



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL
ESCUELA DE POSGRADOS “ESPOG”
MAESTRÍA EN : ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
Resolución: RPC-SO-09-No.265-2021

PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGÍSTER

Título del proyecto:
“Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”
Línea de Investigación:
Sistemas de control en Generación de electricidad
Campo amplio de conocimiento:
Procesos Industriales, Sistemas de Automatización y Control, Generación Eléctrica y Electricidad en Potencia
Autor/a:
Héctor Ezequiel Lluquin Peñafiel
Tutor/a:
Rene Ernesto Cortijo Leyva

Quito – Ecuador

2022

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, Mg. **René Ernesto Cortijo Leyva** con C.I: **1719010108**, en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: **“Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”**.

Elaborado por: **Héctor Ezequiel Lluquin Peñafiel**, de C.I: **0923134043**, estudiante de la Maestría: **Electrónica y Automatización**, de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito 13 de septiembre del 2022



Firma

DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, Héctor Ezequiel Lluguin Peñafiel con C.I: 0923134043, autor/a del proyecto de titulación denominado: “Banco de pruebas para gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”, Previo a la obtención del título de Magister en Electrónica y Automatización.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar el respectivo trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor@ del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Santa Elena., 21 de septiembre de 2022

Firma

Tabla de contenidos

APROBACIÓN DEL TUTOR	2
DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE	3
INFORMACIÓN GENERAL	1
Contextualización del tema	1
Problema de investigación	2
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:	5
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	7
1.1.	7
1.2.	12
CAPÍTULO II: PROPUESTA	15
2.1	15
2.2	20
2.3	35
2.4	38
2.5	39
CONCLUSIONES	42
RECOMENDACIONES	44
Bibliografía	45
ANEXOS 1	47

Índice de tablas

Tabla 1	31
Tabla 2	32
Tabla 3	34
Tabla 4	34
Tabla 5	35
Tabla 6	36
Tabla 7	36
Tabla 8	37
Tabla 9	37
Tabla 10 Matriz de articulación	38
Tabla 11	39

Índice de figuras

Figura 1	9
Figura 2	10
Figura 3	11
Figura 4	12
Figura 5	16
Figura 6	17
Figura 7	17
Figura 8	18
Figura 9	19
Figura 10	20
Figura 11	21
Figura 12	21
Figura 13	24
Figura 14	25
Figura 15	25
Figura 16	26
Figura 17	27
Figura 18	28
Figura 19	28
Figura 20	29
Figura 21	30
Figura 22	31
Figura 23	40

INFORMACIÓN GENERAL

Contextualización del tema

El sistema de Generación Eléctrico del Ecuador está constituido por varios tipos o medios para la obtención de la energía eléctrica, a través de las cuales se provee del recurso para suplir la demanda energética del país; por lo tanto, se cuenta con centrales de generación Hidráulicas, centrales Térmicas a Vapor, Centrales térmicas con Motores de Combustión interna, Centrales Eólicas y Centrales por paneles solares fotovoltaicos.

A excepción de las Centrales fotovoltaicas y las Eólicas, los demás tipos de centrales por su naturaleza de funcionamiento (máquinas rotativas), requieren de un sistema de control de velocidad (gobernadores de velocidad), el cual se encarga de mantener siempre constante la velocidad sincrónica de la máquina para entregar siempre los 60 ciclos (60 Hz), que es la frecuencia con la que trabaja el Sistema Nacional Interconectado (SIN) de nuestro país.

El gobernador de velocidad (regulador de velocidad), controla que la máquina motriz permanezca siempre girando a la misma velocidad, esto es indiferente del tipo de recurso que se utilice, como por ejemplo la energía hidráulica del agua en el caso de las centrales Hidroeléctricas, para este tema de investigación en particular se refiere a los motores de combustión interna.

La Termoeléctrica Santa Elena, está constituida por 50 grupos electrógenos que aportan cada uno de ellos 1.5 MW, con una tensión de 4100 voltios, energía que se entrega a un grupo de transformadores elevadores hasta llegar al nivel de tensión de transmisión de 138KV, que se entrega al Sistema Nacional Interconectado (SNI).

Los grupos electrógenos se componen de dos partes principalmente, el primo motor (Motor de combustión interna de ciclo Diesel), que impulsa al generador eléctrico (Alternador). El motor de combustión interna MCI, funciona con dos tipos de combustibles; como lo son el Diesel y el Búnker y gracias al ciclo de cuatro tiempos (ciclo diésel) el motor de combustión puede entregar la potencia mecánica que hace girar al Generador y de esta manera convertir la energía mecánica en energía eléctrica.

El generador debe entregar la potencia eléctrica al Sistema Nacional Interconectado a través de componentes eléctricos de control y fuerza; sin embargo esa energía debe ser controlada y se debe garantizar que los módulos de frecuencia y voltaje se encuentren dentro de los márgenes de calidad de energía, entonces para controlar la frecuencia se hace uso de un dispositivo de control que se llama Gobernador (también conocido como regulador de

velocidad), este elemento es de suma importancia para que el grupo electrógeno funcione correctamente, ya que de lo contrario simplemente la máquina no puede entregar electricidad a la carga.

Como se trata de máquinas rotativas y que a su vez para poder funcionar requieren de otros sistemas denominados sistemas auxiliares, se necesita de personal calificado para poder operar y supervisar todos los componentes, así mismo se necesita del personal técnico especializado para realizar el mantenimiento en sus tres áreas como lo son: Mantenimiento Eléctrico, Mantenimiento Electrónico e Instrumentista y Mantenimiento Mecánico. Los operadores deben cumplir horarios rotativos de 8 horas y 12 personas por cada turno, divididos en operadores de campo, operadores de sala de control o tableristas y el supervisor de turno.

Para el caso del personal de mantenimiento, ellos trabajan en horario administrativo, es decir un turno diario de 8 horas, y el personal del Departamento Químico, que trabaja en dos turnos de 8 horas por día. Como es lógico, ninguna empresa puede funcionar sin la dirección; por lo tanto, también está conformada por el personal administrativo, como lo son las Jefaturas de Mantenimiento y Operaciones, Seguridad Industrial, Ambiente, Jefatura del Departamento Químico, Jefatura de Central y sus respectivos asistentes.

El mantenimiento y reparación de los gobernadores de velocidad Hidráulicos (que es el tema de estudio de este tema de tesis), es responsabilidad del Departamento Mecánico, ya que sus componentes internos funcionan por medio de mecanismos complejos (para otros casos existen gobernadores de velocidad electrónicos que controlan a los actuadores hidráulicos), que mediante una conexión mecánica con el motor de combustión interna se aprovecha el giro del mismo para accionar pequeñas bombas, válvulas y circuitos hidráulicos, con el fin de mantener estable la varilla de aceleración para controlar el sistema de inyección de combustible de la máquina, es por esta razón que a este dispositivo se lo llama también Sistema de Gobierno de velocidad y combustible.

Cada departamento del que está conformada la empresa, aporta con sus trabajos y acciones al desarrollo de la Generación eléctrica que es el giro del negocio; por lo tanto, gracias al aporte del personal en su conjunto se logra generar energía sostenible para el país.

Problema de investigación

El Ecuador en su sistema de transmisión y generación de electricidad, dispone de varias centrales, como se mencionó anteriormente todas a excepción de la centrales fotovoltaicas y eólicas, necesitan o dependen de los Gobernadores o reguladores de velocidad para generar a la frecuencia establecida por CENACE (60 ciclos para Ecuador y Latinoamérica).

Para el presente proyecto, nos basaremos puntualmente en una central de generación térmica por motores alternativos o de combustión interna, a los que se denomina MCI por sus siglas. Los grupos electrógenos se componen de dos partes que son: el primo motor (MCI) y el Generador. Como se trata de máquinas que deben trabajar a una velocidad sincrónica (velocidad del estatismo de la red de energía, que para el caso de nuestro país es de 60 ciclos - 60 Hz), es necesario que el primo motor siempre se encuentre operando a una velocidad constante, esto es indiferente de la carga que esté asumiendo el generador (Kilovatios de energía KW o MW), debido a que la frecuencia no debe verse alterada, ya que de lo contrario puede ocasionar disturbios en la Red o Sistema Nacional Interconectado (SNI), y dichos disturbios afectan directamente la calidad de energía.

Las máquinas o motores MCI, necesariamente deben contar con un sistema de gobierno de la velocidad de operación, toda vez que son equipos que funcionan con combustible fósil (para nuestro caso es el Diesel Oil y el Fuel Oil Bunker), en este caso; la velocidad de un motor de combustión se la realiza mediante la inyección de menor o mayor cantidad de combustible, solo por citar un ejemplo; en los coches, cuando se necesita incrementar la velocidad de crucero pisamos el acelerador para que se inyecte mayor cantidad de combustible al motor, y por lo tanto las revoluciones del motor aumentan, obteniendo con este proceso que el coche se desplace a mayor velocidad.

En los grupos electrógenos no debe aumentar la velocidad sincrónica, sino más bien debe aumentar la carga del generador, en otras palabras, aumentan los kilovatios de generación. El dispositivo que se encarga de esta labor se llama gobernador, que mediante el giro de la máquina activa hidráulicamente la apertura o cierre de las cremalleras de las bombas de inyección de combustible, así; toda vez que el generador eléctrico necesite proporcionar más energía eléctrica a la red, el gobernador aumenta la inyección de combustible en proporción adecuada para que la velocidad sincrónica no se vea afectada y se mantenga estable.

El gobernador de velocidad es un dispositivo que realiza un papel muy importante, por no decir que es el equipo más importante para mantener la velocidad sincrónica de la máquina; por lo tanto, se le debe prestar el mayor de los cuidados, debido a que si este elemento falla la máquina puede verse afectada porque se perderá el control de la velocidad y puede provocar que el motor se sobre-revolucione, lo que sin duda destruirá el motor.

En la actualidad el personal técnico mecánico realiza las calibraciones de los gobernadores en la misma máquina, esto resulta difícil de realizar porque ante todo, es peligroso para el trabajador y la misma máquina, ya que si falla puede ocasionar que la motor pierda el control de la velocidad y se sobre-revolucione; si bien es cierto, el sistema de control cuenta con las debidas protecciones por sobrevelocidad, hasta que éstas protecciones actúen se pueden

presentar sobrepresiones que por lo general rompen las cañerías o ductos por donde se transportan los fluidos (aceite, combustible, aire, agua y vapor), que pueden afectar directamente al trabajador ocasionando graves accidentes.

Otro tema es que, si la calibración no resulta satisfactoria se debe retirar el gobernador y reemplazarlo por otro, lo que ocasiona pérdidas de tiempo en la ejecución del trabajo, además del cansancio del trabajador por realizar actividades que no debería si se contara con un equipo que le permita realizar las calibraciones en el taller o laboratorio antes de montarlo en la máquina.

Para ello se debe desarrollar un equipo que pueda ser capaz de ayudarnos con las pruebas en laboratorio antes de que el gobernador sea montado en el motor de combustión. Este equipo debe ser capaz de emular las condiciones reales de operación, y así poder determinar la fiabilidad del gobernador para que pueda ser montado en la máquina con toda confianza y seguridad.

El equipo o banco de pruebas debe ser lo más amigable y seguro posible para que el técnico operador (técnico encargado del mantenimiento de los gobernadores), pueda realizar las maniobras de calibración y poder visualizar los valores o detalles, como lo son: las presiones de las bombas de baja y alta presión de gobernador, la carrera de la varilla de control del riel de inyectores, la velocidad sincrónica, y la velocidad de respuesta de la caída de velocidad (Droop) cuando se le aplique carga a la máquina, éste último dato debe ser simulado mediante una lógica que se desarrollará para que el gobernador sienta que la máquina está asumiendo carga.

Todos estos datos deberán ser observados en una pantalla HMI que en conjunto a un PLC (PLC S7-1200 y Panel HMI KTP-700), contendrán el sistema de control y los algoritmos para llevar a cabo este proyecto de mejora para la empresa.

Objetivo general

Desarrollar un banco de pruebas para gobernadores hidráulicos de control de velocidad en motores de generación de la termoeléctrica Santa Elena.

Objetivos específicos

- Desarrollar una estructura capaz de soportar y posicionar un gobernador hidráulico, donde se albergan todos los componentes que aporten a la simulación del funcionamiento en un motor de combustión interna.
- Diseñar un sistema de control mediante programación de PLC y la Interfaz hombre máquina (IHM), para realizar las simulaciones de operación de un motor de combustión interna.

- Implementar el sistema de control en la estructura mecánica del banco de pruebas para gobernadores hidráulicos de velocidad.
- Validar el óptimo funcionamiento del gobernador hidráulico de velocidad, mediante el montaje en máquina MCI y prueba de generación en todos los rangos de trabajo, soportado por reporte de producción del departamento de operaciones.

Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:

Con la implementación del banco de pruebas para los gobernadores de velocidad hidráulicos (gobernadores UG-8), se contribuirá para con la sociedad y el medio ambiente con una menor concentración de contaminación, ya que por ser máquinas que queman combustible para su funcionamiento, emiten gases tóxicos al medio ambiente (Asfaltenos, NOX y SOX), que son muy nocivos para la fauna, la flora y el mismo ser humano; por lo que al realizar más finas las calibraciones de los gobernadores con la ayuda del banco de pruebas, el motor de combustión quemará la cantidad justa de combustible, obteniendo un mejor rendimiento en lo que respecta consumo de combustible versus kilovatio generado; por lo tanto, la combustión del motor será más limpia y por ende las emisiones serán menos nocivas.

Si bien es cierto, como se trata de máquinas de combustión interna, no se puede reducir al cien por ciento la contaminación; sin embargo, si se puede realizar acciones y trabajos responsables para mitigar la polución y de ésta manera estar dentro de los parámetros permitidos y determinados por el Ministerio de Ambiente del país.

Por otro lado, al estar más fino el sistema de gobierno de la máquina el consumo de combustible será menor comparado con un motor que no se haya intervenido ni calibrado, esto es debido a que el consumo de combustible va ligado directamente con la eficiencia de la máquina, ya que si se logra entregar una mayor cantidad de Megavatios con un menor consumo de galones por minuto de combustible, se verá reflejado en un ahorro sustancial de dinero y además; un dato adicional, el ente regulador (CENACE) premia este tipo de acciones, ya que al ser más eficiente las unidades de generación se las mantendrá siempre en la primera lista o lugar para entrar en generación en el despacho económico diario que esta entidad programa día a día; en resumen, la central verá reflejado el ahorro de combustible que al mismo tiempo es dinero ahorrado, y podrá entregar más Megavatios de electricidad al Sistema Nacional Interconectado SNI.

Un beneficio que se adiciona con esta implementación es que, si bien es cierto, cada técnico es experto en su área, con la ayuda de herramientas tecnológicas se podrá desarrollar de mejor manera su trabajo, aun así; por muy sofisticado que un equipo pueda ser, siempre es necesario

que la persona que lo opere sea capaz de tener el conocimiento y destrezas para obtener el mejor provecho de la herramienta. Para ello es necesario realizar las respectivas capacitaciones, ensayos técnicos, manuales de funcionamiento y manuales de mantenimiento.

Un dato que es muy importante, es que, antes la empresa enviaba los equipos (gobernadores) al laboratorio de pruebas y calibraciones (laboratorio representante de la marca), donde se le realizaban las pruebas y reparaciones pertinentes, sin embargo existía un detalle y era que nunca se pudo constatar que tipos de pruebas o trabajos se les realizaban, toda vez que no permitían que un técnico de la empresa vaya hasta sus instalaciones y realice las inspecciones o fiscalizaciones respectivas para determinar que los trabajos que se le realizan a los equipos estén de acuerdo con lo requerido, y simplemente la empresa debía conformarse con la certificación del representante del fabricante.

El costo aproximado que se le facturaba a la empresa rondaba los \$ 2,500.00 por cada gobernador de velocidad (este dato fue obtenido en el banco de datos de compras públicas SERCOP), y como se ha mencionado cada grupo electrógeno cuenta con un gobernador, por lo tanto, nos podemos hacer una idea del valor que le costaría a la empresa realizar las calibraciones a todos los gobernadores de la central.

Otro valor agregado es que este proyecto no solo puede ser beneficioso para la industria de la Generación de electricidad, sino también a los motores de propulsión de barcos, turbinas, entre otros; y mejor aún; servirá como tema de aprendizaje en escuelas de enseñanza técnica para que los estudiantes puedan entender el funcionamiento de un Regulador de velocidad hidráulico y por qué no, poder repararlos y calibrarlos.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Contextualización general del estado del arte

Los motores de combustión interna son máquinas rotativas que requieren quemar el combustible fósil (para nuestro caso en particular diesel oil y fuel oil), para poder obtener energía o potencia mecánica en un eje que, al ser conectado mediante acoples a otro equipo o máquina, forman un conjunto que se denomina máquina impulsora y máquina impulsada; un grupo electrógeno es un fiel ejemplo de ello. Los motores de combustión necesitan de un sistema de control de suministro de combustible para poder funcionar correctamente, y es aquí donde entra en acción el gobernador de velocidad; por lo tanto, para que la máquina pueda mantener una velocidad estable, se requiere que su gobernador trabaje correctamente.

En el mercado industrial existen varios tipos de gobernadores de velocidad, desde los más antiguos hasta los más tecnológicos; sin embargo, todos comparten el típico aprovechamiento de la fuerza centrífuga y la fuerza hidráulica, aunque el control sea mecánico, eléctrico o electrónico.

Los gobernadores de velocidad del tipo UG-8, pertenecen a la firma o marca Woodward y se los denomina Gobernador de palanca de la clase UG5,7,8 y 10, y para este trabajo de investigación nos centraremos en el modelo UG-8. Como estamos claros en el tipo de equipo con el que se va a trabajar, pues nos basaremos en los manuales de mantenimiento y operación de gobernadores Woodward SP03036. Woodward, 1982).

Para que el gobernador pueda funcionar, necesita de la energía mecánica de giro en su eje impulsor, que a su vez mediante las revoluciones por minuto genera la energía hidráulica proporcionada por sus dos bombas internas; por lo tanto, para determinar que este equipo esté dentro de los parámetros normales y eficientes de operación, requerimos de un equipo o banco de pruebas donde se pueda determinar lo anteriormente mencionado.

Para poder llevar a cabo la creación de este banco de pruebas, necesitamos hacer uso de los dispositivos tecnológicos, mediante el controlador y su lógica, pantalla de monitoreo para visualización de los datos, sensores y transductores que son recolectores de información para las entradas del controlador y los dispositivos de salida que son los actuadores, para este caso; los relés, motor eléctrico, bobina solenoide y el variador de velocidad. (Leonel, 2014).

