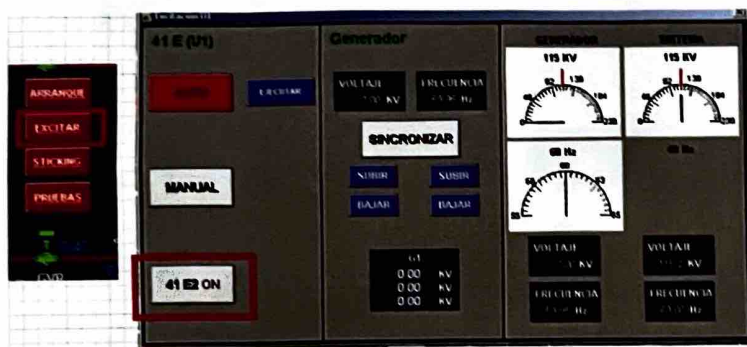


- l) Arrancar la segunda bomba de agua de circulación.



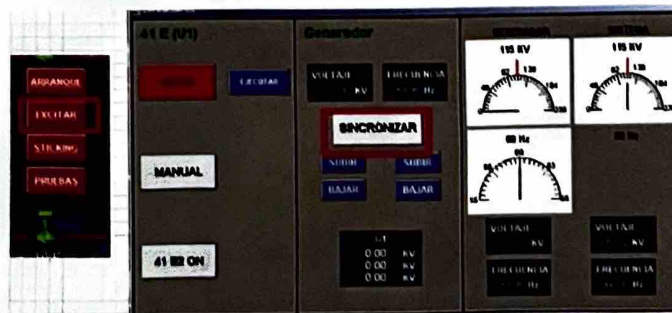
SISTEMA DE EXCITACIÓN O CIERRE DE INTERRUPTOR DE CAMPO.

- m) Cerrar manual el interruptor de campo (41E), verificar que el generador en ese instante llega a 13.8 kV, si el control de excitación está en automático cerrara el interruptor al tener el 95% de la velocidad nominal (3400 RPM).



SINCRONISMO DE LA UNIDAD

- n) Habilitado el sincronismo en automático al presionar SINCRONIZAR Cerrara el interruptor del generador 52 G y quedara en línea la unidad regulada la frecuencia y el voltaje con la red de transmisión.



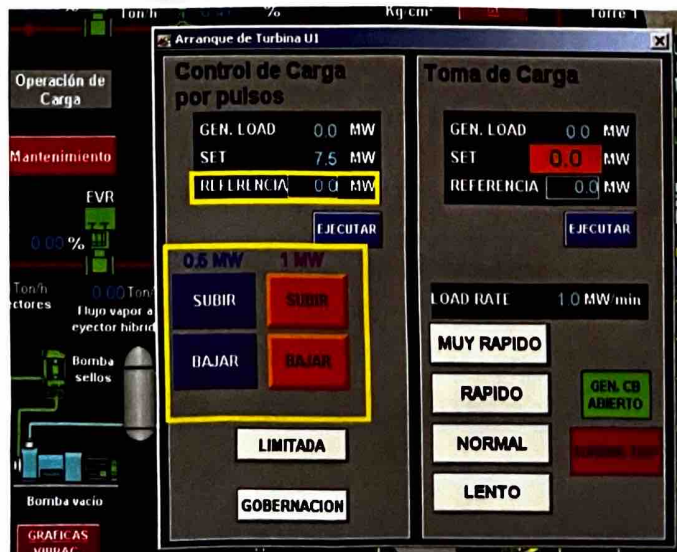
En la pantalla **diagrama unifilar** se puede apreciar el cierre del interruptor y los parámetros del generador, voltaje, corriente, frecuencia, voltaje reactivo etc.



- o) Después del sincronismo la unidad automáticamente toma carga hasta un valor de 4.00 MW, eso se puede observar en la pantalla general, el botón de **Operación de carga**, despliega una ventana donde se puede ver el control y la toma de carga.



- p) Luego con la disponibilidad de vapor el operador toma la carga hasta llegar a los 30 MW.



PRACTICA #2 DE LABORATORIO

Monitoreo de variables críticas.

1. La presión de lubricación es crítica para la operación el turbo- generador, ya que con ella entre 1.80 bar y 3.0 bar, se garantiza su lubricación evitando daños en los cojinetes (daño del Babbitt).
 - Simular el paro de la bomba de lubricación.
 - Cambiar en el controlador el valor de presión forzando el valor a uno menor para observar el comportamiento de las bombas en espera.
2. El enfriamiento del aceite es crítico por que sin el se calienta el aceite que lubrica y a la vez enfría el turbo- generador provocando sobrecalentamiento en los cojinetes.
 - Simular disparo de una bomba de enfriamiento de aceite,
 - Cambiar en el controlador forzando el valor de temperatura para observar el efecto y las alarmas.
3. El buen funcionamiento de los ventiladores de la torre de enfriamiento es crítico ya que se relaciona muy estrechamente con el enfriamiento del condensador y por ende la perdida de vacío, sin enfriamiento la eficiencia de la turbina se va perdiendo hasta provocar un disparo de toda la unidad generadora.
 - Simular el disparo de uno o mas ventiladores, observar el comportamiento del vacío y las alarmas,
 - Observar el comportamiento de la máquina hasta estar en valores de disparo por alta temperatura en el condensador y perdida de vacío.
4. Alto nivel en pozo de bombas es crítico ya que provocara un disparo de la unidad mas no de las bombas de circulación, la máquina se protege para evitar un choque térmico si el nivel sube hasta la turbina y las bombas tendrían que seguir evacuando el alto nivel.
 - Simular apertura de las válvulas de entrada de agua al condensador al 100% para observar el efecto.
 - Simular cierre de una válvula descarga de las bombas de circulación para observar el efecto,
 - Observar las alarmas que resultan.
5. Baja presión de vapor es crítico ya que el vapor es el combustible para que la unidad se mantenga generando adecuadamente (30 MW) sin vapor pierde carga y si es súbito, se dispara la máquina.
 - Simular cierre de la válvula principal de vapor.
 - Simular apertura de las válvulas de control de presión en el colector, colocando una consigna mas baja a 5.0 Kg/cm² en el PID.
 - Observar las alarmas.

PRACTICA #3 DE LABORATORIO

Diagnóstico de fallas.

1. Observa detenidamente el sistema y su funcionamiento normal.
Identifica las partes principales y cómo se relacionan entre sí para lograr su funcionamiento.

2. Introduce una falla o problema en el sistema, por ejemplo, un disparo de un equipo, un cierre o apertura de una válvula, etc.
Asegúrate de que la falla sea lo suficientemente evidente para que puedas identificarla fácilmente.

3. Intenta identificar la causa de la falla. Pregúntate:
¿Por qué se produjo esta falla?
¿Qué elemento o componente falló?
¿Fue una falla mecánica, eléctrica estructural?
¿Es necesario, dispara la maquina o se puede recuperar en línea?

4. Analiza las consecuencias de la falla.
¿Cómo afecta la falla al funcionamiento de la maquina?
¿Qué elementos se ven comprometidos?
¿Qué riesgos se derivan de la falla?

5. Propón una solución para reparar la falla.
Evalúa cuáles son las opciones de corrección disponibles y escoge la más adecuada.
Asegúrate de tener en cuenta el costo, la facilidad de implementación y la eficacia de la solución.

6. Verifica la solución propuesta.
Implementa la solución y verifica si es necesario volver arrancar equipos, turbina o incluso sincronizar.
¿Vuelve a funcionar de manera correcta?
¿Es necesario, realiza ajustes o mejoras adicionales?



MANUAL DE PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR PARA ETAPAS DE OPERACIÓN DE CENTRALES GEOTÉRMICAS.

PROCEDIMIENTOS:

1

“PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN”

2

**“ARRANQUE Y SINCRONISMO DE LA UNIDAD
GENERADORA”**

03 DE SEPTIEMBRE 2025

	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 2 de 37

Responsables de los Cambios al Procedimiento

Elaboración del Documento

Elaborado por:	Cargo	Área de Trabajo	Fecha	Firma
Dinora Reyes.	Tec. Ing. Eléctrica	Sector Eléctrico	08/09/2025	
Douglas Ortiz.	Tec. Ing. Eléctrica	Sector Eléctrico	08/09/2025	
Carlos Argueta.	Tec. Ing. Eléctrica	Sector Eléctrico	08/09/2025	

Revisión del Documento

Revisado por:	Cargo	Área de Trabajo	Fecha	Firma
Ing. Ortiz	Asesor de Tesis	UTLA	08/09/2025	

Verificación del Documento

Verificado por:	Cargo	Área de Trabajo	Fecha	Firma
Ing. Roosevelt	Secretario General	UTLA	08/09/2025	

Aprobación del Documento

Aprobado por:	Cargo	Área de Trabajo	Fecha	Firma
Ing. Wilfredo M	Responsable de laboratorios de Ingeniería Eléctrica	UTLA	08/09/2025	

	"Universidad Técnica Latinoamericana"	
Planta Geotérmica	"PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	Universidad Técnica Latinoamericana
	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR"	Pág.
	Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	3 de 37

Tabla de Contenido

1. Objetivos del Manual de Procedimientos.....	4
2. Alcance del manual de Procedimiento.....	4
3. Procedimiento de Inicialización.....	5
3.1 Configuración del hardware y software:	5
4. Arranque y sincronismo de la unidad generadora.....	20
Diagrama de Flujo del Procedimiento:.....	20
5. Descripción del Procedimiento:	21
5.1 Arranque de unidad generadora de simulador.....	21
5.2 Sincronismo de la unidad	32
6. Responsables del Procedimiento	35
7. Insumos del Procedimiento	35
8. Productos o Resultados del Procedimiento	35
9. Bibliografía	36
10. Anexo	36
11. Control de Cambios al Procedimiento.....	37

	"Universidad Técnica Latinoamericana"		
Planta Geotérmica	"PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"		Universidad Técnica Latinoamericana
	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador		Pág.
			4 de 37

1. Objetivos del Manual de Procedimientos

1. Proporcionar instrucciones detalladas y precisas para el correcto funcionamiento del simulador, permitiendo a los estudiantes, familiarizarse con el proceso y las interacciones de los equipos.
2. Enumerar las Instrucciones claras y precisas para la puesta en marcha del simulador y los distintos equipos que lo componen.

2. Alcance del manual de Procedimiento

Cubrir los aspectos necesarios para la operación segura y eficiente de las centrales geotérmicas durante sus diferentes etapas, desde la puesta en marcha hasta la operación normal.