Este proyecto tendrá impacto directo en la industria de generación eléctrica mediante motores de combustión interna, además; proporcionará una ventaja a los técnicos en mantenimiento de gobernadores, ya que se podrán realizar los trabajos de calibraciones y

reparaciones con la oportuna ayuda del banco de pruebas de gobernadores hidráulicos de velocidad.

Para el desarrollo de esta investigación se analizaron entre otros, los siguientes trabajos:

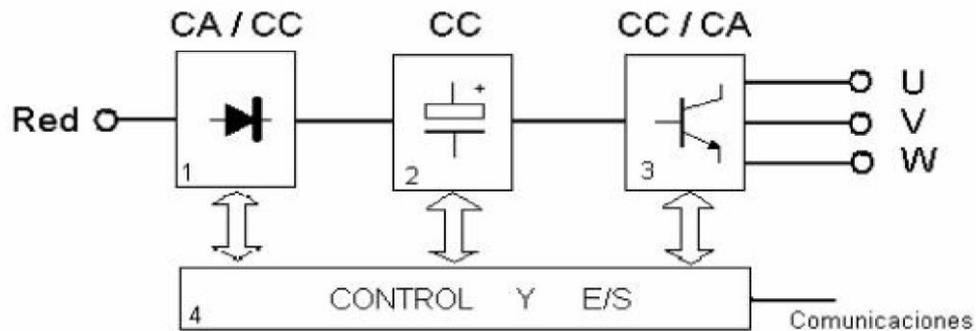
En el año 2016 Estiven Sanabria Betancur realizó un trabajo investigativo denominado “Sistema de control de velocidad de un motor trifásico mediante un variador de frecuencia y sistema SCADA”, en la Facultad de Tecnologías, Ingeniería Mecatrónica en la Universidad Tecnológica de Pereira. El autor realiza las comparaciones respectivas de los distintos arreglos para los sistemas de arranque de motores eléctricos de inducción, hasta llegar a la explicación de los variadores de velocidad (también se los conoce como inversores). Los motores eléctricos de inducción cuentan con un par de arranque muy elevado; que en promedio, en los arranques generan picos de corriente de arranque de hasta 7 veces de su consumo nominal de placa, por lo que es un buen planteamiento, realizar arreglos eléctricos para tratar de reducir al mínimo los mencionados picos.

Mediante el análisis de cada una de las soluciones existentes que se utilizan en la práctica (realizado por el autor de este estudio), pudo llegar a la conclusión que el mejor arreglo para que el motor eléctrico pueda arrancar de manera suave y, además establecer un control de su velocidad para los diferentes usos o aplicaciones que se requieran, es la implementación de un inversor o variador de velocidad, ya que este equipo presenta muchas ventajas frente a los demás sistemas de arranque. Este equipo realiza modificaciones en los fasores de corriente el voltaje y la frecuencia, logrando con esto el control de las revoluciones del motor eléctrico. En este tema de investigación también hace énfasis en que el variador puede ser controlado de manera remota, mediante comunicaciones que, para este caso se trató del protocolo Modbus, además de las configuraciones de las entradas y salidas (analógicas y digitales), con las que se puede realizar arreglos eléctricos con el fin de establecer, inicialmente una comunicación remota; y posterior, realizar conexiones eléctricas en la periferia del inversor para obtener un control de lazo cerrado muy robusto.

El análisis realizado en este tema de investigación, proporcionó las ideas del correcto uso y configuraciones de un variador con ejemplos prácticos e imágenes de los diagramas eléctricos, haciendo notar que es la mejor opción que tenemos para ponerla en práctica en nuestro proyecto de implementación, es decir el “Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”, (BETANCUR, 2016).

Figura 1

Diagrama de bloques de la composición del variador de velocidad (inversor).



Fuente: (BETANCUR, 2016)

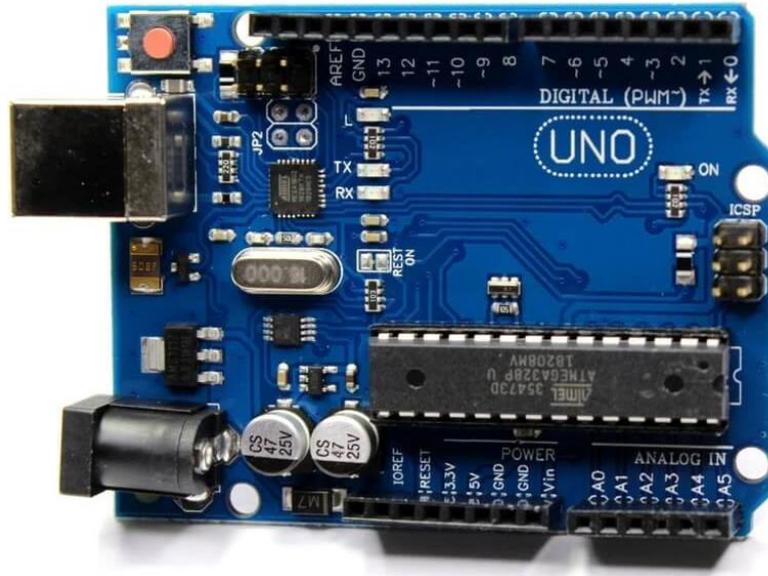
En el año 2016, en la Universidad Tecnológica Israel, la autora Karla Dayana Riera Ochoa, realizó la tesis en el tema de investigación “Automatización de puerta e implementación de sensor de movimiento para el parqueadero UISRAEL “, en lo que respecta a la carrera en Electrónica Digital y Telecomunicaciones. En la investigación se plantea el problema en el sistema de control de la puerta principal que en ese entonces se encontraba averiada por el uso excesivo de un mando a distancia que terminó dañando el motor que accionaba la puerta, además de no contar con un sistema que controle el encendido de las luces, toda vez que permanecían encendidas en todo el transcurso de los horarios de clases.

En el tema de investigación se planteó la integración de un sistema de control a distancia mediante una placa Arduino con un módulo RF, facilitando la apertura y cierre de la puerta sin que tener que bajarse del vehículo o que otra persona esté dedicada a esta actividad, además del control sistemático de las luces de iluminación del área de estacionamiento, ya que según los datos de la investigación se trata de un área subterránea, para que las luces se enciendan cuando se detecte un objeto y luego de la ausencia se apaguen ahorrando electricidad. Para ello se usaron sensores de proximidad, módulos RF Tx y Rx, pulsadores de tipo industriales, placa Arduino, relés de salida de control y potencia para el manejo del motor eléctrico.

En la figura 2, se puede visualizar la constitución de una tarjeta Arduino Uno, con sus entradas y salidas que son configurables desde el software de Arduino el cuál es libre, además de sus puertos de comunicación y terminal para la fuente de poder.

Figura 2

Placa Arduino Uno en la que se pueden desarrollar cualquier tipo de proyecto de automatización.



Fuente: (Sojka, 2015)

Además de la placa Arduino la investigadora se ayudó de la utilización de los controles remotos del tipo RF, los módulos de salida de Arduino (relés de salida de 5VDC), sensores de proximidad y los pulsadores normalmente abiertos tipo industriales, para que soporten las condiciones severas del uso masivo. En el desarrollo de la investigación la autora manifestó que se logró cumplir con los objetivos establecidos, lo que nos dice que la implementación tras sus estudios realizados cumplió satisfactoriamente las expectativas deseadas.

En lo que respecta a este tema de investigación, proporcionó un gran aporte en lo que respecta a la selección de los sensores de proximidad, ya que el “Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”, si va a requerir de un sensor de proximidad para detectar el camino ascendente o descendente de la palanca de control mecánico de avance del fuel rack. (Riera Ochoa, 2019).

En el año 2020, se publicó en la Revista Ibérica de Sistemas e tecnologías Informação RISTI, una documentación de investigación desarrollada por los señores, Flavio Morales, German Haro, Millard Escalona y Renato M. Toasa, de la Universidad Israel con el tema de publicación denominado, “Sistema de control y monitoreo bajo los protocolos ethernet y modbus RTU, en el control de sistemas de cintas transportadoras para línea embotelladora de bebidas”.

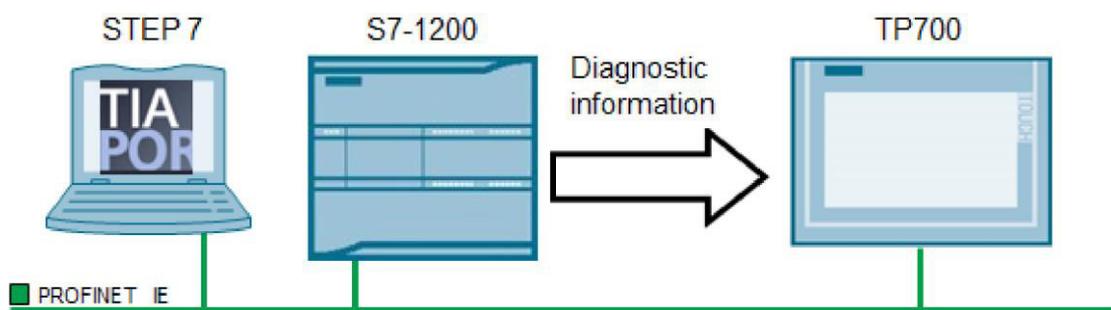
En el desarrollo de la investigación realizada, se detectó que los operadores tenían que manipular los controles de las bandas o cintas transportadoras de manera manual, esto era desde el encendido de la etapa eléctrica de potencia hasta la regulación de la velocidad de los variadores, poniendo en peligro su propia integridad, además de la ineficiente producción. En el proyecto se propuso la mejora del sistema de control mediante la reingeniería de un tablero de control existente en las instalaciones de la fábrica, aprovechando los equipos existentes, con la implementación de un sistema de redes industriales, mejorando de esta manera, la eficiencia de las comunicaciones.

Para esta mejora los investigadores decidieron emplear para las comunicaciones entre el PLC, la pantalla de operación y la PC de ingeniería el protocolo Ethernet y, para la comunicación entre el PLC y el variador se seleccionó el protocolo Modbus TCP/IP.

En la figura 3, se puede apreciar de manera clara la configuración de la red establecida por los autores para llevar a cabo las comunicaciones entre los dispositivos tales como el PLC, la pantalla de operación y el PC de ingeniería. Para este tema de investigación se usó el software de ingeniería de la marca SIEMENS llamado TIA PORTAL, el PLC es el S7-1200 y la pantalla de operador es del modelo TP700.

Figura 3

Esquema típico de una conexión ethernet industrial, con el ejemplo de la marca SIEMENS.



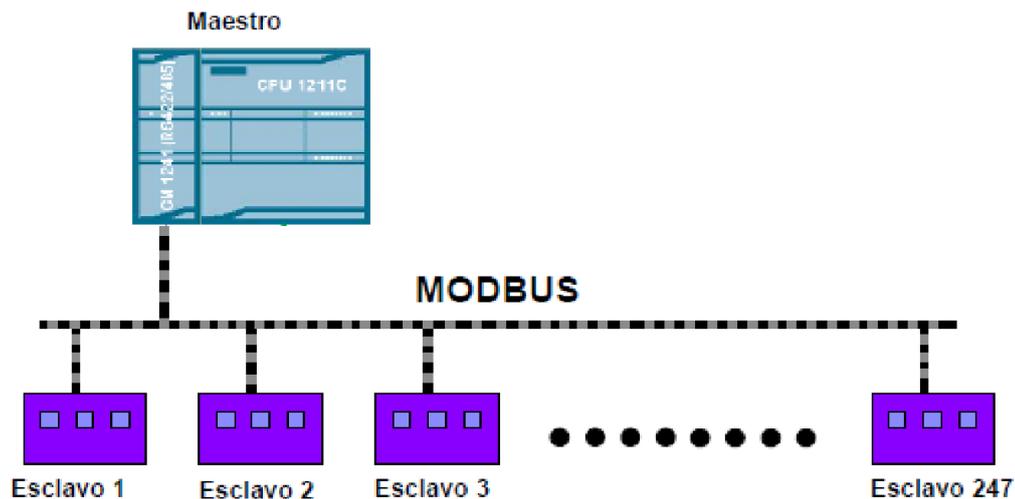
Fuente: (Morales, 2020)

Las conexiones eléctricas en esta investigación, se realizaron desde las entradas y salidas tanto del PLC S7-1200 y el variador Danfoss VLT Micro FC 51, así también la comunicación por medio del protocolo Modbus TCP/IP mediante una tarjeta que se adaptó al PLC para que ambos equipos compartan información de estados de funcionamiento.

En la figura 4, se puede apreciar de manera muy clara y concisa la arquitectura típica de un enlace de red mediante el protocolo modbus TCP/IP, donde vemos la disposición de los dispositivos que integran la red.

Figura 4

Modelo maestro de una conexión típica para comunicación mediante red Modbus



Fuente: (Morales, 2020)

Gracias a esta investigación, se pudo entender lo ejecutado luego del análisis teórico práctico realizado, y que dió excelentes frutos luego de la implementación ya que se evitaron los tiempos muertos debido a las intervenciones repetitivas que debían realizar los operadores además de que, con el sistema de red de comunicaciones, se tiene acceso a todos los dispositivos que la conforman. Esto nos ayudó a seleccionar los dispositivos de control y la red en la que se los conectará para poder establecer los lazos de comunicaciones necesarios para llevar a cabo el “Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”, (Morales, 2020)

1.2. Proceso investigativo metodológico

El desarrollo del proyecto de implementación del “Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”, se basará en el ámbito de observación experimental-científica, esto es porque como primer paso, se debe comprender el funcionamiento del gobernador Woodward UG-8 de los grupos electrógenos de la Central, así como sus características técnicas de operación para que el proyecto propuesto cumpla con el objetivo de ésta investigación.

En este caso se ha empleado los enfoques cualitativos y cuantitativos (enfoque mixto), ya que se requiere disminuir al máximo los tiempos de indisponibilidad registrados en los históricos, en función de la actividad de mantenimiento que se realiza por parte del Departamento de Mantenimiento Mecánico de la Central.

Para solucionar el fenómeno presentado, se realizará un estudio de la importancia de la implementación de un banco de pruebas para los gobernadores de velocidad, basado en los datos estadísticos de los tiempos de indisponibilidad de las unidades que hayan sido intervenidas para efecto de la calibración de los reguladores de velocidad (gobernadores), debido a que el tamaño de la población es de 53 unidades; por lo tanto, se tomará como muestra para la “línea base” un gobernador nuevo y calibrado por el fabricante, según sus normativas establecidas, lo que servirá para realizar los respectivos ensayos de calibraciones y reparaciones de ser el caso, en los equipos a ser intervenidos.

Técnicas aplicadas para el estudio metodológico de investigación

La metodología de investigación que impulsa a la propuesta de la implementación del banco de pruebas son las siguientes:

Método de observación científica. - se debe conocer a fondo el funcionamiento teórico del gobernador Woodward UG-8, que es el instrumento en que se basa la presente propuesta, sus características técnicas operativas y los manuales de mantenimiento que el fabricante facilita a sus clientes.

Método de observación experimental. - servirá para determinar las variables que se presentan en la investigación científica, con el fin de contrastar las hipótesis teóricas del proyecto a implementar.

Variable independiente. – las unidades de generación son solicitadas por CENACE para cumplir con el despacho diario de generación, lo que hace entender que las horas de funcionamiento de las máquinas depende directamente de un ente regulador.

Variable dependiente. - estado óptimo del sistema de gobierno de velocidad, tomando en cuenta las técnicas aplicadas para los mantenimientos; por lo tanto, la disponibilidad de las unidades (para el caso de los gobernadores de velocidad), depende directamente del personal de mantenimiento mecánico, en sus actividades, destrezas, equipos de prueba, entre otros.

Las variables dependientes e independientes se correlacionan de manera positiva, ya que a mayor solicitud de carga por parte del CENACE, las unidades cumplen en menor tiempo las horas establecidas por el fabricante para realizar los mantenimientos programados (cada 3000 horas), lo que ocasiona que el personal de mantenimiento tenga que intervenir con mayor prontitud en cada unidad, así mismo; se necesite mayor mano de obra, mejores métodos de trabajo para poder cumplir con las metas establecidas, todo para que Producción pueda mantener más unidades disponibles, es allí donde el proyecto propuesto entra en acción; toda vez que al mantener gobernadores en stock, el personal realizará esta actividad en un tiempo mucho menor al que en la actualidad se realiza.

Un factor adicional que se aplicará para el desarrollo de la metodología de investigación para el proyecto propuesto son las entrevistas, para ello se basará en las opiniones de la población de trabajadores que estén involucrados directamente con el objeto de la presente propuesta.

El personal de operaciones (producción), por estar ligado al despacho de las unidades y permanecer las 24 horas del día en turnos rotativos, conocen de primera mano las necesidades de cada una de las unidades, así como también entienden el impacto que causaría la implementación de un proyecto que ayude a mejorar la calidad del servicio por parte del personal de mantenimiento.

El personal de mantenimiento mecánico, por estar ligado al trabajo directo en las unidades; por lo tanto, conocen de manera directa los beneficios que ocasionará la implementación del proyecto que se propone en el presente tema de investigación. De la misma manera se benefician también las jefaturas de mantenimiento y supervisores; toda vez que al mantener gobernadores en stock (con la implementación del banco de gobernadores), ese mismo personal estará disponible para realizar otras actividades que se requieran dependiendo de la naturaleza de sus puestos de trabajo.

Con la fundamentación teórica y conociendo los métodos de investigación disponibles, es posible la construcción de un “Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”, que implemente una estructura mecánica que soporte el peso del gobernador y de la misma forma pueda albergar dentro de sí, todos los componentes y tecnologías que formarán parte de este proyecto, y de esta manera se cumpla con los objetivos establecidos para el beneficio de la central.

CAPÍTULO II: PROPUESTA

2.1 Fundamentos teóricos aplicados

Introducción

Para proceder con la implementación del “Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”, es necesario conocer los dispositivos que se van a utilizar, seleccionándolos por sus características técnicas tecnológicas para cumplir los objetivos establecidos.

El primer paso es, comprender el funcionamiento del gobernador UG-8, que es el centro de atención del proyecto. Este equipo es de la marca Woodward Governor Company publicado en el año 1982. Brevemente se describe al gobernador como un equipo que trabaja mediante un equilibrio basado en el regulador centrífugo de Watt, su funcionamiento se basa en que a medida que aumenta la velocidad de la máquina, los contrapesos se elevan debido a la fuerza centrífuga arrastrando consigo un eje que se denomina biela y, que ésta a su vez controla la apertura de una válvula que regula el caudal de combustible con el que la máquina se impulsa (para nuestro caso es combustible fósil Diesel Oil o Bunker). Woodward, 1982).

Descripción del funcionamiento del banco de pruebas de gobernadores de velocidad

Por tratarse de la simulación del funcionamiento del gobernador en un motor o turbina, el banco de pruebas se basará en un equipo llamado variador de velocidad o inverter, el cuál mediante su electrónica interna es capaz de controlar la velocidad del motor eléctrico que se ha seleccionado (motor asíncrono de inducción de 1 kW 220 VAC trifásico), también con las interfaces de sus entradas y salidas (discretas y analógicas), se puede realizar los enlaces para establecer el control; mediante la lógica de programación del PLC, pantalla táctil de operación, los sensores y transductores periféricos, todos configurados desde el software de ingeniería TIA Portal de SIEMENS.

A continuación, se detallan las características tecnológicas de cada uno de los dispositivos que integrarán nuestro banco de pruebas de gobernadores de velocidad.

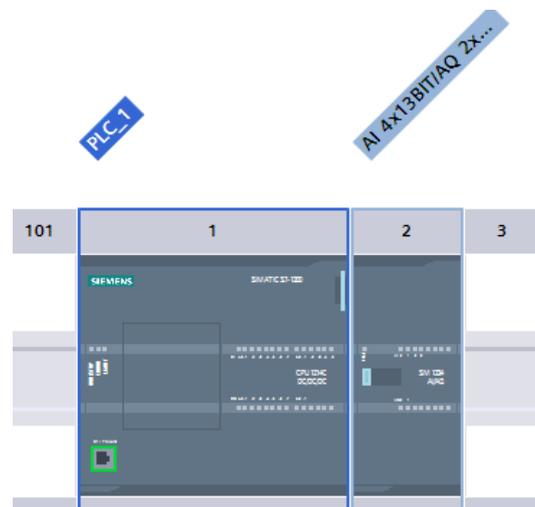
Controlador lógico programable PLC SIMATIC S7-1200

Para nuestro proyecto seleccionamos el PLC de SIEMENS S7-1200 / 6ES7 214-1AG31-0XB0, el cuál cuenta con 14 entradas digitales 24 VDC, dos entradas analógicas integradas de 0-10 VDC, 10 salidas digitales, una memoria de datos de 75 Kb para las configuraciones y programaciones del dispositivo.

La programación se basa en lenguaje KOP, en las que se integrarán los datos que se adquieren desde el mundo físico, mediante las entradas discretas y analógicas, la implementación de un módulo adicional de entradas y salidas analógicas del modelo 6ES7 234-4HE32-0XBO SIEMENS S7-1200 SM 1234, 4AI/2AO, además se debe adicionar un módulo de entradas y salidas analógicas que nos servirá para las lecturas de las entradas desde los dos transductores de presión (bombas de presión de aceite del gobernador), la señal proveniente del sensor de velocidad (sensor magnético pickup), y la señal de salida de esta tarjeta AQ 0.0, que es la que se conectará con la entrada analógica en rampa de 0-10 VDC del variador de frecuencia.

Figura 5

Imagen del PLC S7-1200 y el módulo de entradas y salidas analógicas de la marca SIEMENS, seleccionado para el proyecto.



En la figura de arriba se visualiza la estructura de conexión entre el CPU del PLC S7-1200 y el módulo de entradas y salidas analógicas, de los cuales se dispone para poder establecer la lógica de programación y las interfaces de entradas y salidas.

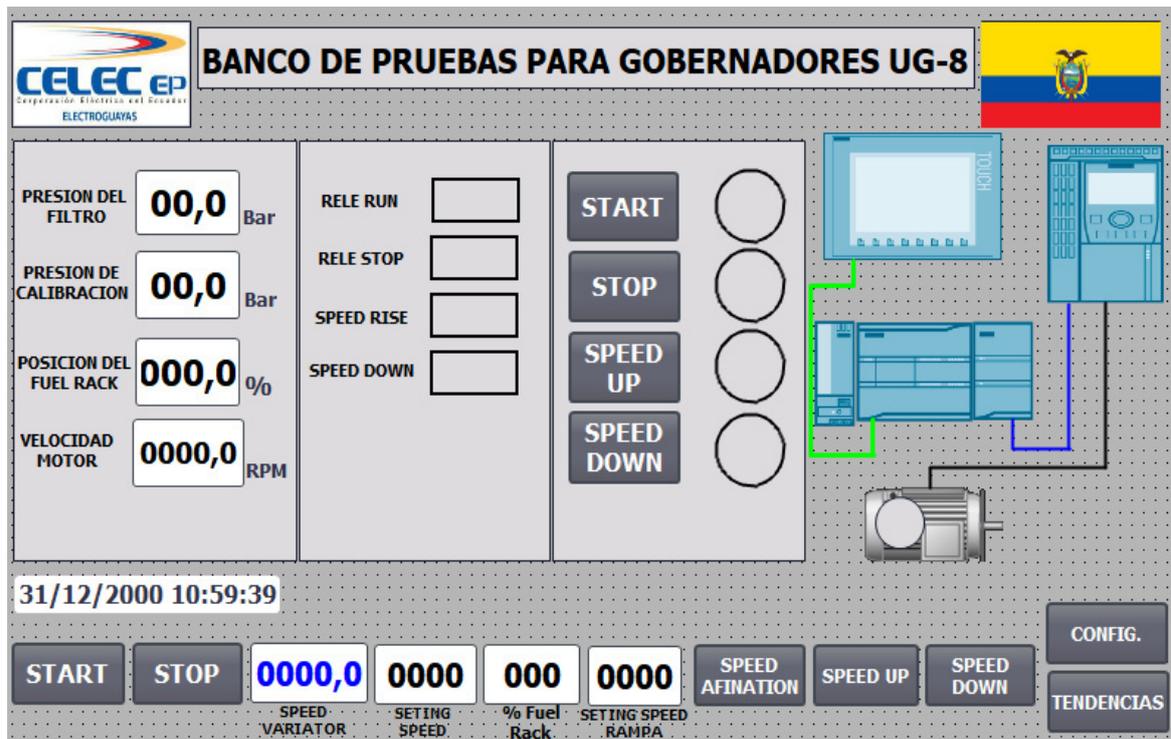
Pantalla táctil de operación SIMATIC KTP-700

Se necesita un dispositivo que permita visualizar los datos que se procesan en el PLC, para ello está seleccionada la pantalla táctil SIMATIC KTP-700, que tiene excelentes prestaciones y facilidades para la programación del software de desarrollo de la ingeniería. El banco de pruebas recibe datos físicos desde el mismo gobernador a través de conexiones mecánicas (acoples y mangueras), que se conectan con dos transductores para poder leer la presión de la bomba de aceite interna que tiene el equipo, así mismo, se tienen otras lecturas como la velocidad del giro del gobernador y los estados lógicos del motor de sincronismo, todos esos datos serán reflejados

en la pantalla de operación para que el técnico de mantenimiento pueda verificar de manera fácil e intuitiva los datos para la correcta calibración.

Figura 6

Vista de la pantalla principal del proyecto, en la que se puede tener acceso a los comandos y visualizar los estados lógicos, digitales y analógicos del banco de pruebas.

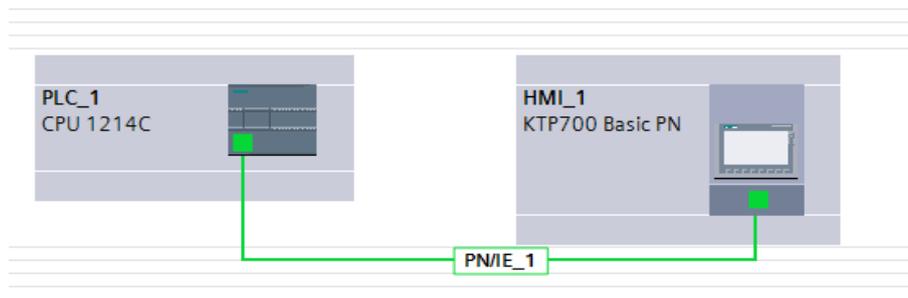


Software de desarrollo de ingeniería de programación TIA Portal V 15.0

Para la configuración de los dispositivos de control, desarrollo de ingeniería y parametrizaciones (PLC y Pantalla Táctil), está disponible el software de ingeniería TIA Portal Versión 15.0, con su respectiva licencia de SIEMENS. Mediante la herramienta de conexión en el software TIA Portal, se enlaza los equipos PLC y pantalla para su comunicación en red ethernet con las direcciones para PLC IP 192.168.0.1 y, para la pantalla IP 192.168.0.2. El medio físico para el transporte de los datos es el cable UTP Categoría 5 (patch cord UTP terminales RJ45), y además cuenta con un switch ethernet de 4 puertos para dejar un patch cord disponible para fácil conexión con la estación de ingeniería.

Figura 7

Configuración de conexiones de red entre pantalla y PLC en el software TIA Portal



Variador KEWO para el control de velocidad del motor eléctrico 220V-3Ø

El equipo seleccionado cuenta con la tecnología de electrónica de control y potencia, ya que los variadores de frecuencia basan su funcionamiento en el control de los fasores de voltaje, frecuencia y corriente mediante su electrónica interna. El motor eléctrico que se ha seleccionado es una máquina trifásica de 1.5 caballos de fuerza (1.5 HP), a una tensión de funcionamiento de 220 voltios trifásicos.

El variador de frecuencia de control vectorial de alto rendimiento AD350, es un controlador de motor eléctrico de propósito general de nueva generación desarrollado de forma independiente por KEWO. Con la aplicación de una nueva generación de tecnología avanzada de control vectorial de alto rendimiento, el control de par alto incluso a baja velocidad, la precisión de alta velocidad, la respuesta de par rápida y el rango de velocidad alto están disponibles para un control de motor sofisticado. Se caracteriza por tener un diseño modular, tamaño pequeño, pequeño aumento de temperatura, bajo nivel de ruido y rendimiento confiable. Ha incorporado PLC simple, ajuste PID, función de terminales de entrada y salida programables, RS458. (KEWO, 2022).

Figura 8

Imagen del variador de frecuencia con capacidad de 2.2 KW, marca KEWO, seleccionado para el control de velocidad del motor polifásico de 220V/1.5KW.



Fuente: (KEWO, 2022)

Transductor de Presión TRAFAG (Modelo #060G1137).

Las lecturas de la presión de la bomba y su retorno son de mucha importancia como dato, para la correcta interpretación del estado interno de los componentes del gobernador, por lo que se hace muy necesaria su implementación en el banco de pruebas. Se conoce que la presión que levanta la bomba de aceite puede llegar a un máximo de 130 PSI (8.8 Bares), los transductores deben ser capaces de soportar esa presión y por esa razón su escala para este uso es del rango de 0-10 Bares (0 a 150 PSI), la salida de corriente que envía el transductor al PLC es de 4-20 mA con una conexión eléctrica tipo DIN (conector de capuchón plástico con sellos de caucho), para evitar que se introduzca humedad en los pines de conexión.

El banco de pruebas de gobernadores de velocidad, usa dos unidades para detectar o leer las presiones, una de test, entre 8 a 8.5 bares y otro para leer la presión de aceite de salida del filtro o retorno que ronda los 4 a 5 bares. La primera lectura le da la idea al técnico de la salud de la bomba, mientras que la segunda lectura le muestra si el cilindro y pistón de poder se encuentran con y sin aire y si la presión es muy baja, le dirá que existe desgaste en esos dos componentes.

Los modelos seleccionados son fabricados por Danfoss, y gracias a su confiabilidad forman parte de este proyecto.

Figura 9

Transductor de presión escala 0-10 Bares, salida 4-20 mA, conexión roscada ¼ NPT, que se conecta a la conexión mecánica del gobernador para prueba de calibración.



Fuente: (TRAFAG, 2021)

Sensor de velocidad pickup TRAFAG

Las máquinas rotativas que impulsan a otras máquinas, requieren de un sistema de monitoreo que permita visualizar la velocidad con la que están girando en el proceso, es por ello que se ha seleccionado un sensor del tipo magnético, el mismo que ha sido ubicado estratégicamente en el acople entre el eje del motor eléctrico y el eje del gobernador, donde se

ha dispuesto de un perno de hierro que al pasar muy cerca del sensor causa una atenuación en la punta del sensor, generando un pulso. Este pulso es enviado mediante un cable hacia un dispositivo llamado convertidor (convierte una energía eléctrica de una magnitud en otra), que recibe los datos de frecuencia (pulsos emitidos por el sensor), y los convierte en una señal de corriente de la escala de 4 a 20 mA, la misma que es recibida por el PLC en su entrada analógica y esa lectura será más tarde mostrada en el panel de operación.

Figura 10

Sensor de velocidad tipo Pickup, con cuerpo totalmente roscado para fácil regulación y conector eléctrico universal.



Fuente: (TRAFAG, 2021)

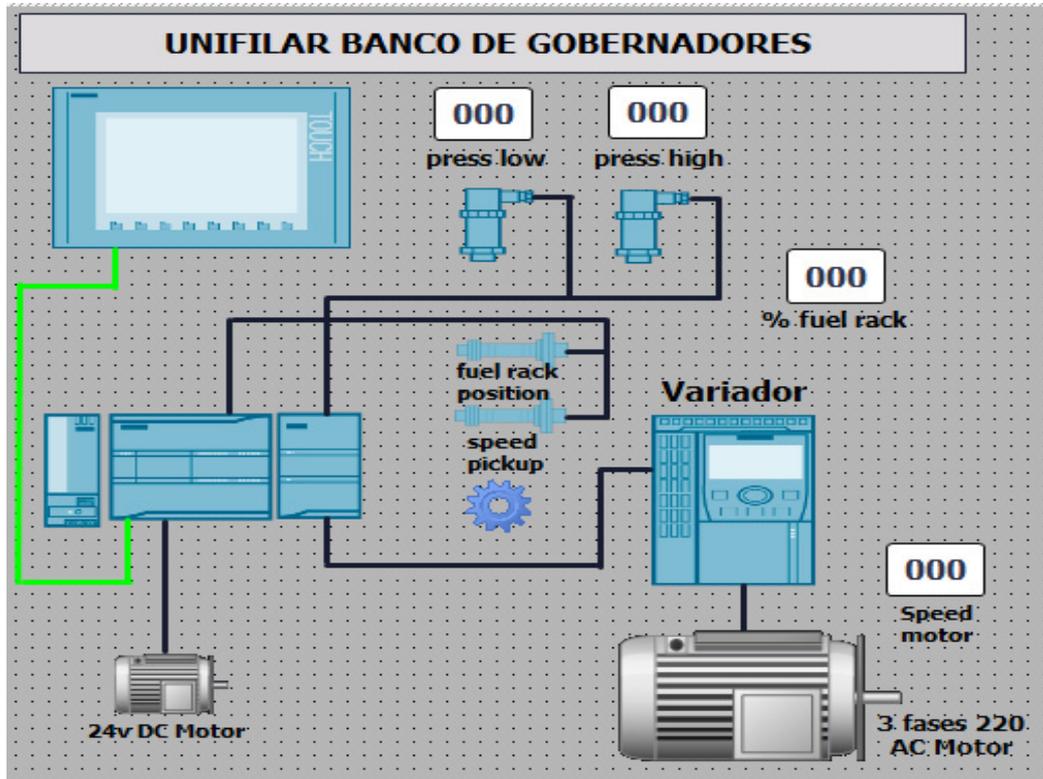
2.2 Descripción de la propuesta

El Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena, será de gran ayuda para los trabajos de calibraciones y reparaciones que realiza el personal técnico mecánico, porque al simular el funcionamiento de un motor de combustión, se pueden verificar los datos técnicos, simulaciones de las rampas de arranque, y con ello no tener que ir al motor y montar el gobernador para realizar las pruebas de afinación, debido a que en la actualidad no contamos con este equipo.

Al contar con el banco de pruebas de gobernadores de velocidad, se ahorrará mucho tiempo y energía para el personal, ya que el gobernador es un equipo pesado (aproximadamente 50 Kg), y el lugar donde se debe montar en la máquina, queda a 1.5 metros de altura con relación al piso, por lo tanto; se trata de un punto de motivación para realizarlo lo antes posible; sin embargo, lo más importante es que se podrán realizar las reparaciones y calibraciones en el taller mecánico y el equipo será instalado en la máquina con la total confianza de que va a funcionar de la mejor manera.

Figura 11

Diagrama unifilar de conexiones entre elementos periféricos de entrada, salida, controlador, pantalla de operación y conexión de red ethernet entre PLC y HMI.



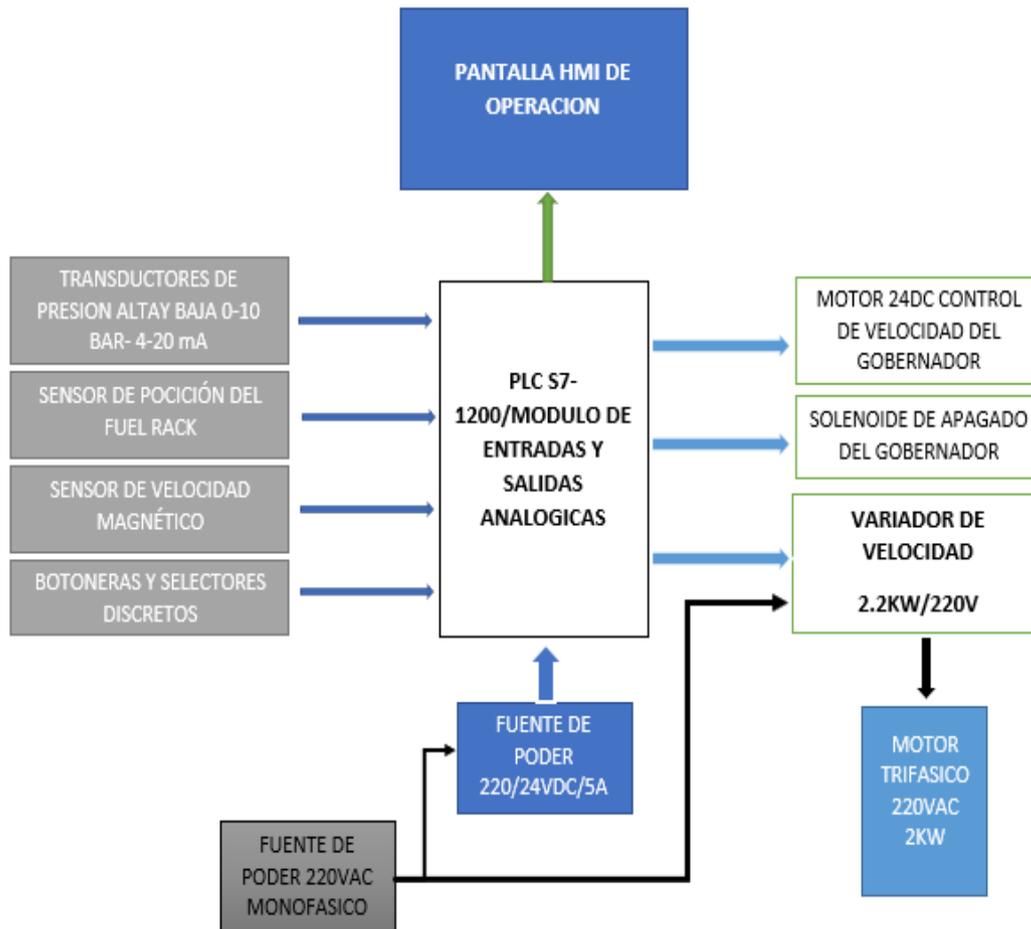
En la figura de arriba se puede apreciar de manera intuitiva las disposiciones de cada elemento que conformará el banco de pruebas; ya que cada sensor, dispositivo de control y actuador, aportan significativamente para conseguir el objetivo que se ha planteado en este trabajo de investigación.

a. Estructura general

En la estructura general se muestra mediante un diagrama de bloques, cada uno de los componentes que forman parte del proyecto "Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena", siempre que una imagen puede hablar mejor y mucho más que mil palabras.