	"Universidad Técnica Latinoamericana"	
Planta Geotérmica	"PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	Universidad Técnica Latinoamericana
	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR"	Pág.
	Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	5 de 37

3. Procedimiento de Inicialización.

3.1 Configuración del hardware y software: Configuración del hardware.

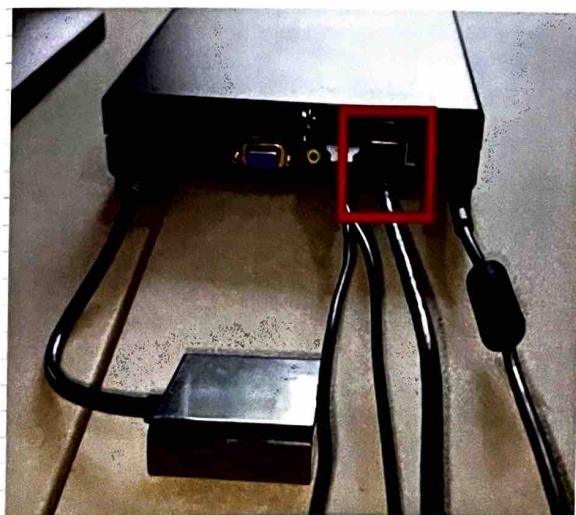
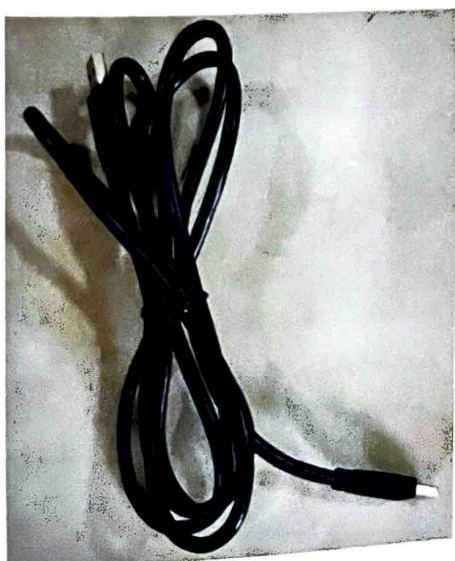
Pasos para la conexión del hardware.

Conexión de cada dispositivo.

- Conectar la fuente de alimentación a la computadora.



- Conectar el cable de pantalla táctil en el puerto USB.



	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	
Planta	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR"	Pág.
Geotérmica	Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	6 de 37

- Cable HDMI: El cable HDMI nos sirve para transmitir señales de audio y video digitales de alta calidad de forma simultánea, para ello utilizamos un adaptador o convertidor de VGA a HDMI, el cual nos permite conectar dispositivos con salidas de video desde nuestra computadora al monitor táctil.



Cable HDMI



Adaptador VGA-HDMI



PUERTO VGA en CPU.

- Conexión del ratón y teclado en los puertos USB de la computadora.



Mouse

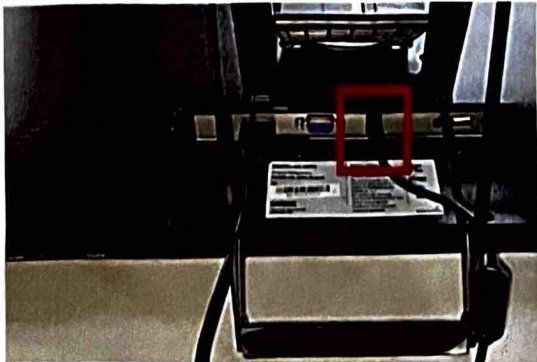


Teclado



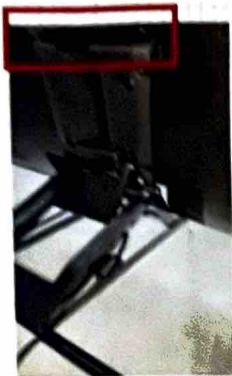
Conexiones puertos USB

- Conectar la fuente de alimentación correspondiente al monitor táctil.



	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 7 de 37

Para evitar que el soporte o base del monitor interfiera a la hora de realizar la conexión, ajustar mediante la pestaña mostrada a continuación, la cual permite ajustar la base y moverla según el ángulo requerido; esto da espacio abajo del monitor para poder realizar las conexiones.



- También se conectarán al monitor los cables para la comunicación táctil y el cable para la comunicación HDMI, como se muestra a continuación.



1. Después de tener conectado eléctricamente el servidor se procede a encender la CPU y el monitor para correr el software:



Pulsador encendido CPU



Pulsador encendido monitor

 Planta Geotécnica	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE" "PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	 Universidad Técnica Latinoamericana Pág. 8 de 37
---	---	---

Configuración del software.

- Al cargar el sistema operativo, se muestra el escritorio con los iconos de los programas, como en la primera imagen. La segunda imagen muestra el icono del enlace virtual que debes seleccionar para cargarlo.

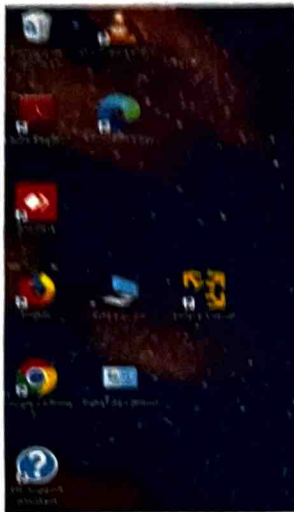


Imagen 1

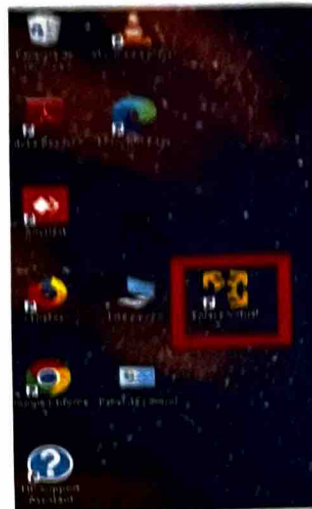
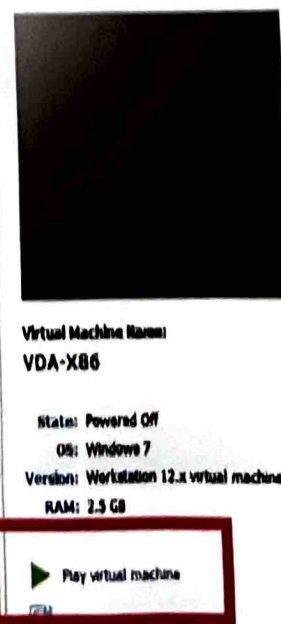
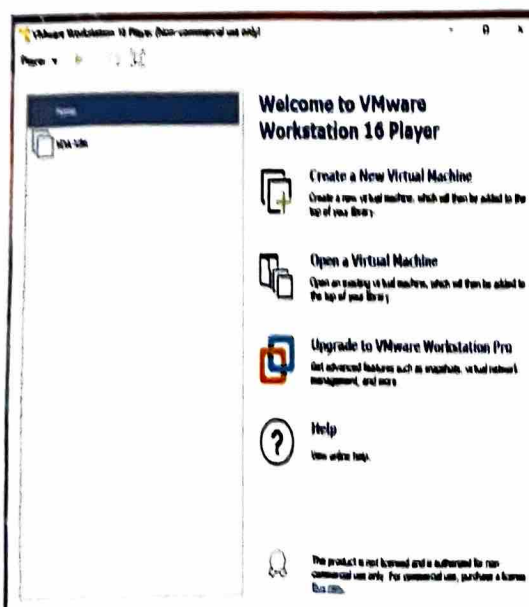


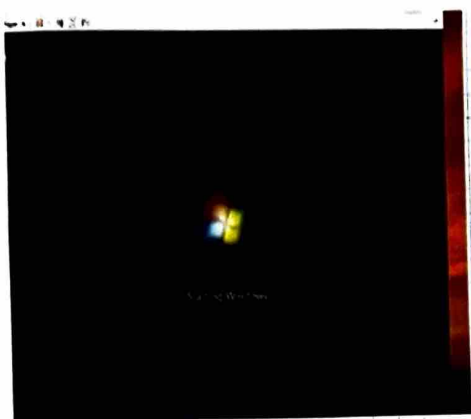
Imagen 2

- Haz clic en VDA-X86 en la ventana de enlace virtual y luego en Play virtual machine para acceder a la computadora virtual y ejecutar el simulador automáticamente.

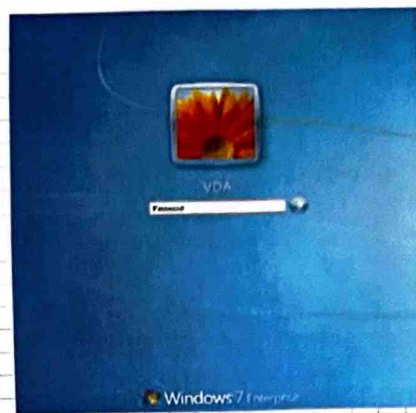


	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	 Universidad Técnica Latinoamericana
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 9 de 37

- Al seleccionar la opción "play", se inicia el proceso de arranque del sistema operativo en la máquina virtual, mostrando el mensaje "Starting Windows". Una vez en el escritorio, se solicitará la contraseña del usuario, la cual es: **Gamma**.

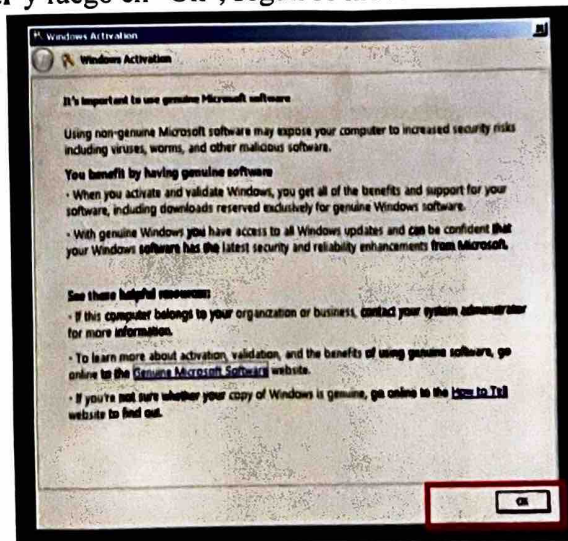
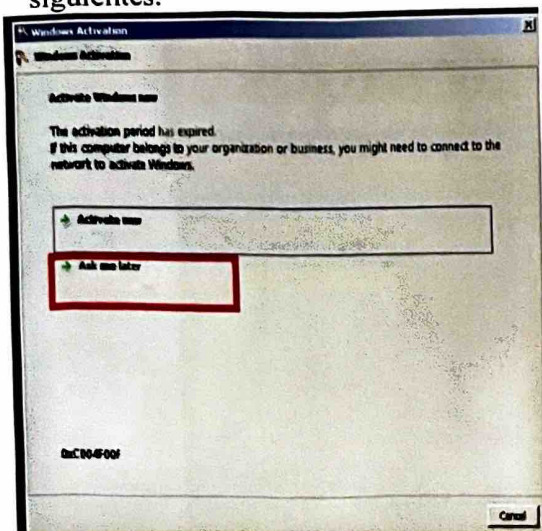


Arranque del sistema operativo



Escritorio virtual y usuario

- A continuación, aparecerán varias ventanas emergentes. Seleccione las opciones resaltadas en el recuadro rojo, haciendo clic en **Ask me later** y luego en "Ok", según se muestra en las imágenes siguientes.