Figura 12

Diagrama de bloques, donde se especifica cada elemento que conforma el sistema de control del banco de gobernadores hidráulicos de velocidad de motores de combustión interna.



En el diagrama esquemático podemos visualizar de manera didáctica desde las entradas periféricas (sensores, transductores y botoneras), el controlador lógico programable donde se puede ver claramente las entradas y sus salidas, además de la comunicación con la pantalla de operación HMI, las salidas que interactúan con el controlador y, por último, pero no menos importante, el motor eléctrico.

b. Explicación del aporte

El banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena, será un equipo que sumará un valor agregado al “Departamento de Mantenimiento” en lo que respecta a los trabajos referentes a reparaciones y calibraciones del corazón del motor de combustión (gobernador de velocidad), ya que al entregar este equipo correctamente calibrado y al no perder tiempos en las pruebas en la misma máquina, se mejorará de forma sustancial el servicio técnico, toda vez que nuestro principal cliente es el Departamento de Operaciones o Producción.

La forma en que se mide a Producción es la generación de recursos económicos para la empresa, mientras que a Mantenimiento se lo mide por la inversión de esos recursos y que se

destinan a la conservación de los bienes de la empresa y además, el tiempo en que una máquina está fuera de servicio genera un lucro cesante, que representa pérdidas por no estar disponible; es en este punto en que proyectos como el que se está presentando, permiten que los tiempos de indisponibilidad se acorten significativamente; es decir, tiempos en las consignas más cortos que a su vez representa dinero ahorrado, lo que termina ocasionando beneficios para la empresa.

El principal beneficio es que, cuando el gobernador se calibre en el banco de pruebas, el técnico mecánico no tendrá la necesidad de realizar pruebas de calibraciones de ninguna índole en la máquina, porque esto representa un gran peligro, tanto para el técnico y el operador ya que, si la máquina pierde el control de la velocidad por un gobernador defectuoso, puede llegar a afectar la integridad física del personal en campo, así como para el mismo motor. Hasta la actualidad solo se han reportado incidentes menores durante la ejecución de estas pruebas; sin embargo, no es una buena idea esperar a que ocurra una desgracia para tomar cartas en el asunto; sino más bien hay que adelantarse a los hechos y desarrollar soluciones a los problemas que se presentan en el diario vivir.

c. Estrategias y/o técnicas

Todos los proyectos empiezan por un diseño que tiene como base satisfacer una necesidad o la resolución de un problema planteado. Ante ello para la presente propuesta se desarrollan los siguientes pasos a ejecutarse de forma consecutiva hasta llegar al producto final.

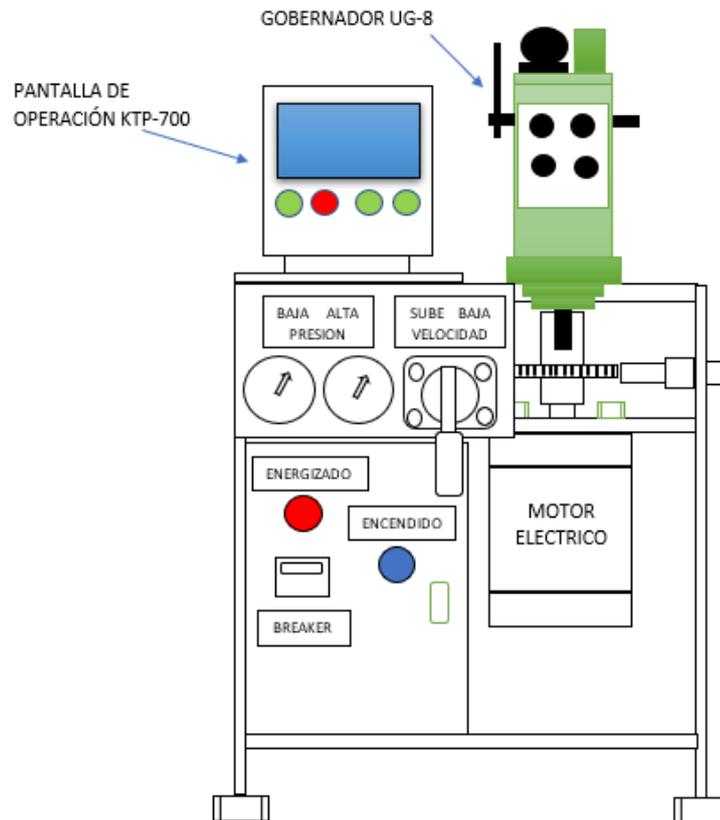
Diseño de la estructura metálica del banco de pruebas de gobernadores de velocidad.

Con la selección de las tecnologías que conformarán la propuesta del banco de gobernadores de velocidad, es necesario diseñar una estructura metálica que sea capaz de soportar el peso del gobernador de velocidad UG-8 y el motor eléctrico trifásico, además de los dispositivos tecnológicos como lo son; PLC, pantalla HMI, variador de velocidad, sensores y transductores, y que tenga las prestaciones necesarias para la instalación del cableado de control y fuerza.

La estructura metálica de soporte del banco de pruebas será de material acero, con la ayuda de personal experto en soldaduras y fabricación de estructuras será posible realizarlo, ante ello se debe realizar el bosquejo del diseño preliminar al cual se quiere llegar. Con el diseño se determinan las cantidades de materiales que se necesiten para su confección, para ello se solicita la colaboración del Departamento de Soldadura de la Central, reutilizando materiales tales como; planchas de acero inoxidable, ángulos de acero negro, tubos cuadrados de acero negro, pernos de sujeción y soldadura tipo 6011.

Figura 13

Diseño de la estructura metálica para el banco de pruebas de gobernadores de velocidad UG-8



Culminada la estructura metálica en lo que respecta a los cortes, soldaduras y otros trabajos de metalmecánica, se pinta la estructura para darle un toque de presentación y lo más importante, evitar que los materiales utilizados (en su mayoría acero negro), sufran corrosiones debido a que el ambiente en el medio donde se encuentra ubicada la Central Santa Elena es salino por estar cerca del mar.

Diseño de los planos eléctricos para el conexionado de los sensores, dispositivos de control y actuadores.

Una parte muy importante del diseño es la elaboración de los diagramas eléctricos; por lo tanto, al conocer las características técnicas de cada uno de los instrumentos y dispositivos que conformarán el banco de pruebas de gobernadores de velocidad, se procede con la realización de los planos de las conexiones eléctricas y para ello se utilizó la herramienta informática denominada CadeSimu, ya que es un software de libre acceso y muy versátil para este tipo de trabajos, toda vez que se pueden realizar simulaciones para verificar que las conexiones estén realizadas correctamente.

Figura 14

Conexiones eléctricas y red ethernet entre pantalla táctil KTP-700 y PLC S7-1200.

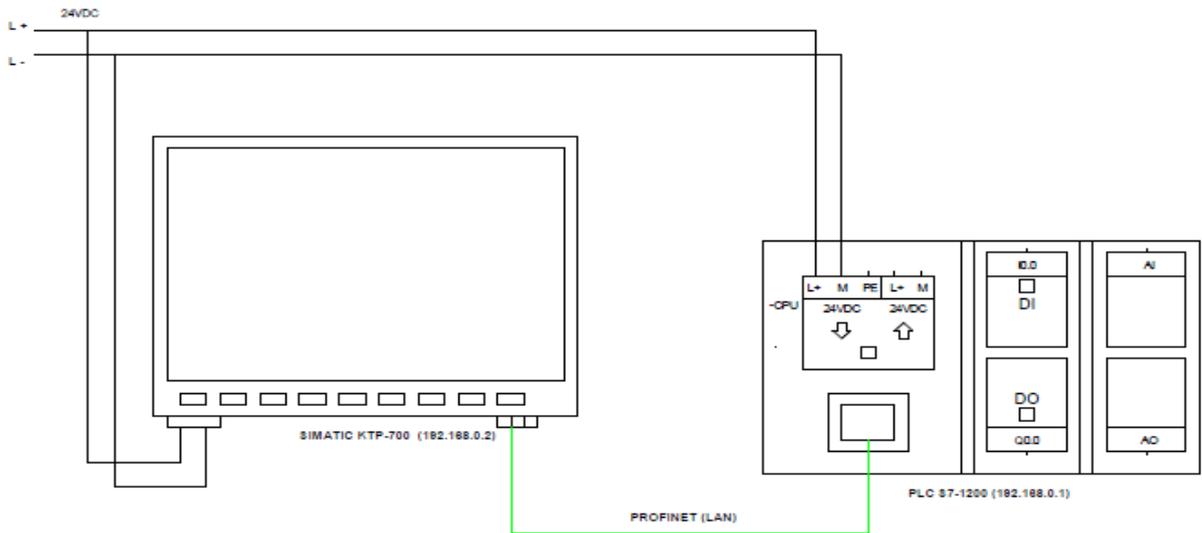
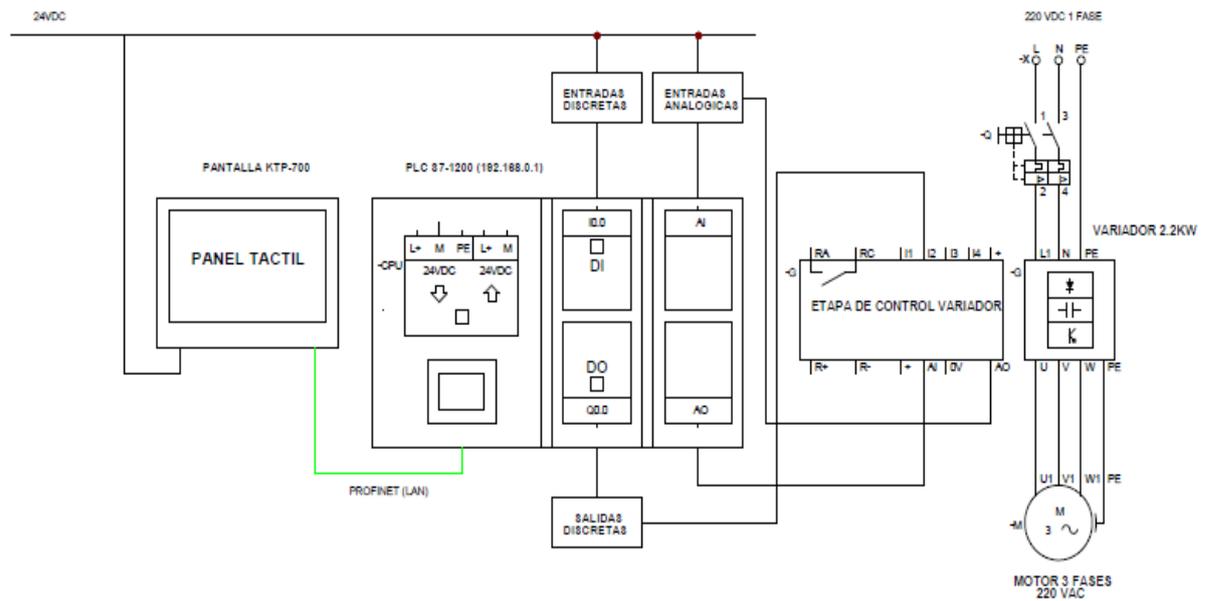


Figura 15

Diagrama eléctrico unifilar de todos los componentes del Banco de pruebas de gobernadores UG-8.



En las figuras de arriba se observan las conexiones eléctricas entre los dispositivos de control y los periféricos; sin embargo, en los anexos se da más detalle sobre los diagramas eléctricos y electrónicos del proyecto.

Programación de la lógica para la simulación del funcionamiento de un motor de combustión interna.

Una vez que se han diseñado los diagramas eléctricos, se puede pasar al paso del uso del software de desarrollo de ingeniería (TIA Portal V15), para ello se han realizado las líneas de programación a partir de las investigaciones técnicas experimentales del funcionamiento de los gobernadores de velocidad, ya que este software permite integrar de manera transparente las comunicaciones entre el controlador y la pantalla de operación, para la visualización de los datos que se recolectan desde las entradas del PLC y sus salidas, elementos que ya se conocen y que se han dispuesto de manera estratégica en cada punto del banco de pruebas, según el diseño que se ha establecido.

En el software de programación se han integrado los dos dispositivos que intercambiarán datos entre sí, para establecer la comunicación ethernet con el respectivo direccionamiento IP. Una vez que se ha dispuesto las conexiones de red entre los dispositivos, se procede con la edición de las variables de entrada y salida del controlador, esto se realiza en base a la información de los elementos que conforman el banco de pruebas, como son: los dos sensores de presión (0 a 10 Bar), sensor de velocidad magnético, sensor de posición, entradas discretas (pulsadores de marcha, paro y selector de tres posiciones para subir y bajar velocidad), las salidas discretas y salidas analógicas.

De esta manera se crea el mapa de datos para las entradas y salidas, además del bloque de datos para accesos remotos y conexiones con dispositivos de otras tecnologías de llegarse a dar el caso. En las propiedades del PLC se debe activar la opción “habilitar la utilización de byte de marcas de ciclo”, para tener a nuestro favor las marcas de reloj del controlador, esto nos puede servir para un sin número de opciones, como por ejemplo los contadores de horas de trabajo, tiempos para las tomas de muestreo de datos (latencia), entre muchas otras opciones disponibles.

Figura 16

Detalle de los nombres de las entradas físicas del PLC S7-1200, en el software TIA Portal, en la tarjeta de entradas analógicas del CPU.

PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/DC]					
Propiedades					
General		Variables IO	Constantes de sistema	Textos	
	Nombre	Tipo	Dirección	Tabla de variables	Comentario
	POS_FUEL_RACK	Int	%IW64	Tabla de variables estándar	POSICION FUEL RACK
	VARIATOR_INLET_FREQ	Int	%IW66	Tabla de variables estándar	ENTRADA 0-10VDC DESDE VARIADOR
	RUN	Bool	%IO.0	Tabla de variables estándar	PULSADOR DE MARCHA
	STOP_1	Bool	%IO.1	Tabla de variables estándar	PULSADOR DE PARO
	SPEED_UP	Bool	%IO.2	Tabla de variables estándar	SELECTOR SPEED UP
	SPEED_DOWN	Bool	%IO.3	Tabla de variables estándar	SELECTOR SPEED DOWN
	CARGA_SUBE	Bool	%IO.4	Tabla de variables estándar	
	CARGA_BAJA	Bool	%IO.5	Tabla de variables estándar	
	PULSE_INLET	Bool	%IO.6	Tabla de variables estándar	ENTRADA DESDE PICKUP
		Bool	%IO.7		

Figura 17

Detalle de los nombres de las entradas físicas del PLC S7-1200, en el software TIA Portal, en la tarjeta de entradas y salidas analógicas.

Datos del dispositivo					
AI 4x13BIT/AQ 2x14BIT_1 [Module]					
Propiedades					
General		Variables IO	Constantes de sistema	Textos	
	Nombre	Tipo	Dirección	Tabla de variables	Comentario
	PRESS_LOW	Int	%IW96	Tabla de variables estándar	SENSOR DE PRESION 1
	PRESS_HIGH	Int	%IW98	Tabla de variables estándar	SENSOR DE PRESION 2
	SPEED_SENSOR	Int	%IW100	Tabla de variables estándar	SENSOR DE VELOCIDAD
	Tag_1(1)	Int	%IW102	Tabla de variables estándar	DISPONIBLE
	SAIDA_AL_VARI...	Int	%QW96	Tabla de variables estándar	SALIDA 0-10VDC CTRL VARIADOR
	Tag_1	Int	%QW98	Tabla de variables estándar	DISPONIBLE

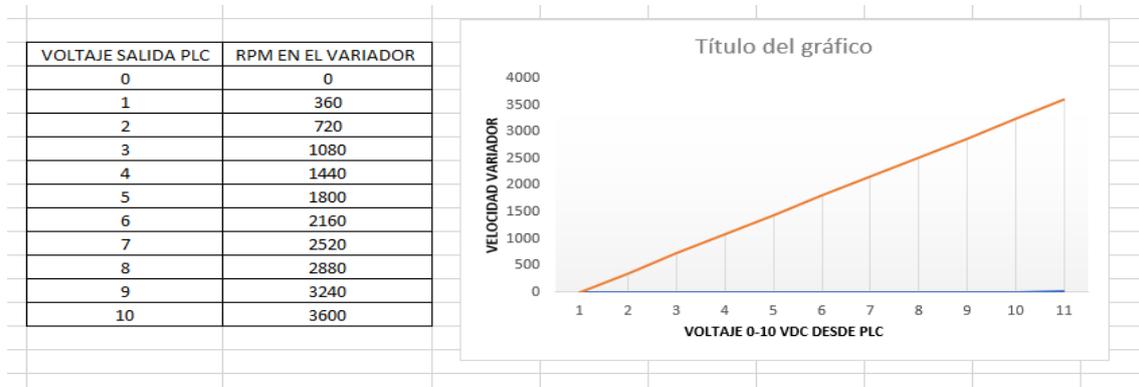
Una vez que se han declarado las variables directas e indirectas, se procede con el escalamiento de las señales analógicas y luego con el desarrollo de la ingeniería de programación mediante la lógica de contactos y funciones en las líneas de programación, que determinarán el control de los parámetros del banco de pruebas de gobernadores de velocidad.

Control de velocidad del motor eléctrico por medio del variador de frecuencia.

El PLC controla la rampa de velocidad del inversor mediante una salida analógica escalada entre 0 y 10 voltios directos, teniendo en cuenta que la velocidad máxima del motor eléctrico es de 3600 RPM a 60Hz (motor de dos polos), por lo que el análisis de esta representación se visualiza de mejor manera mediante el siguiente gráfico.

Figura 18

Análisis mediante un gráfico, sobre la curva representativa de la salida de voltaje desde el PLC con relación a las revoluciones por minuto del motor a través del variador de frecuencia.

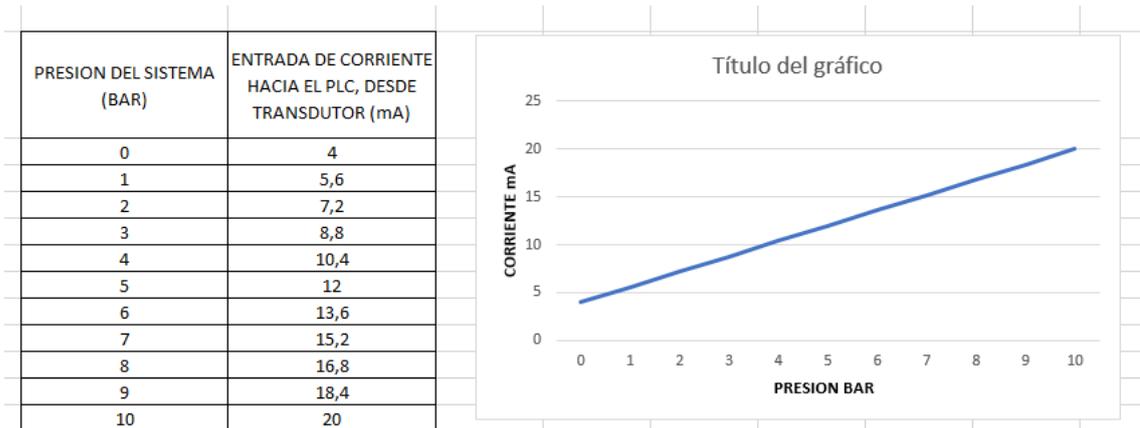


Para controlar de manera remota al variador (encendido y apagado), se ha dispuesto de sus entradas y salidas digitales que, a su vez se las controla a través del PLC con sus interfaces discretas, con el cableado de control. Esto está organizado de tal manera que se puede acceder a este control mediante la pantalla de operación y un selector digital instalado en la estructura metálica del banco de pruebas. Con el control eléctrico de la velocidad, mediante la programación de la rampa de velocidad del variador, se puede simular perfectamente las condiciones del motor de combustión interna y cualquier otro tipo de máquina rotativa; por lo tanto, ésta es la mejor manera de realizar las pruebas en el taller y de esta forma lograr los objetivos establecidos en esta propuesta.

En el caso de los transductores de presión, se realiza un método muy similar al explicado anteriormente, la diferencia es que no se trabaja con rampa de voltaje, sino que más bien se lo hace por medio de las rampas de corrientes, con escalas de 4 a 20 mA (escala industrial normalizada), y tomando en cuenta que el nivel de presión está comprendido en la escala de 0 a 10 Bares (0 a 150 Psi), se realiza el análisis de curva respectiva, que para 4 mA corresponde 0 bares (0 Psi), y para 20 mA corresponden los 10 bares (150 Psi).

Figura 19

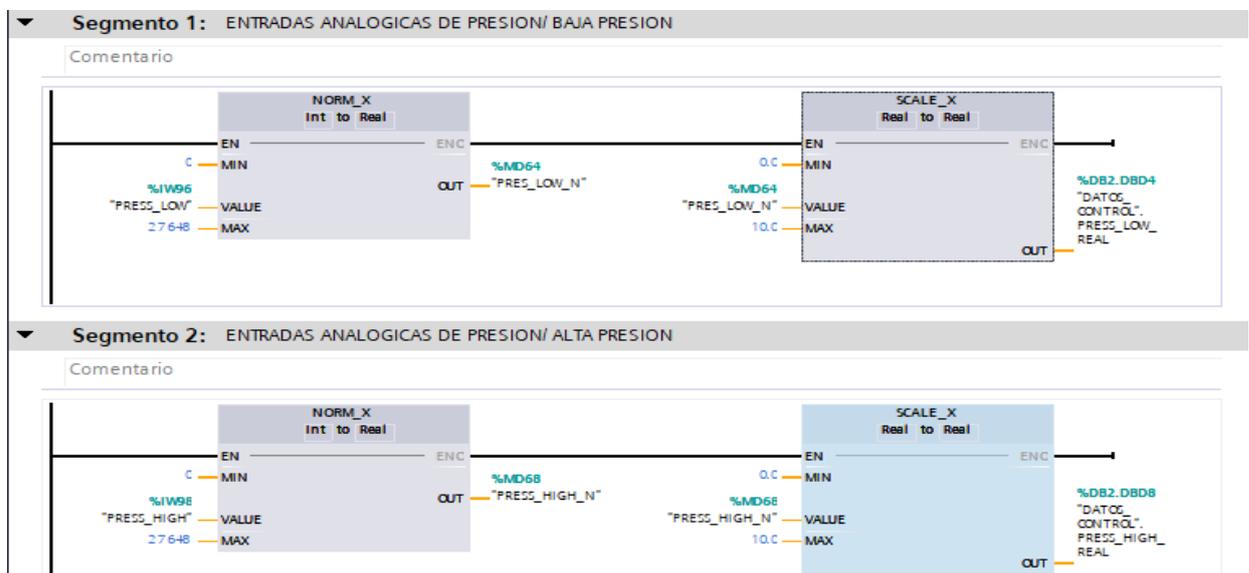
Análisis mediante el gráfico de la relación entre la presión y la corriente emitida por el transductor.



Bajo estos principios se aplican las técnicas de programación en el PLC S7-1200 para las entradas analógicas, bajo sus normalizaciones y escalamiento de las señales obtenidos desde los sensores y transductores. Las señales tratadas y escaladas son las que se muestran en la pantalla de operación bajo las nomenclaturas o variables del tipo "Real", debido a que las entradas son del tipo "Int", escaladas normalizadas desde 0 a 27648.

Figura 20

Ejemplo del detalle del escalamiento de entradas analógicas en el software TIA Portal con el PLC S7-1200.



En la pantalla de operación se realizaron imágenes que facilitan la interpretación de manera visual, y los datos obtenidos se representan mediante tendencias y cuadros numéricos, que ayudan a mejorar el trabajo del técnico mecánico al momento de calibrar o realizar ensayos de mantenimiento del gobernador de velocidad, al utilizar el banco de pruebas propuesto.

Figura 21

Interfaz del HMI para la visualización de los datos del gobernador, tendencias y curvas, además de los comandos mediante botones táctiles.



Implementación del diseño eléctrico en la estructura metálica, instalación de sensores, actuadores y armado del panel de control del banco de gobernadores de velocidad UG-8.

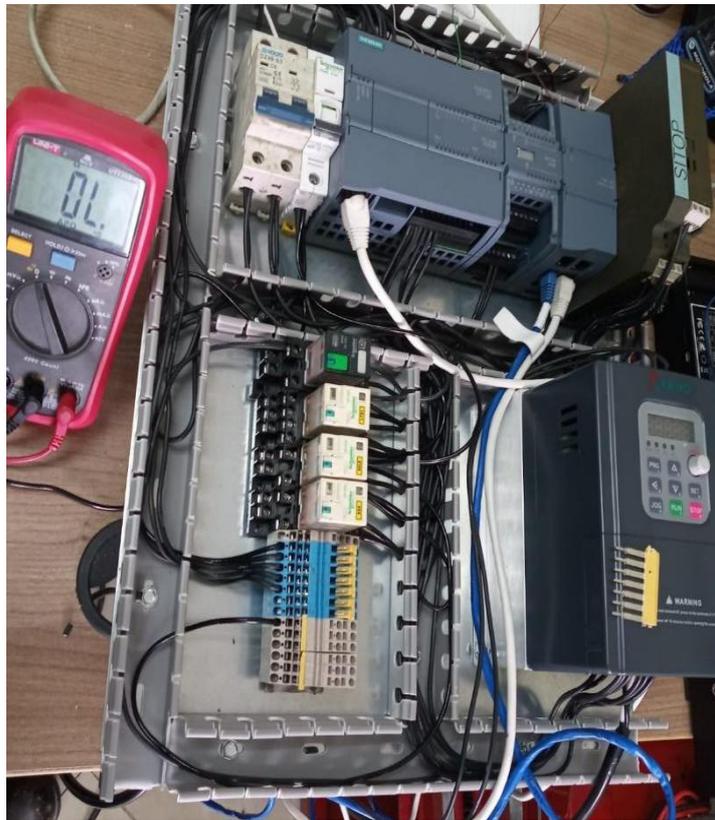
Una vez realizado los planos eléctricos, la programación de la lógica de control (ingeniería de desarrollo), se procede con las instalaciones del cableado eléctrico para las conexiones de cada uno de los componentes; así mismo, se ubican el motor eléctrico, los sensores de presión y el sensor de velocidad en cada punto de ubicación previamente establecido en el diseño.

En el diseño se establece que se debe utilizar cables eléctricos de control calibre 16 AWG flexible, para la fácil manipulación y pasada entre los canales establecidos en el diseño de la estructura metálica; así mismo, para las conexiones de fuerza entre el motor y el variador y la acometida de alimentación general, se utilizará cable eléctrico flexible de calibre 12 AWG.

El panel de control tendrá las medidas 50x40x25 cm, en las que se podrán ubicar fácilmente los dispositivos de control, como son el PLC S7-1200, módulo de entradas y salidas analógicas, variador de velocidad, convertidor de frecuencia a corriente (Hz a 4-20mA), Switch ethernet, fuente de poder, relés de salida, borneras de entrada de datos discretos y analógicos, canaletas ranuradas para el paso de los cables de conexiones y los rieles tipo DIN para el soporte de los dispositivos.

Figura 22

Panel de control del banco de pruebas de gobernadores de velocidad UG-8



En la imagen anterior se puede apreciar cada componente que conforma el panel de control del banco de gobernadores de velocidad y como están dispuestos en el plafón del tablero que estará ubicado en el costado derecho de la estructura metálica para que no cause estorbo al operador mecánico cuando realice los ensayos de calibración.

Determinación de una línea base para establecer los datos de calibración de los gobernadores UG-8.

Una vez ejecutado todos los pasos anteriormente mencionados, se deben realizar las pruebas necesarias para verificar que el banco de gobernadores de velocidad funcione correctamente. Cuando esto ocurra se debe obtener una “línea base” para establecer los parámetros técnicos, esto debe ser realizado con la ayuda de un equipo patrón y la mejor opción es utilizar un gobernador nuevo con certificación del fabricante (Woodward Company), que servirá como dato de inicio para las comparaciones con los demás gobernadores que se sometan a prueba.

Tabla 1

Matriz para la recolección de los datos para establecer la línea base para la calibración de los gobernadores de velocidad UG-8

TABLA DE COMPARACIONES DE VALORES TEÓRICOS Y PRÁCTICOS PARA LÍNEA BASE			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN DEL PARÁMETRO	VALOR TEÓRICO, MANUALES OPERACIÓN	VALOR GOB. WOODWARD NUEVO
1	PRESIÓN DEL FILTRO (BAJA)	8,30 BAR (120 PSI)	8,4 BAR (121,8 PSI)
2	PRESIÓN DE LA BOMBA (ALTA)	4,00 BAR (58 PSI)	4,1 BAR (59,46 PSI)
3	VELOCIDAD SINCRÓNICA	1200 RPM	1202 RPM

Como se puede observar en la tabla de arriba, los valores que se han encontrado en la prueba realizada a un gobernador nuevo con la certificación de la compañía Woodward, difiere muy poco en relación a los datos que el fabricante establece en sus manuales de operación y mantenimiento; por lo tanto, los datos recolectados son de mucha importancia y marcan el precedente para las demás pruebas, toda vez que las calibraciones son ensayos donde se determinan las desviaciones y tolerancias máximas y mínimas aceptadas para que un equipo se encuentre dentro de los parámetros de funcionamiento.

Determinación del estudio de factibilidad de la propuesta

El presente proyecto se compone de materiales, mano de obra, desarrollo de ingeniería, dispositivos tecnológicos, máquinas eléctricas; los mismos que se nombran en la siguiente tabla descriptiva.

Tabla 2

Cotización

Ítem	Cantidad	Descripción	Precio unitario	Precio total
1	1	VARIADOR DE FRECUENCIA MARCA KEWO-ELECTRIC 2,2 KW/220 VAC	\$650,00	\$650,00
2	1	PLC S7-1200 1214 DC/DC/DC SIEMENS	\$750,00	\$750,00
3	1	MODULO DE ENTRADAS Y SALIDAS ANALOGICAS 4AI/2AO SIEMENS	\$250,00	\$250,00
4	1	SWITCH ETHERNET 4 PUERTOS RJ45 INDUSTRIAL SIEMENS	\$155,00	\$155,00
5	1	CONVERTIDOR DE SEÑAL ENTRADA DE FRECUENCIA 1-10 KHZ, SALIDA 4-20 mA /24VDC/WEDMULLR	\$200,00	\$200,00
6	1	PANTALLA TÁCTIL DE OPERACIÓN KTP-700 BASIC COLOR-SIEMENS	\$1.100,00	\$1.100,00
7	2	TRANSDUCTOR DE PRESIÓN 0-10 BAR/4-20 mA	\$320,00	\$640,00
8	1	SENSOR DE VELOCIDAD MAGNÉTICO PICKUP TRAFAG	\$350,00	\$350,00
9	1	PANEL ELÉCTRICO 50X40X35 MATERIAL PLÁSTICO	\$85,14	\$85,14
10	1	PANEL ELÉCTRICO 35X20X30 MATERIAL PLÁSTICO	\$82,00	\$82,00
11	1	CABLES Y ACCESORIOS ELÉCTRICOS	\$350,00	\$350,00
12	1	ESTRUCTURA METÁLICA DE APOYO	\$450,00	\$450,00

13	4	CAPACITACIÓN O ADIESTRAMIENTO DE USO DEL BANCO DE CALIBRACIÓN DE GOBERNADORES	\$20,00	\$80,00
14	1	MANO DE OBRA POR INSTALACIONES Y PRUEBAS EN CAMPO	\$850,00	\$850,00
15	1	DESARROLLO DE INGENIERÍA EN SOFTWARE TIA PORTAL STEP-7	\$1.500,00	\$1.500,00
			SUBTOTAL	\$7.492,14
			IVA 12%	\$899,06
			TOTAL	\$8.391,20

En la lista de arriba se describen todos los elementos seleccionados para el presente proyecto, con sus respectivos valores económicos para establecer el costo de la propuesta.

Realizando un análisis económico de la propuesta se tiene que, el costo establecido en la cotización de los precios de cada elemento asciende a un valor de \$8.391,20, sin embargo; se debe tener en cuenta que para el análisis de factibilidad del proyecto se debe entender lo siguiente.

Cada máquina o unidad de generación percibe un valor económico en el despacho que establece la entidad reguladora del sector eléctrico del país (CENACE), el cual se denomina despacho económico por disponibilidad, lo que significa que cada generador que se encuentre declarado como “Disponible”, percibe un valor económico aproximado a los \$ 70.81 por cada hora, y a eso se le suma el valor del Kilovatio hora generado cuando entre en generación por despacho.

Entendido lo anterior, se puede determinar que si un generador se lo declara como “Indisponible” por cualquier evento de falla que no permita que la unidad entre en servicio y deba ser intervenida (como es el caso de las fallas en los gobernadores de velocidad), el generador deja de percibir el valor económico por despacho mencionado en el párrafo anterior, y además de le debe sumar el costo de horas hombre por el servicio de mantenimiento, en el tiempo que dure la consigna de indisponibilidad, a lo que se le agrega los tiempos por pruebas antes de que Producción declare que la unidad está “Disponible” nuevamente.

Para el caso puntual de la propuesta “Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”, en los históricos obtenidos en los reportes de órdenes de trabajo se ha observado que en promedio, cada intervención por fallas de oscilaciones severas en la potencia activa de generación (Megavattios Generados), causadas por un gobernador defectuoso, duran un aproximado de 3 días (72 horas), y este tiempo como se mencionó anteriormente, la máquina deja de percibir el valor económico el despacho, por lo que significa pérdidas para la empresa.

Con los datos obtenidos se presenta una tabla donde se describen claramente los valores económicos que la empresa deja de percibir por declarar una máquina indisponible.

Tabla 3

Análisis económico por indisponibilidad de un generador

MANTENIMIENTO DE GOBERNADORES SIN EL BANCO DE PRUEBAS					
ITEM	DESCRIPCION	VALOR	No HORAS DE CONSIGNA DE UNIDAD	No DE UNIDADES	VALOR TOTAL
1	COSTO HORA POR DISPONIBILIDAD DE UNIDAD	\$70,81	72	1	\$5.098,32
ITEM	DESCRIPCION	VALOR	No HORAS DE INTERVENCION EN LA UNIDAD	No DE TECNICOS	VALOR TOTAL
1	COSTO DE HORA HOMBRE	\$7,00	24	2	\$336,00
VALOR TOTAL POR INTERVENCION					\$5.434,32

Como se puede observar en la tabla anterior, el valor que se deja de percibir por indisponibilidad de la unidad es de \$ 5.098,32 y a ese valor se le suma el costo de las horas hombre efectivas por la intervención de los técnicos, que en su total para este caso en particular asciende a un valor de \$ 5.434,32; eso considerando que los trabajadores no realizaron horas extra para solucionar el problema del gobernador defectuoso.

Con la implementación del banco de pruebas, los técnicos mecánicos pueden realizar reparaciones de los gobernadores en el taller sin tener que acudir a la máquina para realizar las pruebas, lo que ha causado que los tiempos de intervención por un regulador de velocidad defectuoso se vea reducido a solo un día (24 horas), teniendo en cuenta que CENACE, no realiza consignas por tiempos menores a un día; sin embargo para el análisis de factibilidad de la propuesta; se ha tomado la mínima consigna para establecer los resultados.