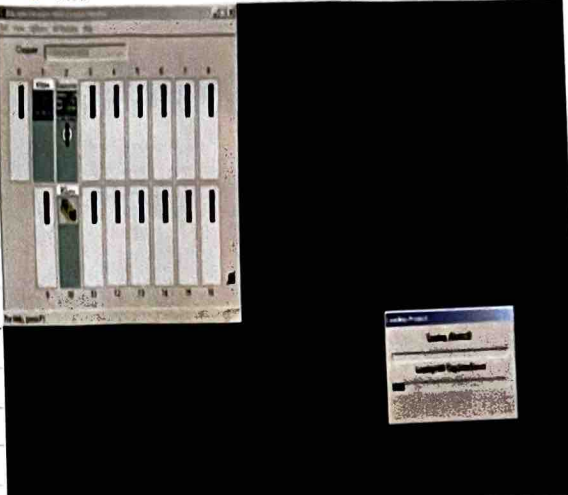


	“Universidad Técnica Latinoamericana” “PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE”	 Universidad Técnica Latinoamericana
Planta Geotérmica	“PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR” Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 10 de 37

- Comenzarán a cargar el software del HMI y el de programación que utiliza el simulador.



Software de Interfaz HMI



Software de PLC RSLogix 5000

- Una vez completa la carga de los programas de interfaz y PLC, se desplegará la siguiente pantalla, desde la cual será posible seleccionar las distintas opciones disponibles.



	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	
Planta	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR"	Pág.
Geotérmica	Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	12 de 37

Descripción de los dispositivos que se muestran en la pantalla general.



- Colector de vapor: recibe el vapor proveniente de los pozos productor.



- Separador de humedad: extrae las gotas de agua contenidas en el vapor.



- Rockmofle o Silenciador tipo roca: Minimiza el ruido al ambiente cuando hay descargas de vapor.



- Válvula de drenaje del separador de humedad: Apertura en automático con un ajuste de nivel de agua en separador de humedad no mayor de 3 cm.



- Válvulas A y B de control de presión del colector de vapor: Apertura en automático con un set point de presión en el colector de vapor no mayor de 6.5 barg.



- GVL (válvula de gobernanación izquierda): Al rearmar turbina abre automáticamente y al producirse un disparo cierra automáticamente.



- GVR (válvula de gobernanación derecha): Al rearmar la turbina, esta abre automáticamente y en un disparo cierra automáticamente.



- EVL (válvula de paro izquierda): apertura en automático con gobernanación de carga, velocidad y presión de entrada a turbina.



- EVR (válvula de paro derecha): apertura en automático con gobernanación de carga, velocidad de turbina y presión de entrada a turbina.



- Válvula de paso a eyectores: Permite el paso de vapor al sistema de eyectores.

	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	 Universidad Técnica Latinoamericana
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 13 de 37



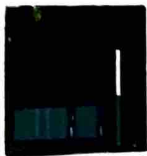
- Válvula neumática de entrada de vapor a eyector híbrido: Esta se abre en el simulador de forma manual a la hora de poner en servicio el sistema de eyectores para hacer vacío.



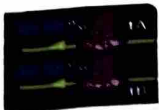
- Válvula de rompimiento de vacío: Se opera automáticamente al provocarse un disparo total por alto nivel del agua en el condensador, esta abre completamente para evitar el ingreso de agua.



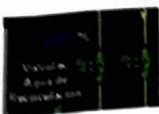
- Condensador de vapor: Condensa el vapor que ya hizo su trabajo en la turbina.



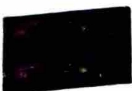
- Pozo de bombas de condensado: Mantiene el nivel del agua para mantener el sello de la presión de vacío.



- Válvulas de entrada de agua al condensador A y B: Estas regulan de manera automática la entrada de agua al condensador y son las que regulan el nivel del pozo de bomba.



- Válvulas de recirculación de agua: Estas se operan de forma manual cuando es necesario recircular el agua para que el pozo no quede sin nivel.



- Válvulas de descarga de agua condensada hacia las torres de enfriamiento: Estas válvulas abren en automático cuando arranca la bomba de circulación y son completamente abiertas.

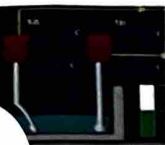


- Extractor de vapor de sellos de la turbina: Se da arranque manual dentro del proceso de arranque de la máquina.

	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	 Universidad Técnica Latinoamericana
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 14 de 37



- Bomba de inyección de soda cáustica: Su función principal es evitar que el agua condensada, con pH ácido, cause daños en la torre de enfriamiento; para ello, se neutraliza mediante la adición controlada de soda cáustica.



- Bombas principales de circulación de agua: Se encargan de bombear el agua hacia la torre de enfriamiento.



- B Bombas auxiliares de agua de enfriamiento: Se arrancan manualmente y enfrían el aceite, el cojinete superior de las bombas principales y el generador (agua-aire).



- Bombas para el sistema de eyectores: Estas bombas están destinadas exclusivamente a situaciones de emergencia, en caso de que ocurra una falla en el sistema híbrido de vacío de la máquina.



- Intercambiador de calor de placas: Enfría el agua que sirve de enfriamiento para el aceite.



- Bomba de sellos para eyector híbrido: Esta se arranca manualmente para realizar sello antes de dar arranque a la bomba de vacío.



- Bomba de vacío: esta se arranca de forma manual.

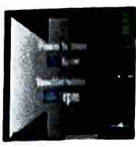


- Tanque de enfriamiento para gases no condensables: Enfría gases no condensables.

	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	 Universidad Técnica Latinoamericana
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 15 de 37



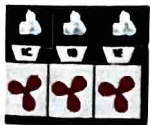
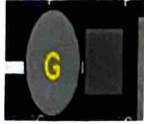
- Turbina: Recibe el vapor seco a presión y temperatura de operación para generar.
- Tornaflecha: Permite girar el motor de la turbina a baja velocidad durante la puesta en marcha y el periodo de parada.



- Escape de turbina: Simula el escape de la turbina.



- Generador: Convierte la energía mecánica en eléctrica.



- Ventiladores de torre de enfriamiento: Se arrancan de forma manual, después del arranque de las bombas de circulación.

Arrancadores para la puesta en marcha de todas bombas.

Estado de Motor

Bomba de Agua de Sellos

ARRANCAR

PARAR

REMOTO LOCAL

RESET

PopUp_Motores_Param2 - /Simulador/Unidad2

Estado de Motores

Bomba Auxiliar de Agua de Circulación 1A

ARRANCAR

PARAR

AUTO

REMOTO LOCAL

RESET

Estado de Motor

Ventilador Torre de Enfriamiento 1A

ARRANCAR

EJECUTAR

PARAR

REMOTO LOCAL

RESET

Todos los motores al pulsar ARRANCAR aparece el botón de EJECUTAR, esto para que no se operen por error y sirve para verificar con seguridad que el equipo a accionar es el requerido a poner en servicio.

	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"		 Universidad Técnica Latinoamericana
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador		Pág. 17 de 37

Descripción de los dispositivos que se muestran en la pantalla.



- Bomba de aceite de emergencia: Ante un disparo de turbina entra en automático por baja presión de aceite.



- El extractor de gases del tanque de aceite de lubricación se enciende manualmente al arrancar la máquina y permanece funcionando de forma continua, incluso si la máquina se detiene. Solo se apaga para mantenimientos mayores.



- Bomba auxiliar de aceite: Esta arranca en automático ante un disparo de la máquina.



- Purificadora de aceite del tanque de almacenamiento y suministro: Esta se pone en servicio de forma manual, para separar las impurezas del aceite, como residuos y humedad, esto evita daños en los cojinetes y sistema de control y gobernación.



- Válvula de salida de aceite: después que el aceite ha lubricado la turbina, esta abre para mantener la temperatura del aceite según el ajuste en el control, esto lo hace regulando su apertura en automático hacia los enfriadores y el aceite vuelve frío a lubricar la turbina nuevamente.



- Enfriador de aceite: Enfrian el aceite del sistema cuando ya hizo un ciclo en el proceso.



- Impulsor del gobernador: Funciona como un acumulador de aceite y mantiene la presión de esta.



- Tanque principal de aceite: Almacena el aceite para trabajo del turbogenerador.

	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"		 Universidad Técnica Latinoamericana
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador		Pág. 18 de 37

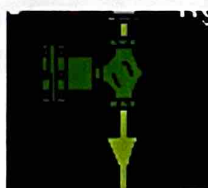
3. Consideraciones para la operación de válvulas y bombas.

Verificación de los componentes (válvulas, bombas con sus motores, controladores PID):

Todas las válvulas que no se controlan con PID (Control Proporcional Integral Derivativo), se hace en modo manual de la siguiente manera:

- Dar clic a la válvula que se va a operar
- Verificar que se encuentre en modo MANUAL.
- Seleccionar ABRIR o CERRAR dependiendo el caso.
- Seleccionar EJECUTAR para que obedezca el mando.

Una vez la orden se ejecute se podrá ver el resultado de cambio de color en la válvula, (rojo es abierta y verde es cerrada), como se indica en las imágenes siguientes.



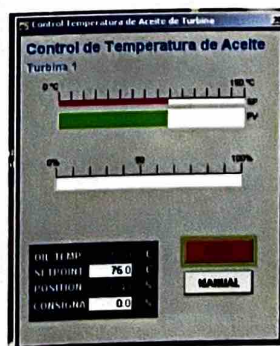
Para las válvulas controladas por PID:

Se tiene que colocar ajustes que controlen la válvula dependiendo el caso:

- Válvulas controladoras de nivel del condensador.
- Válvulas controladoras de temperatura de aceite de lubricación y control.
- Válvulas controladoras de presión del colector de vapor.

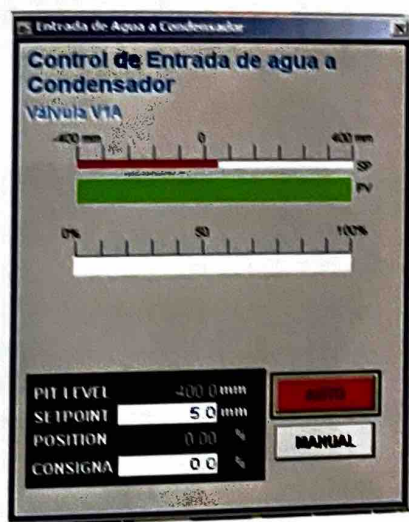
Estas se operan con los siguientes ajustes:

1. El ajuste de presión del colector debe estar en 5.5 Kg/cm²g.
2. El controlador de temperatura de aceite debe estar en 45°C.