Tabla 4

Análisis económico por indisponibilidad de un generador con el proyecto implementado

MANTENIMIENTO DE GOBERNADORES CON EL BANCO DE PRUEBAS					
ITEM	DESCRIPCION	VALOR	No HORAS DE CONSIGNA DE UNIDAD	No DE UNIDADES	VALOR TOTAL
1	COSTO HORA POR DISPONIBILIDAD DE UNIDAD	\$70,81	24	1	\$1.699,44
ITEM	DESCRIPCION	VALOR	No HORAS DE INTERVENCION EN LA UNIDAD	No DE TECNICOS	VALOR TOTAL
1	COSTO DE HORA HOMBRE	\$7,00	8	2	\$112,00
VALOR TOTAL POR INTERVENCION					\$1.811,44

La tabla de arriba indica claramente como se ha reducido el tiempo de indisponibilidad de un generador intervenido por causa de un gobernador defectuoso, y al contar con el banco de

pruebas se tienen equipos en stock listos para ser instalados cuando así se lo requiera. Es fácil darse cuenta que el tiempo de intervención de cada unidad en promedio se ha reducido hasta un tercio de lo que se tenía anteriormente; o lo que es lo mismo, el costo que ahora la empresa ahorra por menor tiempo de indisponibilidad se ha reducido en un 66% del valor mostrado en la tabla 3; por lo tanto el valor económico que se deja de percibir por una intervención por un gobernador defectuoso no supera los \$ 1.811,44 que es el peor de los casos en la actualidad.

La factibilidad del proyecto se determina mediante el método comparativo entre los valores de inversión inicial (cotización tabla 2), y el valor que la empresa ahorra por intervención con la implementación del banco de pruebas propuesto. Esto se consigue dividiendo el valor del costo de inversión por el valor de ahorro por intervención.

Tabla 5

Tabla determinista de factibilidad del proyecto

DESCRIPCIÓN	VALOR	No. DE INTERVENCIONES PARA RECUPERAR LA INVERSIÓN
COSTO DE INVERSIÓN DEL PROYECTO	\$ 8.391,20	2.32
COSTO DE AHORRO POR IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	\$ 6.633,88	

Como se puede observar en la tabla de arriba, para recuperar la inversión inicial del proyecto del banco de pruebas para gobernadores de velocidad, solo bastará con 2,32 intervenciones o lo que es mejor para términos de exactitud, la empresa recuperará su inversión en solo tres (3) intervenciones. Esto demuestra cuán factible es la propuesta “Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”.

2.3 Validación de la propuesta

La validación de la presente propuesta, está a cargo de tres expertos con amplio conocimiento y experiencia en el campo de la Electrónica y Automatización Industrial, cada uno de ellos desempeña actividades de supervisión e ingeniería en las unidades de negocio en las que prestan sus servicios profesionales.

Tabla 6

Descripción de perfil de validadores

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Franklin Francisco Ferrer Escalante	17	Magister en Automatización industrial	Especialista Técnico 2 Electrónica e Instrumentación (Supervisor Electrónico e Instrumentación)
Gladys Marlene Murillo Solarte	15	Magister en Electrónica y automatización	Especialista Técnico 2 Electrónica e Instrumentación (Supervisor Electrónico e Instrumentación)
Danny Fernando Aguirre Espín	16	Magister en Electrónica y automatización	Especialista Técnico de Ingeniería de la Producción

Profesional Validador 1.

Validación de la propuesta por parte del Magister Franklin Ferrer, profesional que desempeña sus funciones en la Central Térmica Trinitaria (Guayaquil), en la Supervisión en Electrónica e Instrumentación y Control, a cargo de las unidades y sistemas de control de la planta.

Tabla 7

Criterios de evaluación Magister Franklin Francisco Ferrer Escalante.

CRITERIOS	EVALUACIÓN SEGÚN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En total desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente de Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización				X	
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X

Profesional Validador 2.

Validación de la propuesta por parte de la Magister Gladys Murillo, profesional que desempeña sus funciones en la Central Térmica Gonzalo Zevallos (Guayaquil), en la Supervisión en Electrónica e Instrumentación y Control, a cargo de las unidades y sistemas de control de la planta.

Tabla 8

Criterios de evaluación Magister Gladys Marlene Murillo Solarte.

CRITERIOS	EVALUACIÓN SEGÚN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En total desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente de Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad				X	
Pertinencia				X	

Profesional Validador 3.

Validación de la propuesta por parte del Magister Danny Aguirre, profesional que desempeña sus funciones en la Central Térmica Guangopolo (Quito), en el Departamento de Ingeniería de la Producción, teniendo como responsabilidades directas las actualizaciones de los sistemas de control, desarrollo de nuevas técnicas de control y desarrollo de ingenierías en los sistemas SCADA de la Unidad de Negocios Termopichincha.

Tabla 9

Criterios de evaluación Magister Danny Fernando Aguirre Espín

CRITERIOS	EVALUACIÓN SEGÚN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En total desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente de Acuerdo
Impacto				X	
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia				X	

2.4 Matriz de articulación de la propuesta

Tabla 10

Matriz de articulación

Ejes o partes principales del proyecto		Breve descripción de los resultados de cada parte	Sustento teórico que se aplicó en la construcción del proyecto	Metodologías, herramientas técnicas y tecnológicas que se emplearon
1	Definición de Software de desarrollo de Ingeniería. Se definen las variables de entrada digitales/analógicas y salidas digitales/analógicas. Motor eléctrico trifásico de 1.5HP y Variador de velocidad de 2.2KW.	1.1. Análisis de selección de dispositivos tecnológicos. 1.2. Análisis de costos y factibilidad. 1.3. Toma de decisiones en base a funcionalidades y beneficios.	Electrónica digital y procesamiento. Electrónica de Potencia (inversor). Sistemas electromecánicos (interfaz de salida).	Software de programación de ingeniería de desarrollo TIA Portal versión 15.
2	Diseño de planos de los circuitos eléctricos, conexiones entre cada dispositivo tecnológico mediante cableado de control y fuerza.	2.1. Panel de control y mando para el banco de pruebas. 2.2. Circuito electromecánico de potencia (relés). 2.3. Módulo de comunicaciones ethernet. 2.4. Uso de software CadeSimu.	Aplicaciones de diseño de circuitos electrónicos: <ul style="list-style-type: none"> • CadeSimu • Fusión 360 Autodesk 	Software de simulación de diagramas eléctricos CadeSimu, para el diseño de planos eléctricos. Fusión 360 Autodesk, para el diseño de la estructura metálica del banco de gobernadores.
3	Implementación del diseño de diagrama eléctrico, salidas electromecánicas (relés), módulo de comunicación ethernet (switch), pantalla de operación HMI, PLC S7-1200, variador de frecuencia, sensores y transductores.	3.1. Aplicaciones de programación en software TIA Portal V15. 3.2. Control del motor trifásico mediante el variador de velocidad. 3.3. Cableado eléctrico de control y fuerza y cableado de red UTP Categoría 5, comunicación Ethernet.	Cableado estructurado, para las líneas de comunicación ethernet, mediante cableado UTP. Instalaciones eléctricas industriales, conexiones eléctricas entre dispositivos de control y actuadores, fuente de poder. Protocolo de comunicación, Profibus-ethernet TCP/IP.	<ul style="list-style-type: none"> • PLC S7-1200 1214DC/DC/DC • Pantalla táctil KTP-700 • Variador de frecuencia 2.2KW. • Sensores y transductores. • Motor eléctrico Trifásico 1.5 HP • Cable de control calibre #16AWG. • Cable de fuerza calibre #12 AWG. • Relés para salidas digitales. • Modulo Switch ethernet. • Módulo de entradas y salidas analógicas. • Breaker principal de dos polos 10 Amperios • Breaker de fuente de poder 24 VDC de 6 Amperios. • Borneras y botoneras

2.5 Análisis de resultados. Presentación y discusión.

El proyecto “Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”, se llevó a cabo mediante el uso de dispositivos tecnológicos que se seleccionaron con la ayuda de las investigaciones realizadas por autores en años anteriores.

Mediante las observaciones realizadas en campo, se logró determinar la problemática que representa ejecutar las calibraciones de los gobernadores en la misma máquina, ya que esto causa que el técnico mecánico tenga que solicitar repetidas veces al operador las maniobras de encender y apagar el motor, hasta poder conseguir el afinamiento del equipo y poder entregar la unidad.

Estas acciones repercuten directamente en los tiempos de indisponibilidad, porque para cada maniobra de arranque se debe realizar la respectiva alineación de válvulas, alineación eléctrica y mecánica de la unidad, y si la unidad no queda operativa se debe nuevamente regularizar todo lo antes mencionado, hasta que se realicen las acciones de calibración y volver a probar la unidad.

Otro dato adicional es que, en cada maniobra de arranque de unidad, esta consume una cantidad importante de combustible (diésel), lo que es perjudicial para los intereses económicos y financieros de la empresa, toda vez que ese consumo no se lo puede considerar como combustible usado en generación y, por lo tanto; se considera como pérdidas.

Anteriormente, en promedio; los tiempos de indisponibilidad de un generador por fallas en el gobernador rondaban en los tres (3) días o 72 horas de consigna, tiempo en que la máquina dejaba de percibir el valor económico que se le asigna por ser declarado como unidad disponible, el cual es un monto aproximado de \$ 70.81.

Tabla 11

Análisis de los históricos tomados en una muestra de 16 unidades correspondientes a la bahía 1 de la Central Térmica Santa Elena.

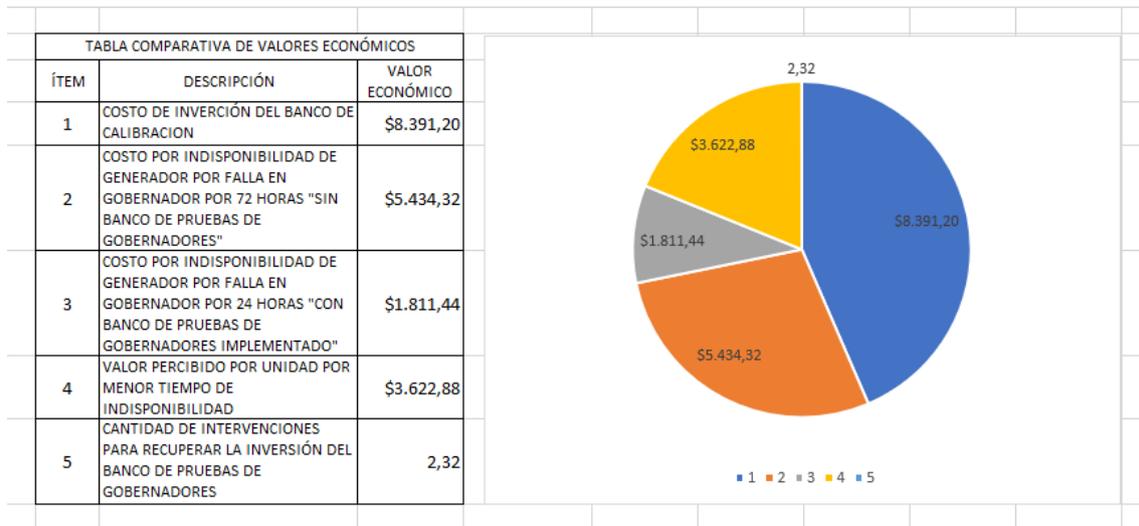
ÍTEM	UNIDAD DE GENERACIÓN	FECHA	FALLA REPORTADA	CAUSA	# DE ARRANQUES	TIEMPO DE INDISPONIBILIDAD
1	MDU 5	5/1/2022	VARIACION EN POTENCIA ACTIVA	GOBERNADOR	5	72 HORAS
2	MDU 2	7/1/2022	VARIACION EN POTENCIA ACTIVA	AVR	2	24 HORAS
3	MDU 1	9/2/2022	VARIACION EN POTENCIA ACTIVA	GOBERNADOR	3	72 HORAS
4	MDU 10	17/2/2022	VARIACION EN POTENCIA ACTIVA	GOBERNADOR	6	24 HORAS
5	MDU 16	17/2/2022	VARIACION EN POTENCIA ACTIVA	GOBERNADOR	4	72 HORAS
6	MDU 4	22/2/2022	VARIACION EN POTENCIA ACTIVA	GOBERNADOR	3	48 HORAS
7	MDU 3	3/4/2022	VARIACION EN POTENCIA ACTIVA	GOBERNADOR	3	72 HORAS
8	MDU 2	3/4/2022	VARIACION EN POTENCIA ACTIVA	GOBERNADOR	5	72 HORAS
9	MDU 7	29/4/2022	VARIACION EN POTENCIA ACTIVA	AVR	3	96 HORAS
10	MDU 5	19/5/2022	VARIACION EN POTENCIA ACTIVA	GOBERNADOR	3	24 HORAS

En la actualidad con la implementación del “Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”, el tiempo de ejecución para el mantenimiento de un generador que haya sido reportado con fallas en el regulador de velocidad, se ha reducido a un máximo de 24 horas (anteriormente 72 horas), toda vez que en la mayoría de ocasiones o intervenciones, estas no duran más allá de 8 horas de trabajo, esto es debido a que gracias al banco de pruebas el técnico mecánico puede realizar las calibraciones en el taller y mantener un stock de equipos listos para ser montados, cuando las condiciones así lo requieran.

Hay que considerar que el tiempo de reparación de cada gobernador no ha disminuido, siguen siendo los tres días como se ha explicado anteriormente, sin embargo la diferencia radica en que esos trabajos se los realizan ahora en el taller, y se calibran los equipos en el banco de gobernadores, tal como se mencionó en el párrafo anterior, por lo que el Departamento Mecánico dispone de reguladores de velocidad en stock, para instalarlos de manera rápida y segura, mejorando la eficiencia de las intervenciones, y además reducir las pérdidas económicas por dejar de percibir el valor de disponibilidad de la unidad intervenida.

Figura 23

Resultados obtenidos mediante valores económicos entre los costos de inversión, costos por indisponibilidad antes de la implementación del banco de calibración, costo minimizado por implementación del banco de calibración de gobernadores y el índice que determina el número de intervenciones para recuperar el costo de inversión según el valor económico percibido por menor tiempo de indisponibilidad.



En la figura de arriba, se determina bajo el análisis de los valores de los costos de indisponibilidad y el gasto inicial, el número de intervenciones que se deben realizar en el “Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”, para recuperar la inversión inicial, lo que da una idea muy clara de la factibilidad de la propuesta.

CONCLUSIONES

En base al diseño programado, se realizó la estructura metálica del presente proyecto, cumpliendo con las especificaciones técnicas establecidas, en el cual se realizó el montaje e instalación de cada uno de los componentes, que forman parte del sistema de control para la simulación del funcionamiento en máquina del gobernador UG-8 en el banco de pruebas, el cual ha cumplido a satisfacción con los requerimientos establecidos para el presente proyecto.

Previo a estudios de investigaciones realizadas con anterioridad del comportamiento y funcionamiento mecánico de los gobernadores, se seleccionó los diferentes componentes y dispositivos a implementar en este proyecto según el procedimiento de calibración y reparación del equipo, además de simulación y las condiciones de operación del motor de combustión interna, se diseñaron los planos eléctricos y la posterior programación de la ingeniería de desarrollo, mediante el uso del PLC S7-1200 y la pantalla HMI de operador SIMATIC KTP-700, para visualización de parámetros de control y medición de estados, para lo cual se concluye que se consiguió los resultados esperados según los objetivos planteados.

En la estructura metálica fabricada para el presente proyecto, se implementó el sistema de control que previamente se planteó en el bosquejo técnico, mediante los trabajos de instalación, conexiones, fabricación de tablero de control, pruebas de señales eléctricas y calibraciones en sitio de cada uno de los componentes que conforman el banco de pruebas para gobernadores de velocidad, con ello se pudo constatar y verificar el correcto funcionamiento de cada una de las tecnologías seleccionadas.

Una vez ejecutado el trabajo de investigación para la implementación del “Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”, los tiempos de consigna de unidad y horas hombre, se redujeron en un 66,67 %; puesto que, anteriormente el mantenimiento tenía una duración de 3 días en las reparaciones (para esta actividad en particular), y en la actualidad con la ayuda del banco de pruebas, las consignaciones no sobrepasan las 24 horas, toda vez que anteriormente cada intervención tardaba 72 horas, lo que significa que ahora la unidad queda indisponible sólo un tercio del tiempo en relación a las reparaciones y mantenimientos sin el banco de pruebas, lo que genera un ahorro en términos de disponibilidad de la máquina, así como también menos horas hombre por trabajos ejecutados.

En la actualidad el técnico de mantenimiento de gobernadores, ya no se dirige a realizar calibraciones en el motor, debido a que tiene a su disposición el banco de pruebas, y puede

realizar los ensayos de forma independiente, alejado de los riesgos y peligros a los que estaba expuesto antes de la implementación y ejecución de este proyecto, cuidando primeramente su integridad física y de la máquina intervenida, adicionalmente cuenta con el tiempo necesario para mantener un stock de gobernadores listos para entrar en funcionamiento cuando así se lo requiera y de manera inmediata.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar los mantenimientos respectivos en la instrumentación, panel de control, motor eléctrico y reajustes de terminales del cableado de control y fuerza del banco de pruebas para gobernadores de velocidad por lo menos dos veces al año, para asegurar el correcto funcionamiento del equipo y garantizar la confiabilidad de los valores obtenidos en las mediciones de los instrumentos periféricos.

Se recomienda realizar adecuaciones en los acoplamientos mecánicos entre el eje del motor eléctrico y el eje del gobernador, de tal forma que pueda ser compatible con equipos de otras marcas que funcionen bajo el mismo principio.

Se recomienda realizar adecuaciones en la lógica de programación mediante pantalla de acceso, para lograr que el banco de pruebas de gobernadores UG-8 sea compatible para realizar calibraciones en actuadores que respondan a órdenes de reguladores de velocidad electrónicos, como por ejemplo la tarjeta de control Woodward 723 Plus, que utilizan los motores de combustión Caterpillar en la Central Santa Elena III.

Se recomienda mantener un stock de repuestos y dispositivos de control electrónico, de cada uno de los elementos que componen el banco de pruebas, debidamente verificados y calibrados (usando equipos patrones), para garantizar la funcionalidad permanente del equipo, mediante una intervención Plug and Play.