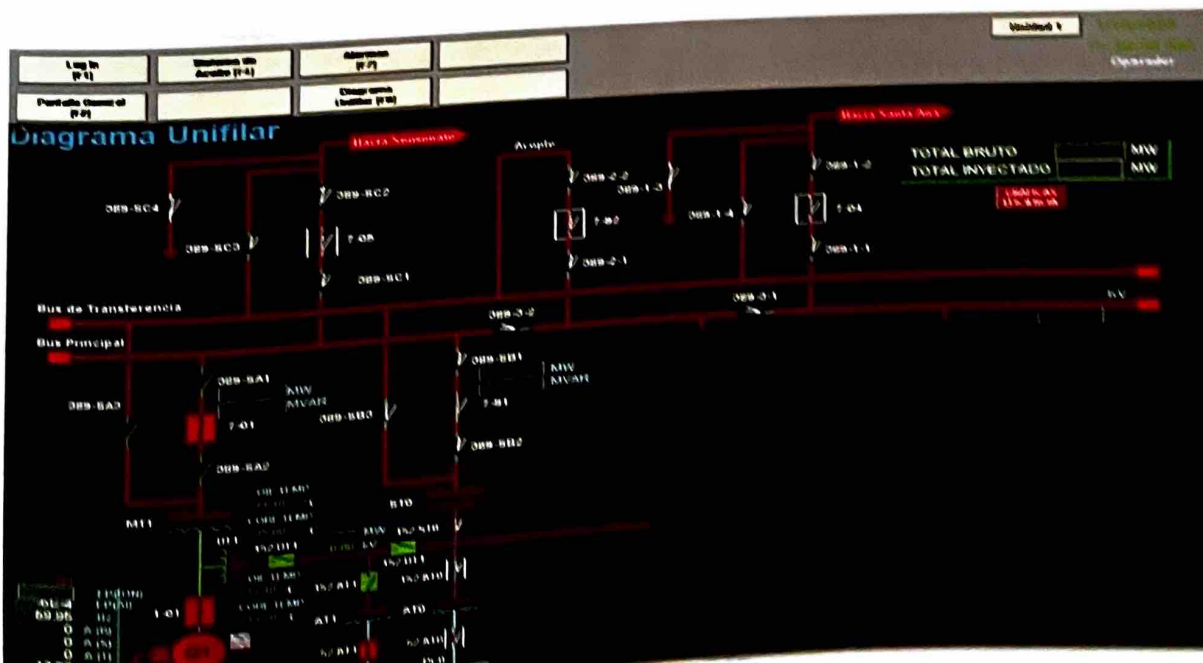


	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	 Universidad Técnica Latinoamericana
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 19 de 37

3. El Ajuste de las válvulas de entrada de agua al condensador debe de mantenerse a 0.0 mm en ese valor ellas mantendrán el nivel.
4. El controlador del nivel del pozo debe estar 00 mm, esto porque quedan 400 mm hacia arriba y 400 mm hacia abajo.



La pantalla diagrama unifilar es donde se encuentra los parámetros del generador y los equipos que conformar el sistema de transmisión.



	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	 Universidad Técnica Latinoamericana
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 20 de 37

4. Arranque y sincronismo de la unidad generadora.

Diagrama de Flujo del Procedimiento:

ARRANQUE DE U1

1

PRIMERO:

- Confirmar que hay vapor en el colector.
- Válvulas de control de presión del colector regulando.

2

SEGUNDO:

- Ajustar el nivel del condensador. Verificar el ajuste de nivel y el modo automático de las válvulas de regulación.

3

TERCERO:

- Verificar la presencia de agua antes de realizar el sello.
- Puesta en servicio del sistema híbrido.

4

CUARTO:

- Para rearmar y dar arranque a la turbina verificar que sigan en servicio el sistema de lubricación y mecanismo de giro.

5

QUINTO:

- Previo revisión...

ARRANQUE DE U1

6

SEXTO:

- El tiempo de calentamiento inicial de la máquina a 500 RPM es de 30 minutos luego seleccionar continuar.

7

SEPTIMO:

- La unidad con 3,400 RPM se da cierre en automático al sistema de excitación verificar el voltaje en 13.8 KV.

8

OCTAVO:

- La maquina ya excitada y con 3,600 RPM se procede a sincronizar, dando selección de sincronismo automático

9

NOVENO:

- Una vez sincronizada la unidad se puede ir completando la carga hasta completar la nominal de 30 MW

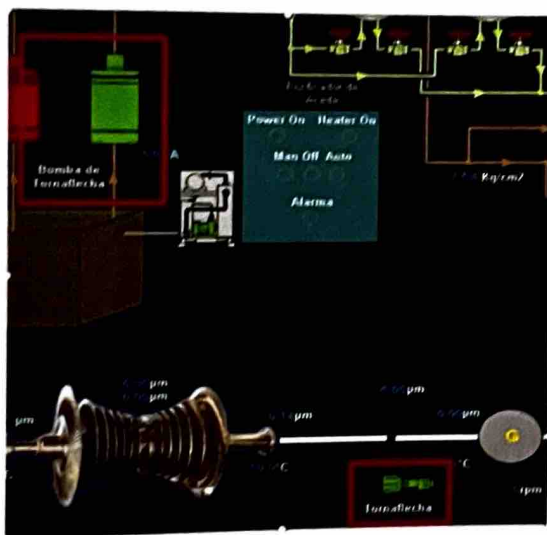
	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	 Universidad Técnica Latinoamericana
Planta Geotérmica	"PUERTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 21 de 37

5. Descripción del Procedimiento:

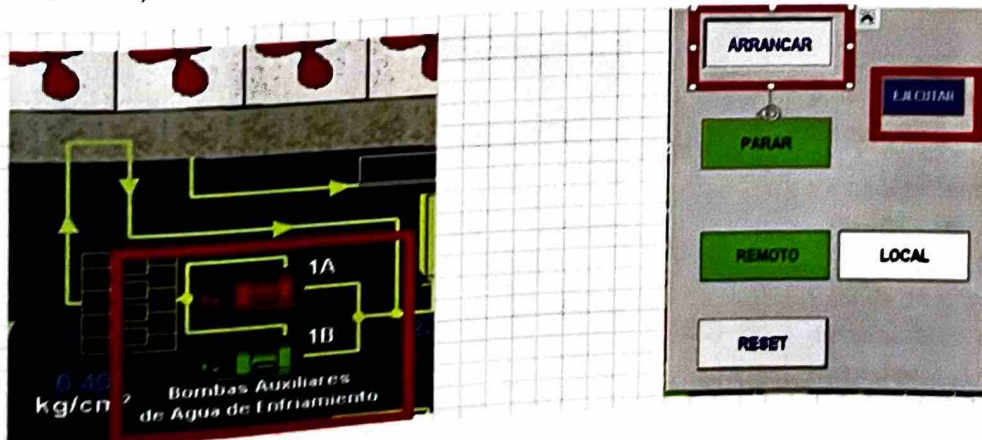
5.1 Arranque de unidad generadora de simulador

Condiciones previas:

- Si la unidad se encuentra por más de 8 horas en reposo será necesario con 4 horas anticipadas al arranque, que el mecanismo de giro (torna flecha) se encuentre en operación y por ende la bomba que alimenta de aceite al torna flecha (seleccionadas con el recuadro rojo).



- Arrancar bomba agua auxiliar de enfriamiento del circuito cerrado 1A ó 1B, dando clic en la bomba saldrá la ventana de arrancar luego ejecutar y cambiará de verde a rojo el estado de la bomba, indicando que se encuentra en servicio.



	"Universidad Técnica Latinoamericana"	
Planta	"PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	Universidad Técnica Latinoamericana
Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR"	Pág.
	Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	22 de 37

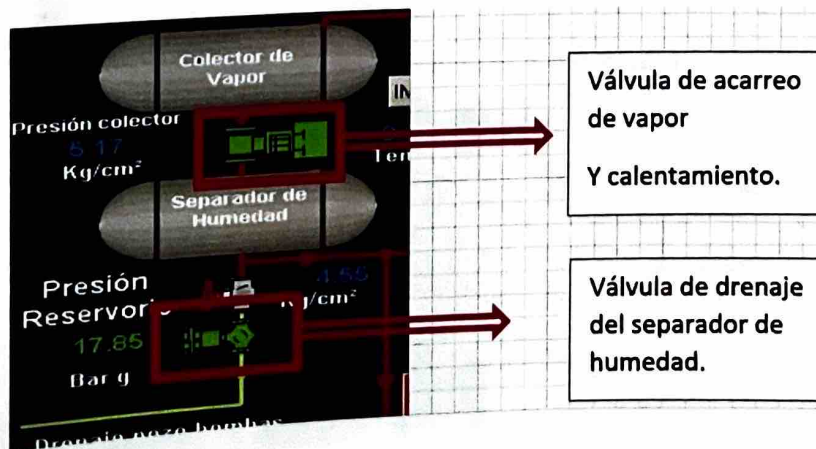
Procedimiento para puesta en operación de mecanismo de giro

- Arrancar bomba de aceite lubricante de torna flecha
- Arrancar motor eléctrico de torna flecha

En la pantalla general U1 se encuentran los arrancadores de ambos equipos como se muestra en la imagen seleccionados por el recuadro rojo, al estar en servicio cambiará el estado a rojo:



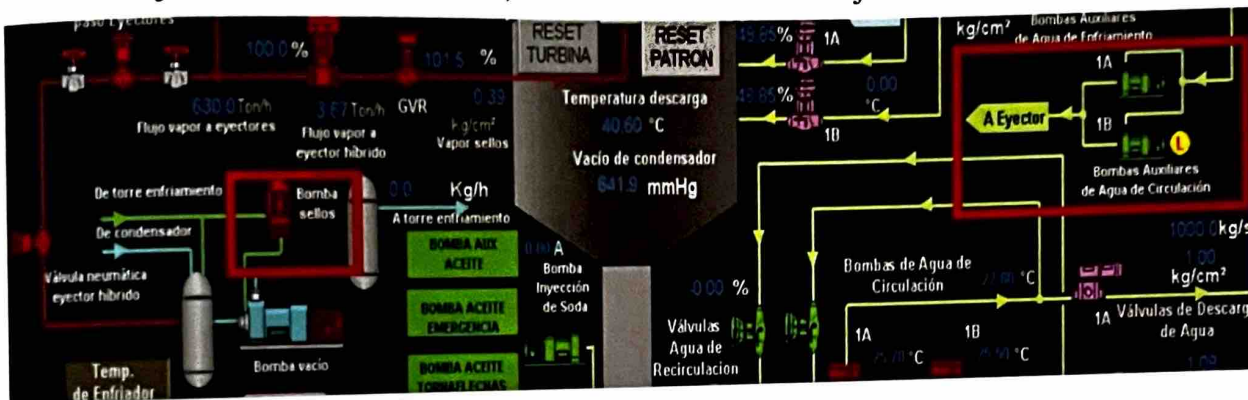
- Transcurridas las 4 horas de operación de torna flecha, proceder a calentar paulatinamente las tuberías de acarreo de vapor de colector hasta válvulas de admisión turbina, abriendo los drenajes respectivos para evitar condensaciones de vapor, cuando la temperatura de las tuberías alcance los 150 °C, abrir completamente la válvula de alimentación de vapor a la turbina y cerrar válvulas de drenajes (en este caso solo representada por la válvula de drenaje de míster).



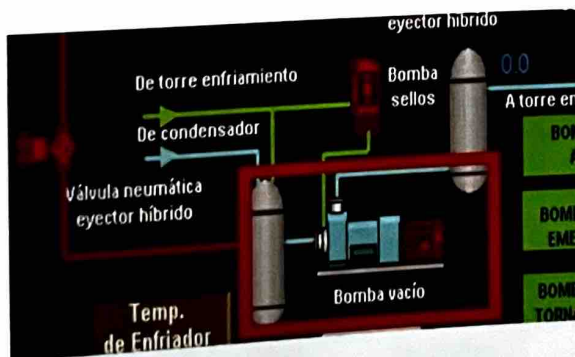
	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	 Universidad Técnica Latinoamericana
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 23 de 37

▪ Arranque de eyector híbrido

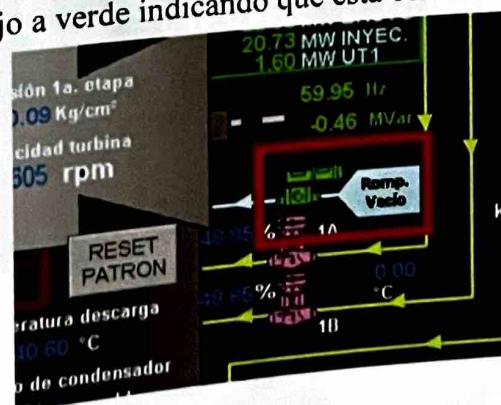
- a) Arrancar bomba auxiliar A o B de agua de circulación y bomba de sellos para lubricación cojinete de bomba de vacío, indicados en recuadros rojos.



- b) Arrancar bomba de vacío como se indica en el recuadro rojo y esperar que el estado cambie de verde a rojo, indicando que se encuentra en servicio.



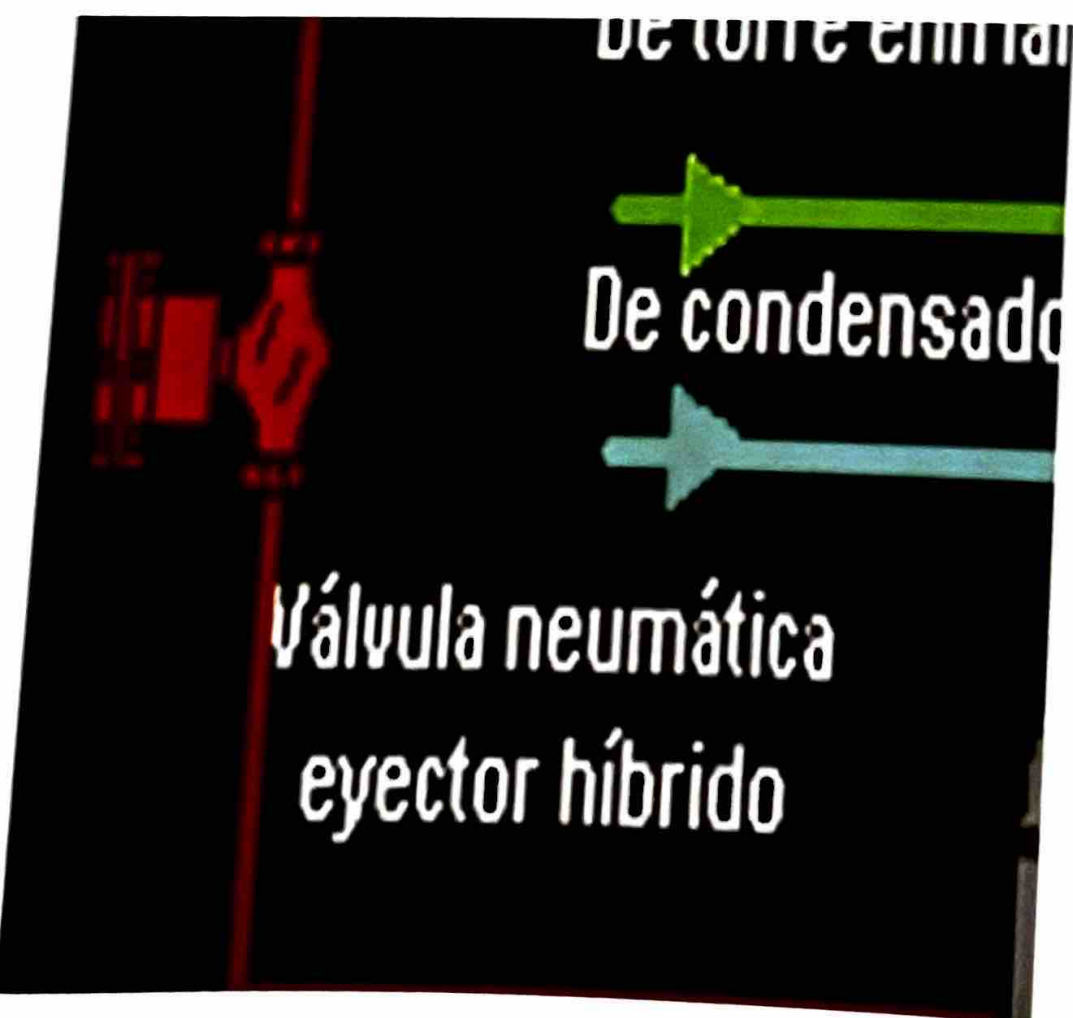
- c) Cerrar válvula solenoide de rompimiento de vacío de condensador, esperar que el estado cambie de rojo a verde indicando que está cerrada (de color verde).



ra de válvula de paso a eyector.



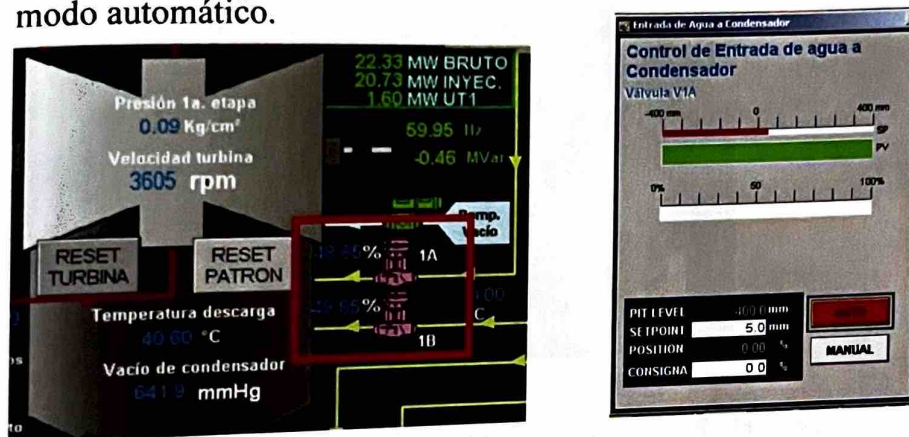
válvula neumática de entrada de vapor a eyector híbrido.



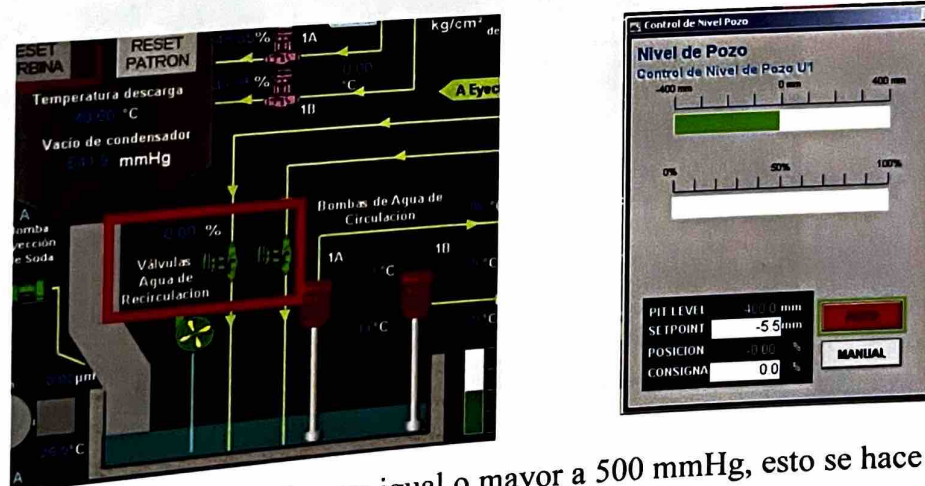
	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	 Universidad Técnica Latinoamericana
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 25 de 37

■ Arranque de bomba de circulación de condensado "A" o "B"

a) Verificar que válvulas neumáticas de entrada de agua al condensador se encuentren en modo automático.



b) Verificar que válvulas de agua de control de nivel de pozo se encuentren en modo automático.

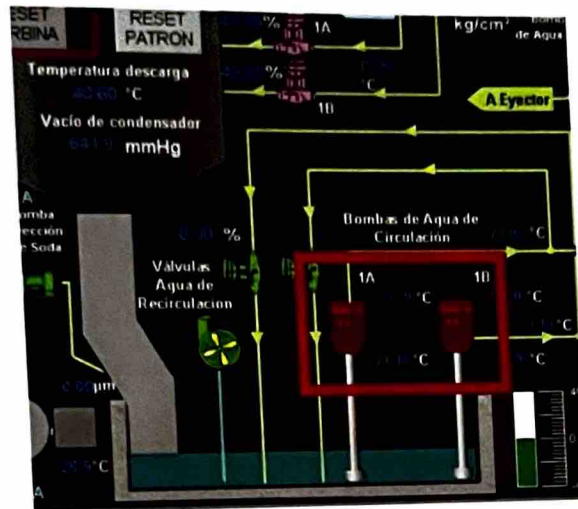


c) Presión de vacío en el condensador sea igual o mayor a 500 mmHg, esto se hace con la finalidad de que el agua proveniente de la torre de enfriamiento sea succionada por gravedad hacia las entradas de agua al condensador.