Se recomienda diseñar e implementar una pantalla de acceso de mantenimiento para visualizar el estado de los periféricos, estado de tarjetas de control y estado de las comunicaciones para poder determinar de manera segura y confiable, el correcto funcionamiento de cada uno de los dispositivos que integran el banco de pruebas; además de configurar una clave de usuario para que el acceso a este menú solo sea para personal calificado y autorizado.

Bibliografía

- Aguacia Acosta Diego Aramando, C. A. (2015). EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA SOBRE VARIADORES DE VELOCIDAD. *Repositorio Digital ECCI* , 13.
- Aponte Libias, R. (2019). El variador de velocidad para motor trifásico. *El variador de velocidad para motor trifásico*. Lima, Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN.
- BETANCUR, S. (2016). SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR TRIFÁSICO MEDIANTE UN VARIADOR DE FRECUENCIA Y SISTEMA SCADA. *SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR TRIFÁSICO MEDIANTE UN VARIADOR DE FRECUENCIA Y SISTEMA SCADA*. PEREIRA, COLOMBIA: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.
- Clemente, V. (2000). Sistema de Control Automático de Velocidad de Generadores Eléctricos de Potencia. *Electrónica-UNMSM*, 1-13.
- Farina. (2018). Motores eléctricos trifásicos: características constructivas y tipos de arranques. *Suplemento Instaladores Ingeniería Eléctrica* , 6.
- Farina, A. L. (2019). Motores eléctricos trifásicos. *Suplementos instaladores/Ingeniería Eléctrica* (347), 5.
- Ferreira, R. (2015). *ESTUDO E SIMULAÇÃO DE UMA MICRORREDE DE ENERGIA ELÉTRICA NOS MODOS CONECTADO E ISOLADO*. Brasil.
- Husan, S. (2017). Automation design for a syrup production line using Siemens PLC S7-1200 and TIA Portal software. *2017 International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE)*. Khartoum, Sudan: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCCCEE.2017.7866702>
- Iam, S. (2005). *Ingeniería del software*. Pearson Educación.
- KEWO. (2022). <http://www.kewoinverter.com/AD350frequencyconvertor.html>
<http://www.kewoinverter.com/AD350frequencyconvertor.html>
- Leonel, R. (2014). *Sensores y actuadores*. Grupo editorial Patria.
- Morales. (2020). Sistema de control y monitoreo bajo los protocolos Ethernet y Modbus RTU en el control de sistemas de cintas transportadoras para línea embotelladora de bebidas. *RISTI*, 636-649.
- Morales, E. y. (2019). Sistema de control y monitoreo bajo los protocolos Ethernet y Modbus RTU en el control de sistemas de cintas transportadoras para línea embotelladora de bebidas. *Risti*, 15.
- Morcelle del Valle, P. (2018). Transductores-Instrumentación. *SEDICI*, 31.
- Noa, R. (2018). Comportamiento operacional de grupos electrógenos. *Ingeniería Mecánica*, 19-27.
- Pérez, F. y. (2009). *Autómatas programables y sistemas de automatización / PLC and Automation Systems*. Marcombo.
- Ramírez, J. y. (2014). *Sensores y detectores*. Grupo Editorial Patria.

- Riera Ochoa, K. D. (2019). Automatización de puerta e implementación de sensor de movimiento para el parqueadero UISRAEL. *repositorio.uisrael.edu.ec*, 95.
- SIEMENS. (2022). *siemens.com Sitio web mundial* . siemens.com Sitio web mundial : <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/simatic-hmi/hmi-template-suite.html>
- Sojka, M. (2015). ARDUINO UNO. *SERIAL*, 1.
- TRAFAG. (2021). *TRAFAG AG SENSOR CONTROL*. <https://www.trafag.com/es/>
- Watt, J. (1781). *Steam engine*. Art, Architecture and Engineering Library.
- Woodware. (1982). Gobernador de palanca UG. *Manual SP03036 revisión J*. Alemania.
- Yanez, L. (2014). Motores Eléctricos para la Industria. *Academia Accelerating the world's research*. 46.

ANEXOS 1

HOJA DE DATOS DEL CONTROLADOR PLC S7-1200 CPU 1214C 6ES7 214-1AG40-0XB0



Tabla 1- 1 Comparación de los modelos de CPU

Función		CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C	CPU 1215C	CPU 1217C
Dimensiones físicas (mm)		90 x 100 x 75	90 x 100 x 75	110 x 100 x 75	130 x 100 x 75	150 x 100 x 75
Memoria de usuario	Trabajo	30 kB	50 KB	75 kB	100 kB	125 KB
	Carga	1 MB	1 MB	4 MB	4 MB	4 MB
	Remanente	10 kB	10 kB	10 kB	10 kB	10 KB
E/S integradas locales	Digital	6 entradas/4 salidas	8 entradas/6 salidas	14 entradas/10 salidas	14 entradas/10 salidas	14 entradas/10 salidas
	Analógico	2 entradas	2 entradas	2 entradas	2 entradas/2 salidas	2 entradas/2 salidas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	Entradas (I)	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes
	Salidas (Q)	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes
Área de marcas (M)		4096 bytes	4096 bytes	8192 bytes	8192 bytes	8192 bytes
Ampliación con módulo de señales (SM)		Ninguna	2	8	8	8
Signal board (SB), Battery Board (BB) o Communication Board (CB)		1	1	1	1	1
Módulo de comunicación (CM) (ampliación en el lado izquierdo)		3	3	3	3	3
Contadores rápidos	Total	Se han configurado un máximo de 6 para usar cualquier entrada integrada o de SB.				
	1 MHz	--	--	--	--	De Ib.2 a Ib.5
	100/180 kHz	De Ia.0 a Ia.5	De Ia.0 a Ia.5	De Ia.0 a Ia.5	De Ia.0 a Ia.5	De Ia.0 a Ia.5
	30/120 kHz	--	De Ia.6 a Ia.7	De Ia.6 a Ib.5	De Ia.6 a Ib.5	De Ia.6 a Ib.1
Salidas de impulsos ²	Total	Se han configurado un máximo de 4 para usar cualquier salida integrada o de SB				
	1 MHz	--	--	--	--	De Qa.0 a Qa.3
	100 kHz	De Qa.0 a Qa.3	De Qa.0 a Qa.3	De Qa.0 a Qa.3	De Qa.0 a Qa.3	De Qa.4 a Qb.1
	20 kHz	--	De Qa.4 a Qa.5	De Qa.4 a Qb.1	De Qa.4 a Qb.1	--
Memory Card		SIMATIC Memory Card (opcional)				
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real		20 días típ./12 días mín. a 40 °C (condensador de alto rendimiento sin mantenimiento)				
Puerto de comunicación Ethernet PROFINET		1	1	1	2	2

Tabla 1- 2 Bloques, temporizadores y contadores que soporta el S7-1200

Elemento		Descripción
Bloques	Tipo	OB, FB, FC, DB
	Tamaño	30 KB (CPU 1211C) 50 KB (CPU 1212C) 64 KB (CPU 1214C, CPU 1215C y CPU 1217C)
	Cantidad	Un total de hasta 1024 bloques (OB + FB + FC + DB)
	Profundidad de anidamiento	16 desde el OB de ciclo o arranque; 6 desde cualquier OB de evento de alarma
	Observar	Se puede observar a la vez el estado de 2 bloques lógicos
	OB	Ciclo del programa
	Arranque	Múltiple
	Alarmas de retardo	4 (1 por evento)
	Alarmas cíclicas	4 (1 por evento)
	Alarmas de proceso	50 (1 por evento)
	Alarmas de error de tiempo	1
	Alarmas de error de diagnóstico	1
	Inserción o extracción de módulos	1
	Fallo de rack o estación	1
	Hora	Múltiple
	Estado	1
	Actualizar	1
	Perfil	1
Temporizadores	Tipo	CEI
	Cantidad	Solo limitada por el tamaño de la memoria
	Almacenamiento	Estructura en DB, 16 bytes por temporizador
Contadores	Tipo	CEI
	Cantidad	Solo limitada por el tamaño de la memoria

Capacidad de expansión de la CPU

La familia S7-1200 ofrece diversos módulos y placas de conexión para ampliar las capacidades de la CPU con E/S adicionales y otros protocolos de comunicación. Para más información sobre un módulo en particular, consulte los datos técnicos (Página 865).



- ① Módulo de comunicación (CM) o procesador de comunicaciones (CP)
- ② CPU
- ③ Signal Board (SB), Communication Board (CB) o battery board (BB)
- ④ Módulo de señales (SM)

Tabla 1- 3 Módulos de señales digitales y Signal Boards

Tipo	Solo entradas	Solo salidas	Combinación de entradas y salidas
③ SB digital	<ul style="list-style-type: none"> 4 entradas de 24 V DC, 200 kHz 4 entradas de 5 V DC, 200 kHz 	<ul style="list-style-type: none"> 4 salidas de 24 V DC, 200 kHz 4 salidas de 5 V DC, 200 kHz 	<ul style="list-style-type: none"> 2 entradas de 24 V DC / 2 salidas de 24 V DC 2 entradas de 24 V DC / 2 salidas de 24 V DC, 200 kHz 2 entradas de 5 V DC / 2 salidas de 5 V DC, 200 kHz
④ SM digital	<ul style="list-style-type: none"> 8 entradas de 24 V DC 	<ul style="list-style-type: none"> 8 salidas de 24 V DC 8 salidas de relé 8 salidas de relé (inversor) 	<ul style="list-style-type: none"> 8 entradas de 24 V DC / 8 salidas de 24 V DC 8 entradas de 24 V DC / 8 salidas de relé 8 entradas de 120/230 V AC / 8 salidas de relé
	<ul style="list-style-type: none"> 16 entradas de 24 V DC 	<ul style="list-style-type: none"> 16 salidas de 24 V DC 16 salidas de relé 	<ul style="list-style-type: none"> 16 entradas de 24 V DC / 16 salidas de 24 V DC 16 entradas de 24 V DC / 16 salidas de relé

Tabla 1- 4 Módulos de señales analógicas y Signal Boards

Tipo	Solo entradas	Solo salidas	Combinación de entradas y salidas
③ SB analógica	<ul style="list-style-type: none"> 1 entrada analógica de 12 bits 1 RTD de 16 bits 1 termopar de 16 bits 	<ul style="list-style-type: none"> 1 salida analógica 	-
④ SM analógico	<ul style="list-style-type: none"> 4 entradas analógicas 4 entradas analógicas de 16 bits 8 entradas analógicas Termopar: <ul style="list-style-type: none"> 4 TC de 16 bits 8 TC de 16 bits RTD: <ul style="list-style-type: none"> 4 RTD de 16 bits 8 RTD de 16 bits 	<ul style="list-style-type: none"> 2 salidas analógicas 4 salidas analógicas 	<ul style="list-style-type: none"> 4 entradas analógicas / 2 salidas analógicas

Tabla 1- 5 Interfaces de comunicación

Módulo	Tipo	Descripción
① Módulo de comunicación (CM)	RS232	Dúplex
	RS422/485	Dúplex (RS422) Semidúplex (RS485)
	Maestro PROFIBUS	DPV1
	Esclavo PROFIBUS	DPV1
	Maestro AS-i (CM 1243-2)	ASInterface
① Procesador de comunicaciones (CP)	Conectividad de módems	GPRS
③ Placa de comunicación (CB)	RS485	Semidúplex
TeleService ¹	TS Adapter IE Basic	Conexión con la CPU
	TS Adapter GSM	GSM/GPRS
	TS Adapter Modem	Módem
	TS Adapter ISDN	ISDN
	TS Adapter RS232	RS232

¹ El TS Adapter IE Basic permite conectar varias interfaces de comunicación al puerto PROFINET de la CPU mediante un cable Ethernet. Se pueden instalar hasta 3 módulos TS Adapter en el TS Adapter IE Basic.

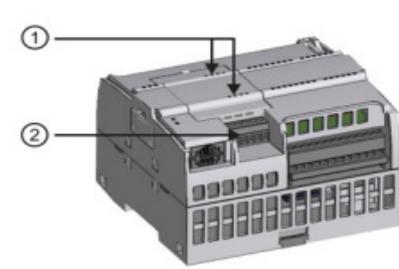
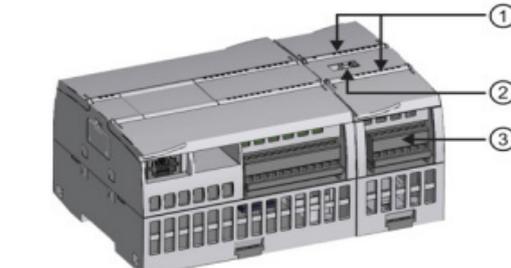
Tabla 1- 6 Módulos tecnológicos

Módulo	Tipo	Descripción
④ IO-Link	SM 1278 4 maestros IO-Link	Soporta 4 esclavos IO-Link

Tabla 1- 7 Otras placas

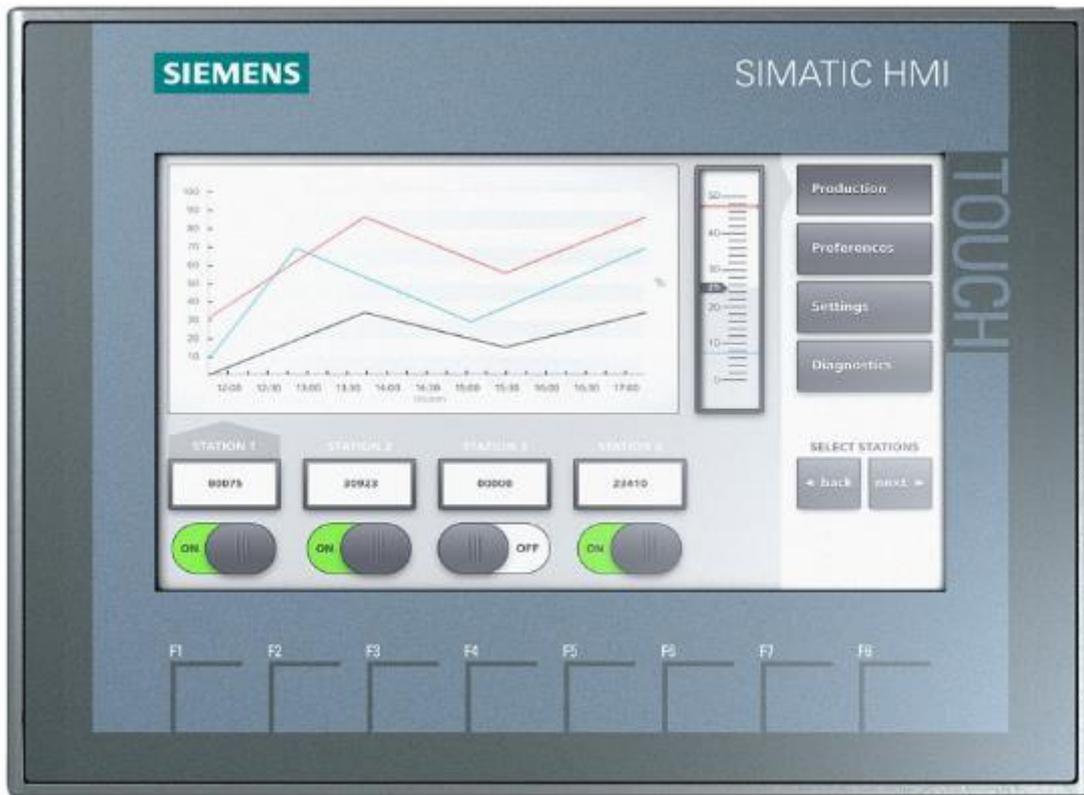
Módulo	Descripción
③ Battery board (placa de batería)	Se enchufa en la interfaz de la placa de ampliación en la parte frontal de la CPU. Ofrece respaldo a largo plazo del reloj en tiempo real.

Tabla 1- 8 Módulos de ampliación S7-1200

Tipo de módulo	Descripción		
<p>La CPU soporta una placa de ampliación tipo plug-in:</p> <ul style="list-style-type: none"> Una Signal Board (SB) proporciona E/S adicionales a la CPU. La SB se conecta en la parte frontal de la CPU. Una placa de comunicación (CB) permite agregar un puerto de comunicación adicional a la CPU. Una placa de batería (BB) ofrece respaldo a largo plazo del reloj en tiempo real. 		<p>① LEDs de estado en la SB</p> <p>② Conector extraíble para el cableado de usuario</p>	
<p>Los módulos de señales (SM) agregan funciones a la CPU. Los SM se conectan en el lado derecho de la CPU.</p> <ul style="list-style-type: none"> E/S digitales E/S analógicas RTD y termopar Maestro SM 1278 IO-Link 		<p>① LEDs de estado</p> <p>② Lengüeta de desplazamiento del conector de bus</p> <p>③ Conector extraíble para el cableado de usuario</p>	
<p>Los módulos de comunicación (CM) y los procesadores de comunicaciones (CP) agregan opciones de comunicación a la CPU, p. ej. para la conectividad de PROFIBUS o RS232/RS485 (para PtP, Modbus o USS) o el maestro AS-i. Un CP ofrece funcionalidades para otros tipos de comunicación, como conectar la CPU a través de una red GPRS.</p> <ul style="list-style-type: none"> La CPU soporta hasta 3 CMs o CPs Cada CM o CP se conecta en el lado izquierdo de la CPU (o en el lado izquierdo de otro CM o CP) 		<p>① LEDs de estado</p> <p>② Conector de comunicación</p>	

ANEXO 2

PANTALLA HMI DE OPERADOR SIMATIC KTP-700



Ficha de datos

diseño de pantalla	Pantalla panorámica TFT, retroiluminación LED
Diagonal de la pantalla	7 en
Número de colores	65 536
Resolución de imagen horizontal	800 píxeles
Resolución de imagen vertical	480 píxeles
Teclas de función	8
interfaces USB	1; Hasta 16GB
Pantalla táctil	Sí
Posición de montaje	Horizontal Vertical
interfaces ethernet	1
Voltaje de línea de entrada	24 VCC

ANEXO 3

TRANSMISOR DE PRESIÓN PIEZOELÉCTRICO TRAFAG

EPR 8283 Transmisor de presión para ferrocarril



Características

- Diseño compacto
- Buena resistencia a temperatura
- Distintas clases de precisión
- Sistema de sensores de acero totalmente soldado sin juntas adicionales
- Rigidez dieléctrica: 710VDC, cumple EN 50155 (ferrocarril)

Datos técnicos

Código de producto	8283
Nombre	EPR
Denominación	Transmisor de presión para ferrocarril
Rango de medición	0 ... 2.5 a 0 ... 600 bar 0 ... 30 a 0 ... 7500 psi
Principio de medición	Capa fina de acero
Homologación / Conformidad	EN 50155 (Ferrocarril) EN 45545-2 (Protección contra incendios)
Precisión @ 25°C típ.	± 0.5 % FS típ. ± 0.3 % FS típ.
Señal de salida	4 ... 20 mA
Conexiones eléctricas	EN175301-803-A (DIN43650-A); M12x1; MIL-C 26482; Cable
Conexiones a proceso	G1/4" h; G1/4" m Junta; G1/4" m con amortiguación integrada; G1/4" m (Manómetro) EN 837; G1/2" m (Manómetro) EN 837; 1/4"NPT m; 1/4"- 18 NPT h; 1/2"NPT m; R1/4" m, DIN3858; M14x1.5 m, DIN6149-2; 7/16"-20UNF m, DIN3866; 7/16"-20UNF m, SAE4 (J1926-3); 7/16"

ANEXO 4

VARIADOR DE FRECUENCIA KEWO FAMILIA AD350



Variadores de motor de CA de la serie AD de KEWO

KEWO AC Motor Drive-Any Drive Series AC motor drive

Los productos KEWO se componen de variadores de CA de alto nivel, variador de velocidad, inversor de frecuencia, variador de bomba solar con entrada de CC y CA, etc. Estos productos se utilizan ampliamente en automatización industrial, cemento, textil, metalurgia, HVAC, petróleo y gas, tratamiento de agua, química, máquinas herramientas, elevación, agricultura, ganadería, irrigación...