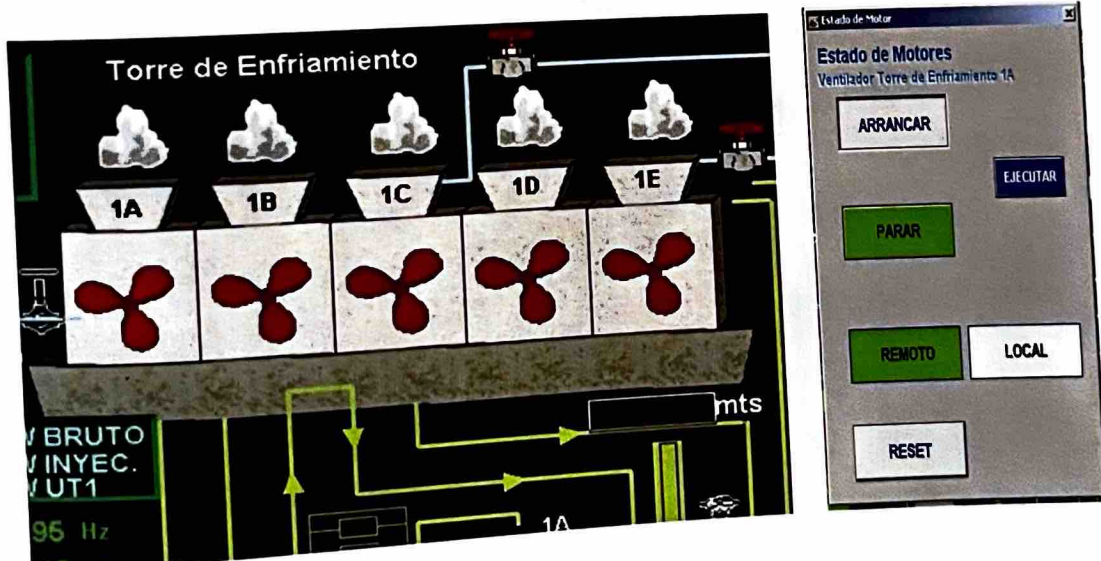


	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	 Universidad Técnica Latinoamericana
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 26 de 37

d) Arranque de bomba A o B de agua de circulación de condensado.



e) Arrancar secuencialmente los cinco ventiladores de la torre de enfriamiento



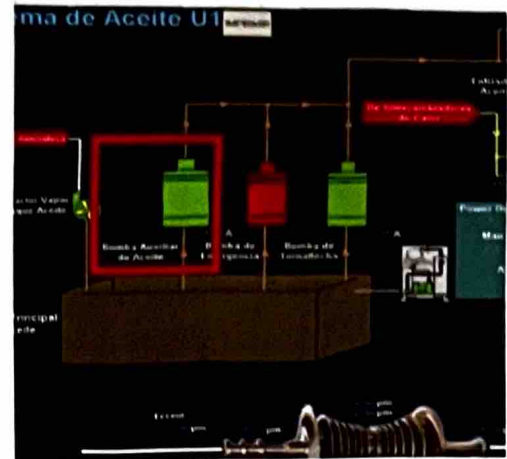
▪ Arranque de turbina

a) Verificar que la presión en el condensador sea de 650 mmHg.

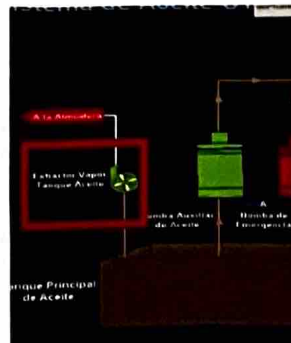


	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 27 de 37

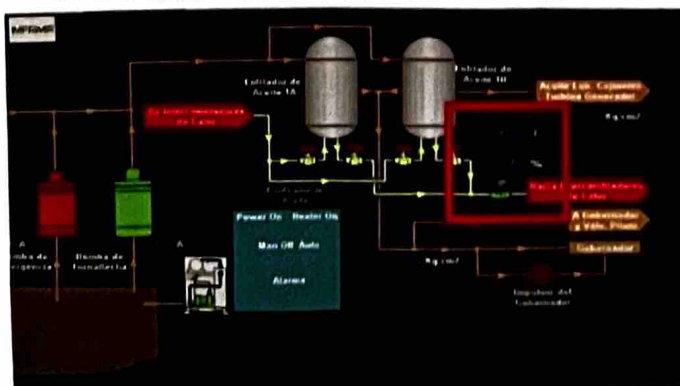
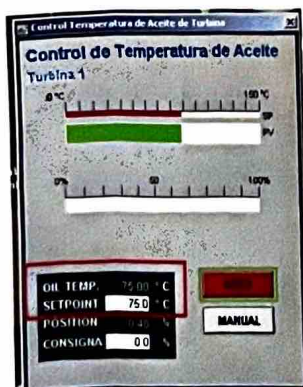
b) Arrancar bomba auxiliar de aceite desde página principal o desde sistema de aceite.



c) Arrancar extractor de gases de consola de aceite desde pantalla de sistema de aceite.



d) Colocar el set point de temperatura de aceite en 45 °C para la regulación de la válvula de enfriamiento de aceite y pasar en automático.

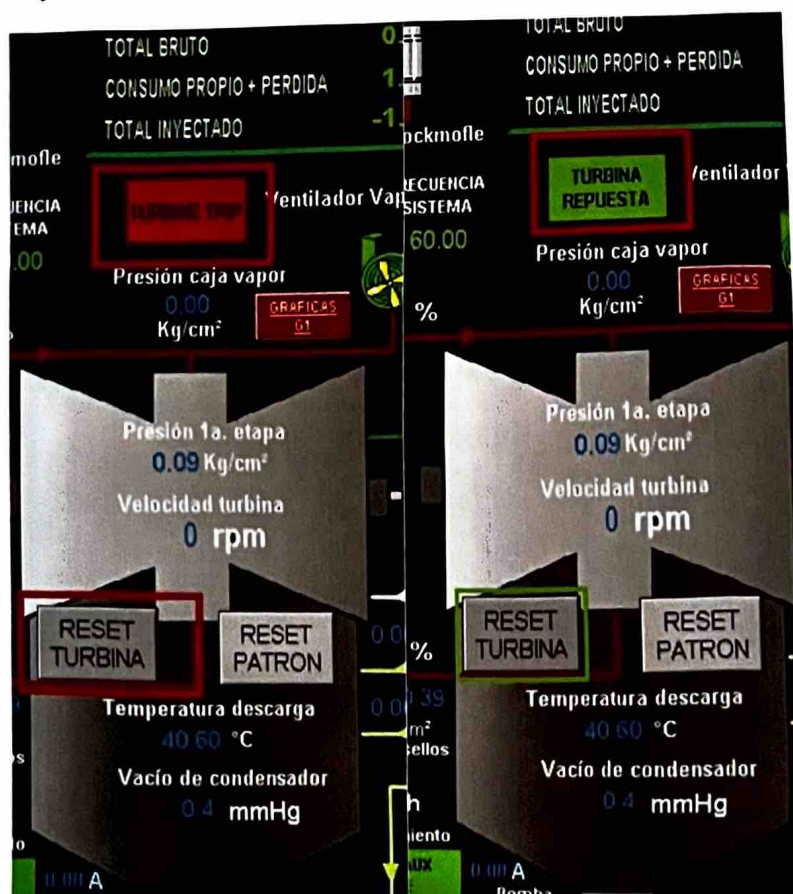


	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	 Universidad Técnica Latinoamericana
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 28 de 37

e) Sacar de operación bomba de aceite de torna flecha.



f) Reset mecánico en panel de turbina se encuentra en el condensador y cambiará el estado de TURBINE TRIP A TURBINA REPUESTA EN COLO VERDE, esto indica que si repuso y está lista para el arranque.

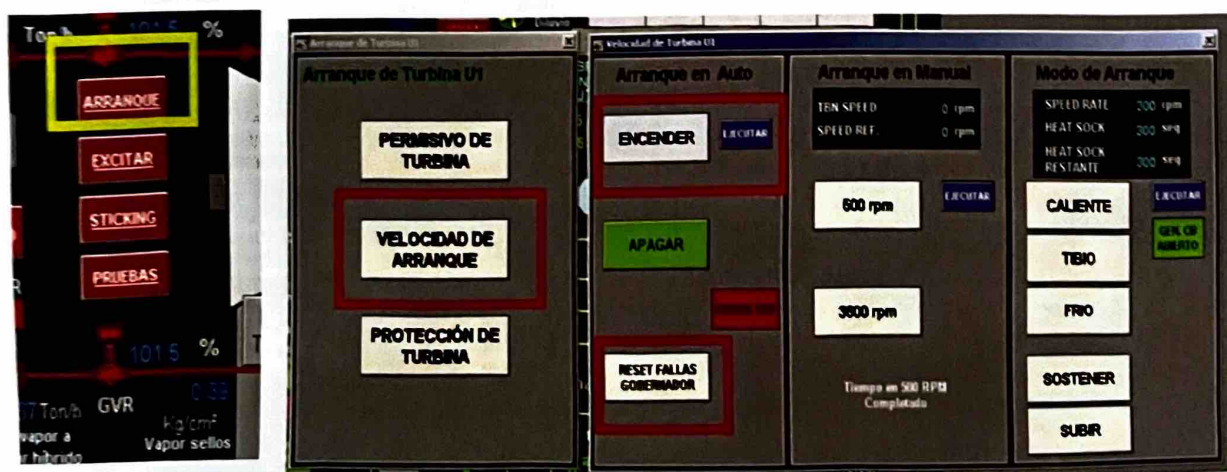


	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	 Universidad Técnica Latinoamericana
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 29 de 37

- g) En el HMI abrir pantalla de permiso arranque turbina y verificar que todas las condiciones estén habilitadas, en rojo indica que todas las condiciones se han cumplido.

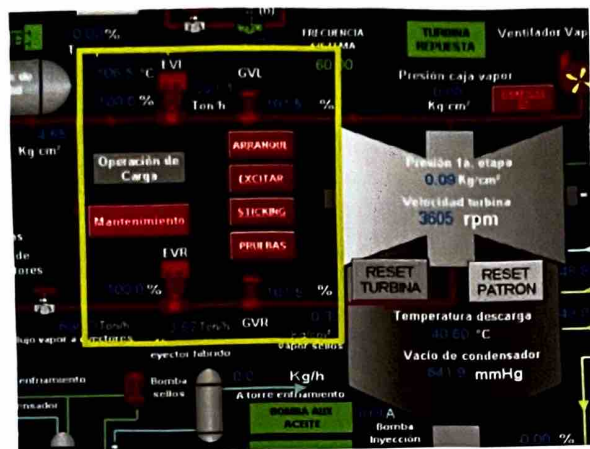


- h) En el HMI proceder con botón velocidad de arranque y se desplegará pantalla de arranque clic en **RESET DE GOBERNADOR** luego clic en **ENCENDER** , **EJECUTAR** como se muestra encerrado en recuadro rojo a continuación.

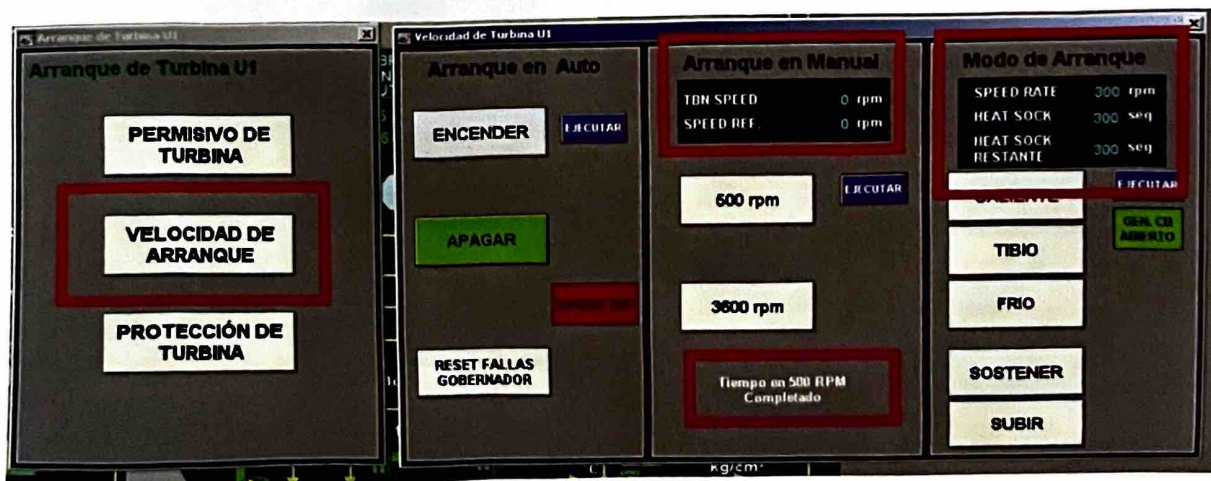


	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	 Universidad Técnica Latinoamericana
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 30 de 37

- i) En la pantalla general verificar que las válvulas de gobernación lleguen a posición abierto al 100% las 4 válvulas encerradas de color amarillo.



- j) La turbina empezará a rodar y la turbina alcanzará una velocidad de calentamiento de 500 rpm y permanecerá durante 30 minutos (el tiempo se puede observar en el **modo de arranque** en la parte de arriba dado en seg.), la velocidad se puede observar que va aumentando en la parte de arriba de **arranque en manual**, una vez el tiempo de primer calentamiento se cumpla muestra la indicación en la parte de debajo **de arranque manual**, he indica **completado**.

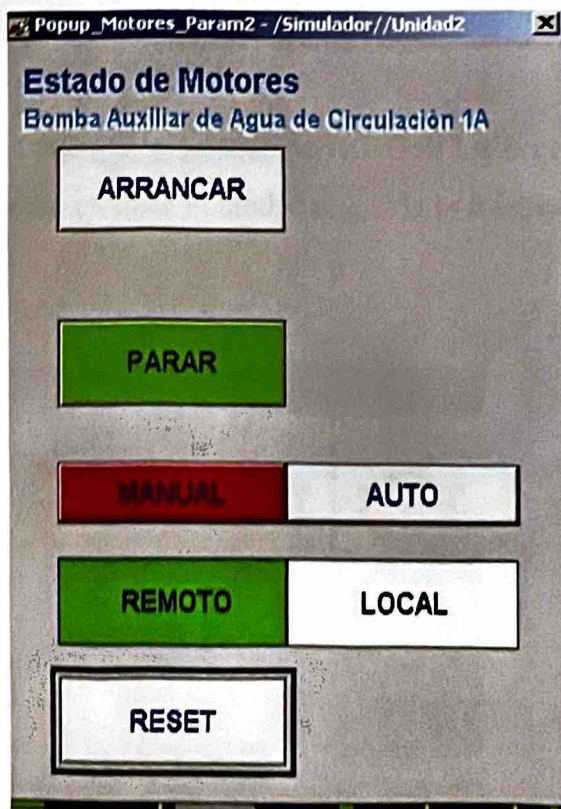
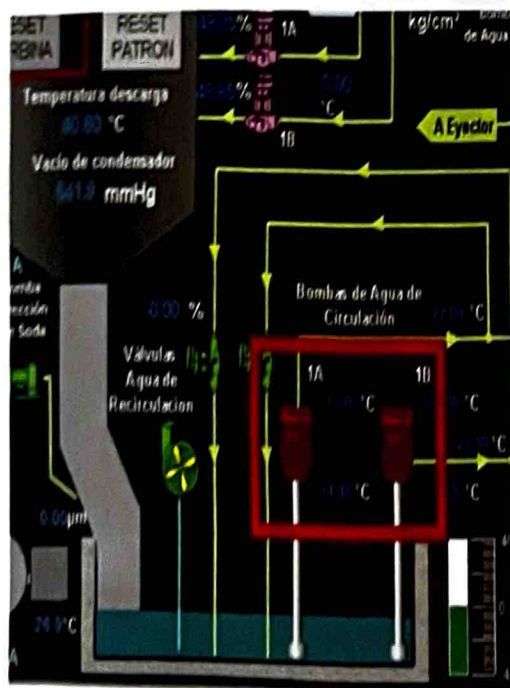


	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	 Universidad Técnica Latinoamericana
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 31 de 37

- k) Transcurrido los 30 minutos automáticamente la turbina llegará a velocidad nominal de 3600 rpm y la bomba auxiliar de aceite saldrá de servicio y el aceite de lubricación y control estará suministrado por una bomba que mecánicamente se encuentra acoplada al rotor.



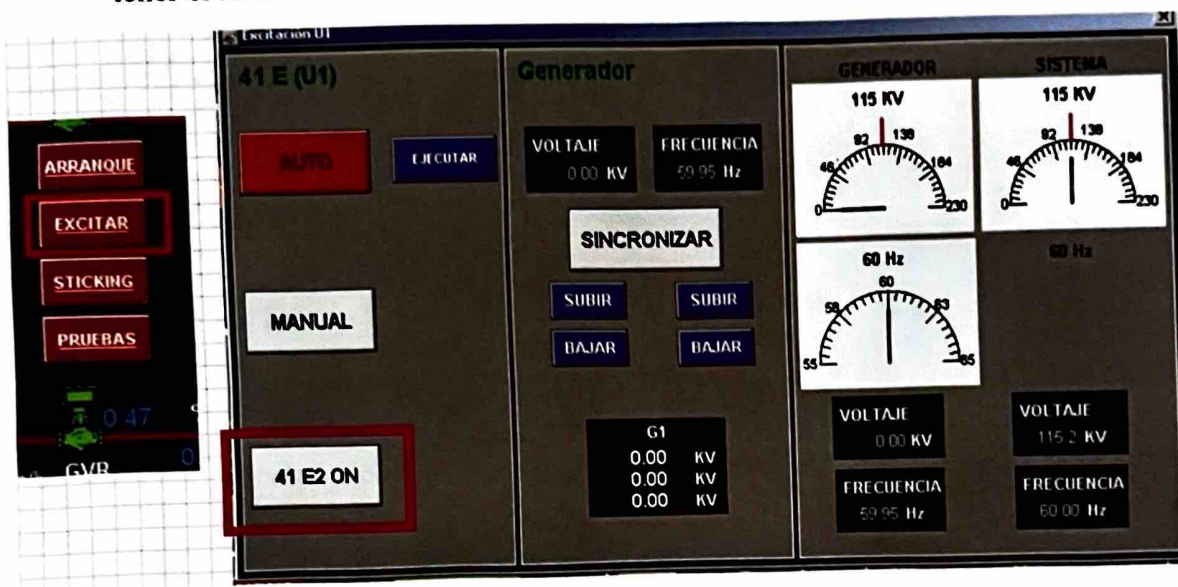
- l) Arrancar la segunda bomba de agua de circulación.



	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	 Universidad Técnica Latinoamericana
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 32 de 37

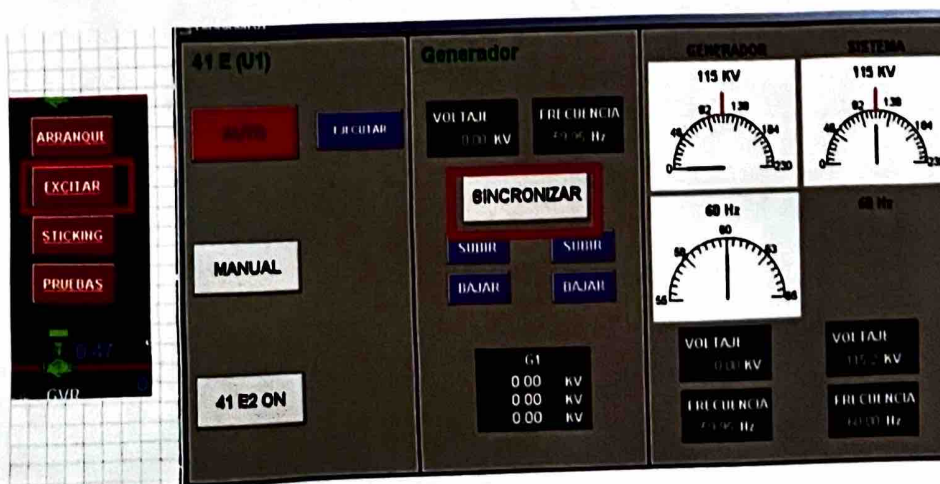
Sistema de excitación o cierre de interruptor de campo.

- m) Cerrar manual el interruptor de campo (41E), verificar que el generador en ese instante llega a 13.8 kV, si el control de excitación está en automático cerrará el interruptor al tener el 95% de la velocidad nominal (3400 RPM).



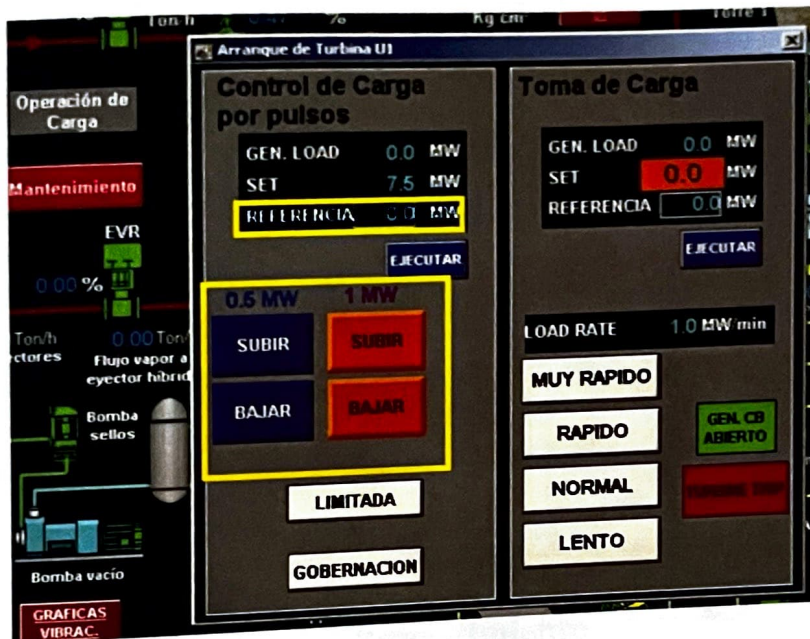
5.2 Sincronismo de la unidad

- n) Habilitado el sincronismo en automático al presionar **SINCRONIZAR** cerrará el interruptor del generador 52 G y quedará en línea la unidad regulada la frecuencia y el voltaje con la red de transmisión.

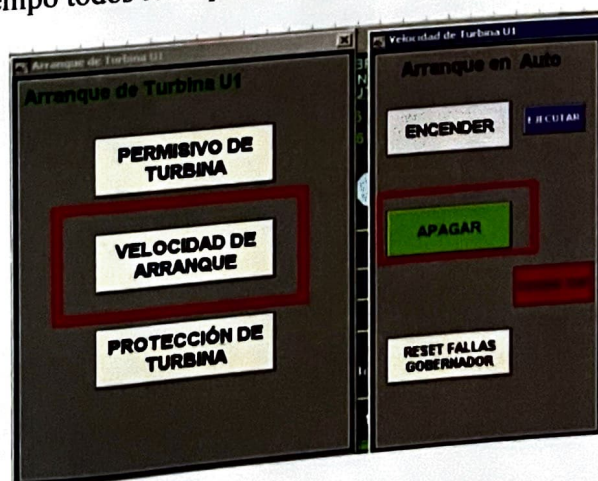


	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	 Universidad Técnica Latinoamericana
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 34 de 37

- p) Luego con la disponibilidad de vapor el operador toma la carga hasta llegar a los 30 MW.



- Para apagado del turbogenerador se tiene que presionar en arranque de turbina, VELOCIDAD DE ARRANQUE y luego APAGAR, en ese momento se abrirá el interruptor del generador 52G, se disparará la turbina y saldrán de servicio todos los equipos auxiliares, a excepción del sistema de aceite y enfriamiento del mismo, esto por 30 minutos (simbólicos) hasta que la turbina enfríe por completo, después de ese tiempo todos los equipos quedan fuera de servicio para un nuevo arranque.



	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	 Universidad Técnica Latinoamericana
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 35 de 37

6. Responsables del Procedimiento

Área	Puesto de Trabajo	Responsabilidad

7. Insumos del Procedimiento

Código	Insumos	Lugar de Guarda	Tiempo de Guarda

8. Productos o Resultados del Procedimiento

Código	Productos	Lugar de Guarda	Tiempo de Guarda

	"Universidad Técnica Latinoamericana" "PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"	 Universidad Técnica Latinoamericana
Planta Geotérmica	"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR" Santa Tecla, La Libertad, El Salvador	Pág. 36 de 37

9. Bibliografía

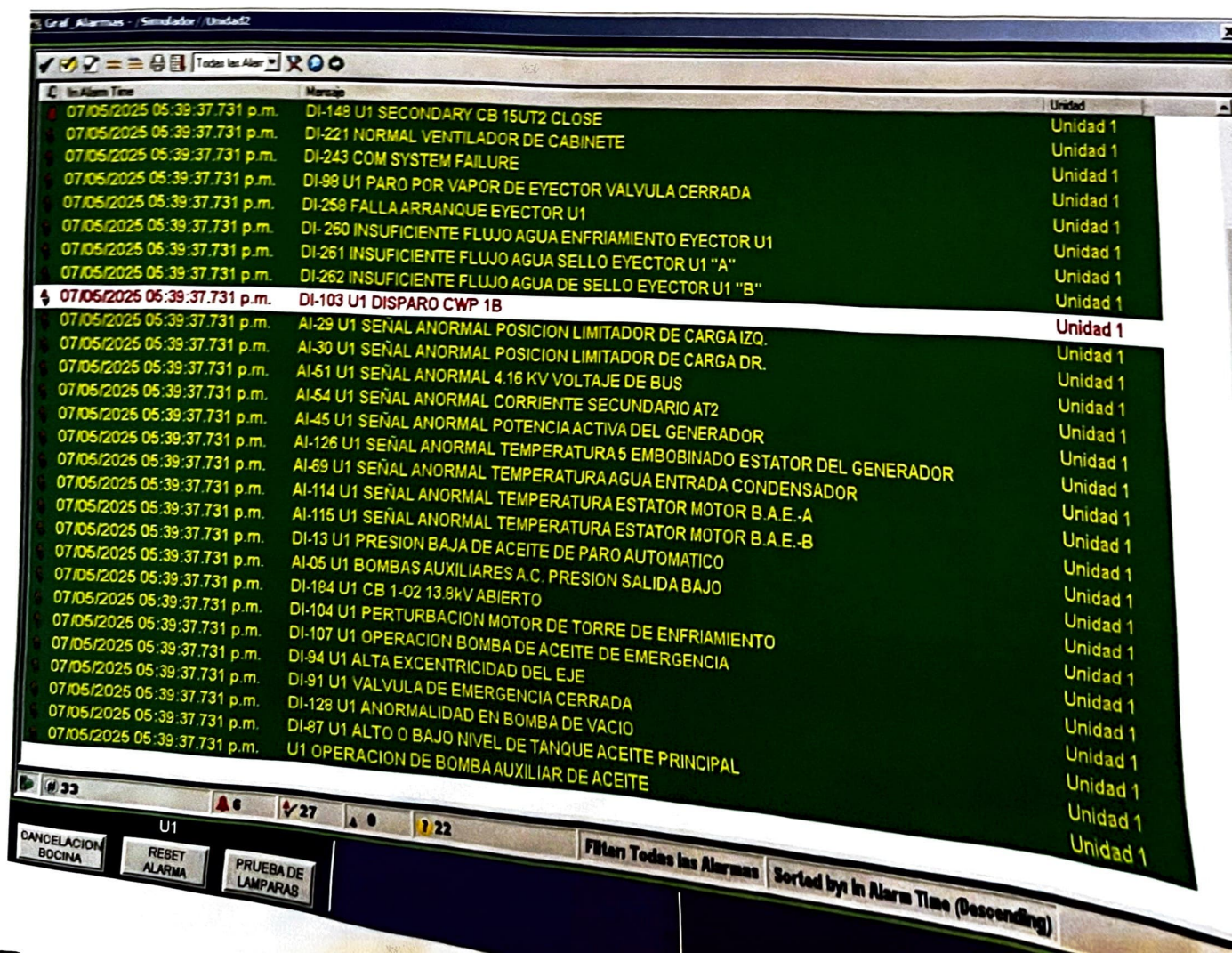
Manual de procedimiento de la central geotérmica de Ahuachapán.

Manual de operadores de la central geotérmica de Ahuachapán.

Entrevista de procesos operativos con el ing. Mauricio Stanley Pérez tel. 2211-6762.

10. Anexo

Pantalla de Alarmas.



In Alarm Time	Mensaje	Unidad
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-149 U1 SECONDARY CB 15UT2 CLOSE	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-221 NORMAL VENTILADOR DE CABINETE	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-243 COM SYSTEM FAILURE	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-98 U1 PARO POR VAPOR DE EYECTOR VALVULA CERRADA	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-258 FALLA ARRANQUE EYECTOR U1	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-260 INSUFICIENTE FLUJO AGUA ENFRIAMIENTO EYECTOR U1	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-261 INSUFICIENTE FLUJO AGUA SELLO EYECTOR U1 "A"	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-262 INSUFICIENTE FLUJO AGUA DE SELLO EYECTOR U1 "B"	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-103 U1 DISPARO CWP 1B	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	AI-29 U1 SEÑAL ANORMAL POSICION LIMITADOR DE CARGA IZQ.	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	AI-30 U1 SEÑAL ANORMAL POSICION LIMITADOR DE CARGA DR.	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	AI-51 U1 SEÑAL ANORMAL 4.16 KV VOLTAGE DE BUS	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	AI-54 U1 SEÑAL ANORMAL CORRIENTE SECUNDARIO AT2	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	AI-45 U1 SEÑAL ANORMAL POTENCIA ACTIVA DEL GENERADOR	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	AI-126 U1 SEÑAL ANORMAL TEMPERATURA 5 EMBOBINADO ESTATOR DEL GENERADOR	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	AI-69 U1 SEÑAL ANORMAL TEMPERATURA AGUA ENTRADA CONDENSADOR	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	AI-114 U1 SEÑAL ANORMAL TEMPERATURA ESTATOR MOTOR B.A.E.-A	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	AI-115 U1 SEÑAL ANORMAL TEMPERATURA ESTATOR MOTOR B.A.E.-B	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-13 U1 PRESION BAJA DE ACEITE DE PARO AUTOMATICO	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	AI-05 U1 BOMBAS AUXILIARES A.C. PRESION SALIDA BAJA	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-184 U1 CB 1-02 13.8KV ABIERTO	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-104 U1 PERTURBACION MOTOR DE TORRE DE ENFRIAMIENTO	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-107 U1 OPERACION BOMBA DE ACEITE DE EMERGENCIA	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-94 U1 ALTA EXCENRICIDAD DEL EJE	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-91 U1 VALVULA DE EMERGENCIA CERRADA	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-128 U1 ANORMALIDAD EN BOMBA DE VACIO	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	DI-87 U1 ALTO O BAJO NIVEL DE TANQUE ACEITE PRINCIPAL	Unidad 1
07/05/2025 05:39:37.731 p.m.	U1 OPERACION DE BOMBA AUXILIAR DE ACEITE	Unidad 1



Planta
Geotérmica

"Universidad Técnica Latinoamericana"

"PROCEDIMIENTO DE INICIALIZACIÓN Y ARRANQUE"



Universidad Técnica
Latinoamericana

"PUESTA EN SERVICIO DEL SIMULADOR"

Santa Tecla, La Libertad, El Salvador

Pág.

37 de 37

11. Control de Cambios al Procedimiento

Historial de Cambios al Procedimiento

Fecha	Versión	Autor		Descripción del cambio	Cambio Autorizado por:	
		Cargo	Área		Cargo	Firma