Especificación: (AD100, AD350, AD800, AD800S)

Monofásico, 220V, 0.4kw a 2.2kw.

Trifásico, 220V, 0.75kw a 75kw

Trifásico, 380V / 660V / 1140V, 0.75 a 630kw.

KEWO Products Range:

VSD, Frequency Inverter, Servo Drive, Soft Starter, Solar Pump Inverter



KEWO AD DRIVES BRIEF INTRODUCTION

PRODUCTS	SPECIFICATION	PICTURES	BRIEF INTRODUCTION
AD800 Series High Performance Vector Control Drive/Variable Speed Drive	1Ph, 220V, 0.4kw to 2.2kw. 3Ph, 220V, 0.75kw to 75kw 3Ph, 380V/660V/1140V, 0.75 to 630kw.		Drive for PMSM and IM Accuracy speed and torque control for motor, multiple functions Sensorless vector control, sensor vector control with PG, VF control, 180% rated starting torque, big allowance IGBT module
AD100 Mini Economic AC Drive	1Phase, 220V, 0.4 to 1.5kw		Adopt software platform as same as AD800, rich functions Mini and Economic type, Using IPM of IGBT
Ad350 Mini Vector Control Drive	1 Ph 220V, 0.4 to 2.2kw, 3 Ph, 380V, 0.75 to 3.7kW		Mini drive with compact design Vector control and VF using the same software platform as AD800 IGBT module to ensure good quality
Ad800S Frequency Inverter For PMSM (servo drive)	1Ph, 220V, 0.4kw to 2.2kw. 3Ph, 220V, 0.75kw to 75kw 3Ph, 380V/660V/1140V, 0.75 to 630kw.		Enhanced AD800 version, special for PMSM servo motor with sensorless or sensor control, Multiple protection function Rich functions, and flexible using PG card built in controller board

<p>Sd800 Seal Frequency Inverter (IP54)</p>	<p>220V (single-phase power) 0.4-2.2kW 380V (three-phase power) 0.75-30kW</p>		<p>sealed frequency inverter is enhanced version of AD800 series frequency inverter, built in with IP54 protection grade. With excellent in anti-dust, water proof, anti-grease and anti-corrosion properties</p>
---	---	---	---

Variable Frequency Drive (VFD)

When you need simplicity and intelligence in one self-contained solution, The AD series covers a wide range of options, ideal for variable and constant torque applications from pumps and fans to conveyors and mixers as well as many other variable and constant torque applications. Enjoy plug and play convenience right from the start.

- Compatible for IM and PMSM
- Excellent quick response with vector control
- High starting torque even under low speed.
- Rapid current limit, up to 20 kinds protection function.
- Latest generation Infineon IGBT modules using



Frequency Inverter

AD350 Elite Frequency Inverter

- V/F, Sensorless Vector Control, Torque Control
- 150% starting torque under 0.5Hz
- Torque auto limit
- Independent cool channel with good ventilating
- Built in RS485
- Module design
- Speed tracking





KEWO
Shenzhen Kewo Electric Technology Co., Ltd



FOCUSING ON MOTOR DRIVES FOR 20 YEARS



[view more](#)

Provide Innovative, clean and energy-efficient solutions for a better tomorrow.

ANEXO 5

MOTOR DE INDUCCIÓN TIPO JAULA DE ARDILLA TRIFÁSICO 3Ø 220V/1.5HP



«WEG» 1.5 HP EJE LARGO CERRADO

Altos torques de arranque. Apto para condiciones de suministro de energía doméstica y rural. Producto puede ser fabricado especial para atender a las más variadas aplicaciones de la industria.

Resumen de las características técnicas

Ficha técnica	Bajar
Potencia	1.1 kW (1.5 HP)
Frecuencia	60 Hz
Tensión	110/220 V
Numero de polos	4
Grado de protección	IP55
Rotación síncrona	1800 rpm

ANEXO 6

SENSOR DE VELOCIDAD PICKUP MAGNÉTICO

PICK UP MAGNETICO 5/8"

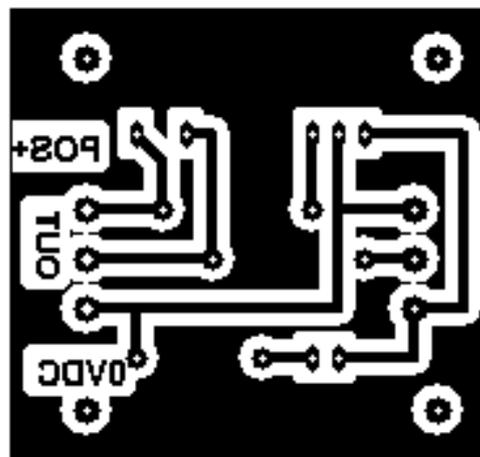
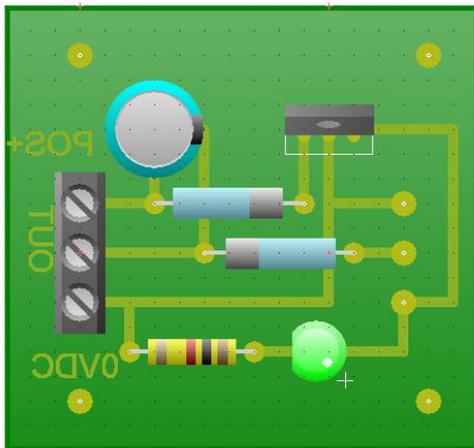
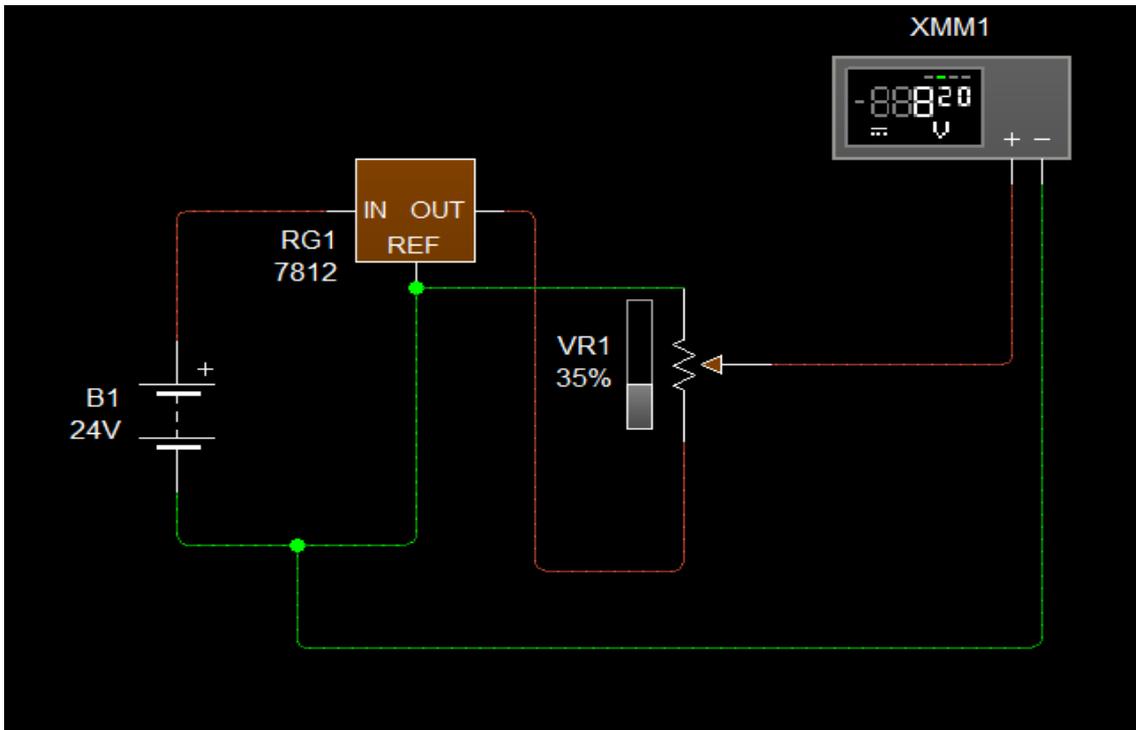


Sensor, Transductor (MPU); Se ubica en la cercha del motor Diesel. Para aplicaciones con Governador electrónico de velocidad. Genera una señal de tipo sinusoidal con una determinada frecuencia de trabajo.

El sensor de velocidad magnético detecta cuando los dientes de engranaje del anillo, o proyecciones de hierro, pasan por la punta del sensor. Los impulsos eléctricos se producen por la bobina interna del sensor y envía a la unidad de control de velocidad. La señal medida se mide en hertz y es directamente proporcional a la velocidad del motor. Sensores de velocidad están disponibles en varias longitudes.

ANEXO 7

SIMULACIÓN EN SOFTWARE LIVERWIRE SENSOR DE POSICIÓN DE FUEL RACK



Diseño de tarjeta impresa para el sensor de posición de fuel rack mediante transistores y resistencias variables, que al conectarse con el eje de la salida de palanca del gobernador se visualiza el avance de inyección, parámetro que es muy importante para la calibración del equipo.

ANEXO 8

Desarrollo del tablero de control del banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoelectrica Santa Elena



Fig. 8.1. Corte de tablero y canaletas



Fig. 8.2. Ubicación de componentes



Fig. 8.3. Fijación de elementos

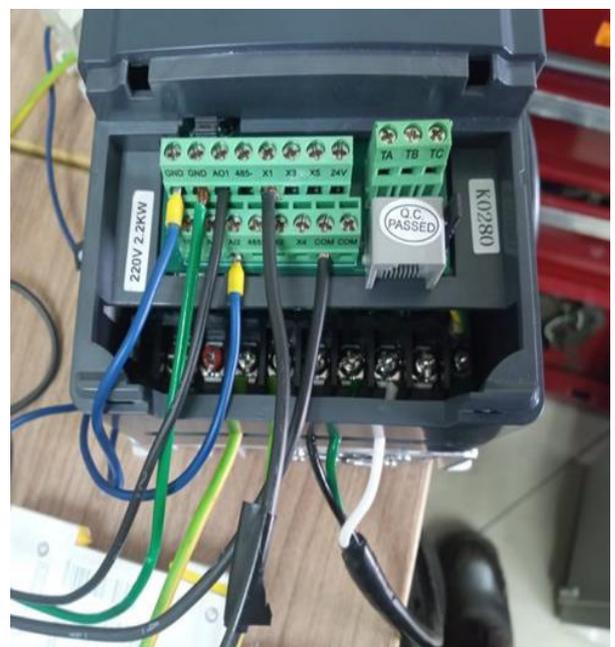


Fig. 8.4. Conexión de variador

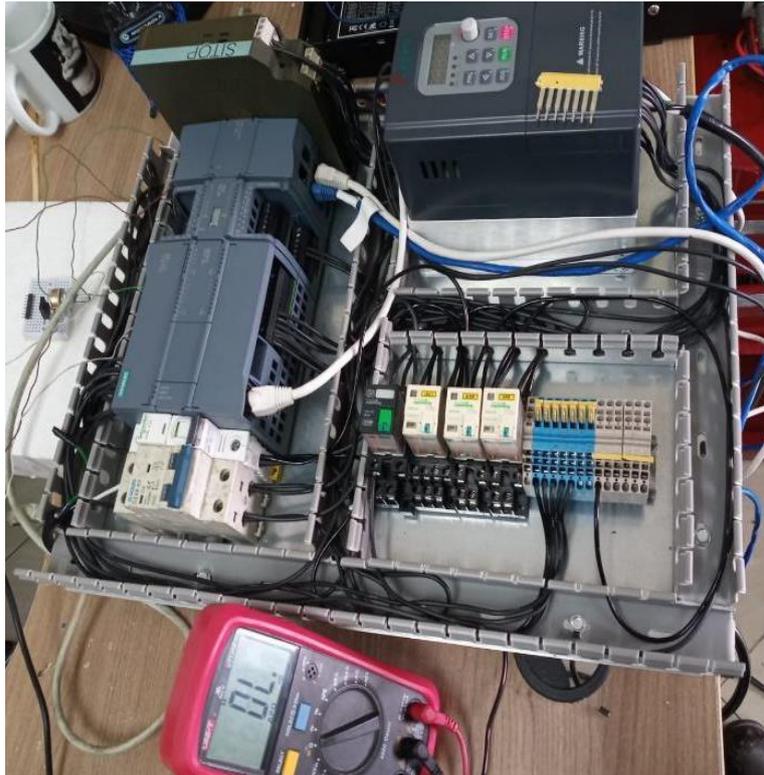


Fig. 8.5. conexiones eléctricas entre los componentes del tablero de control



Fig. 8.6/8.7 Corte del panel de control plástico para alojamiento de la pantalla de operación KTP-700



Fig. 8.8. Pantalla de operación. Tendencias.

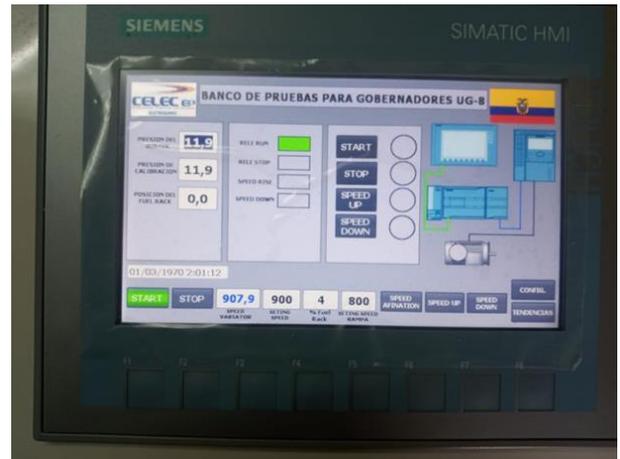


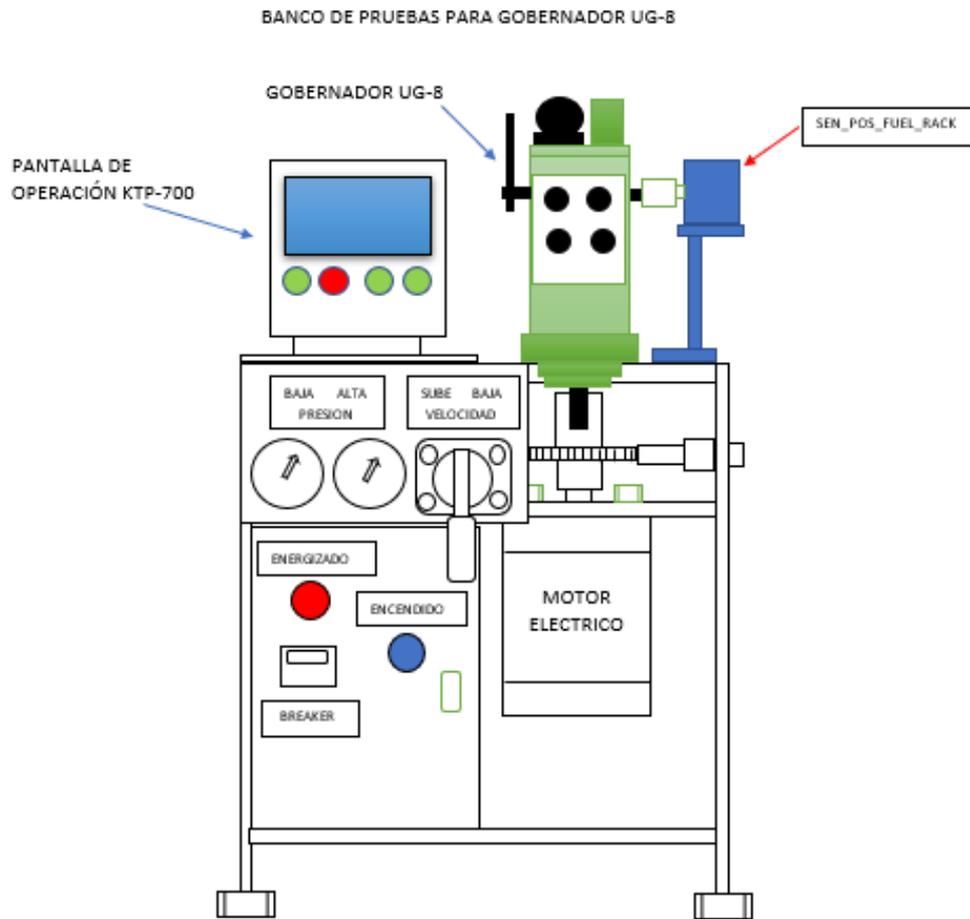
Fig. 8.9 Pantalla de operación "Principal"



Fig. 8.10. Calibración de las señales analógicas mediante el ensayo con el equipo calibrador documentador de procesos Fluke.

ANEXO 9

Diseño de la estructura mecánica del banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena



ANEXO 10

Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena



Fig. 10.0. Ensamble del banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación.



Fig. 10.1. Trabajos de ensamblaje en la estructura metálica del banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación.



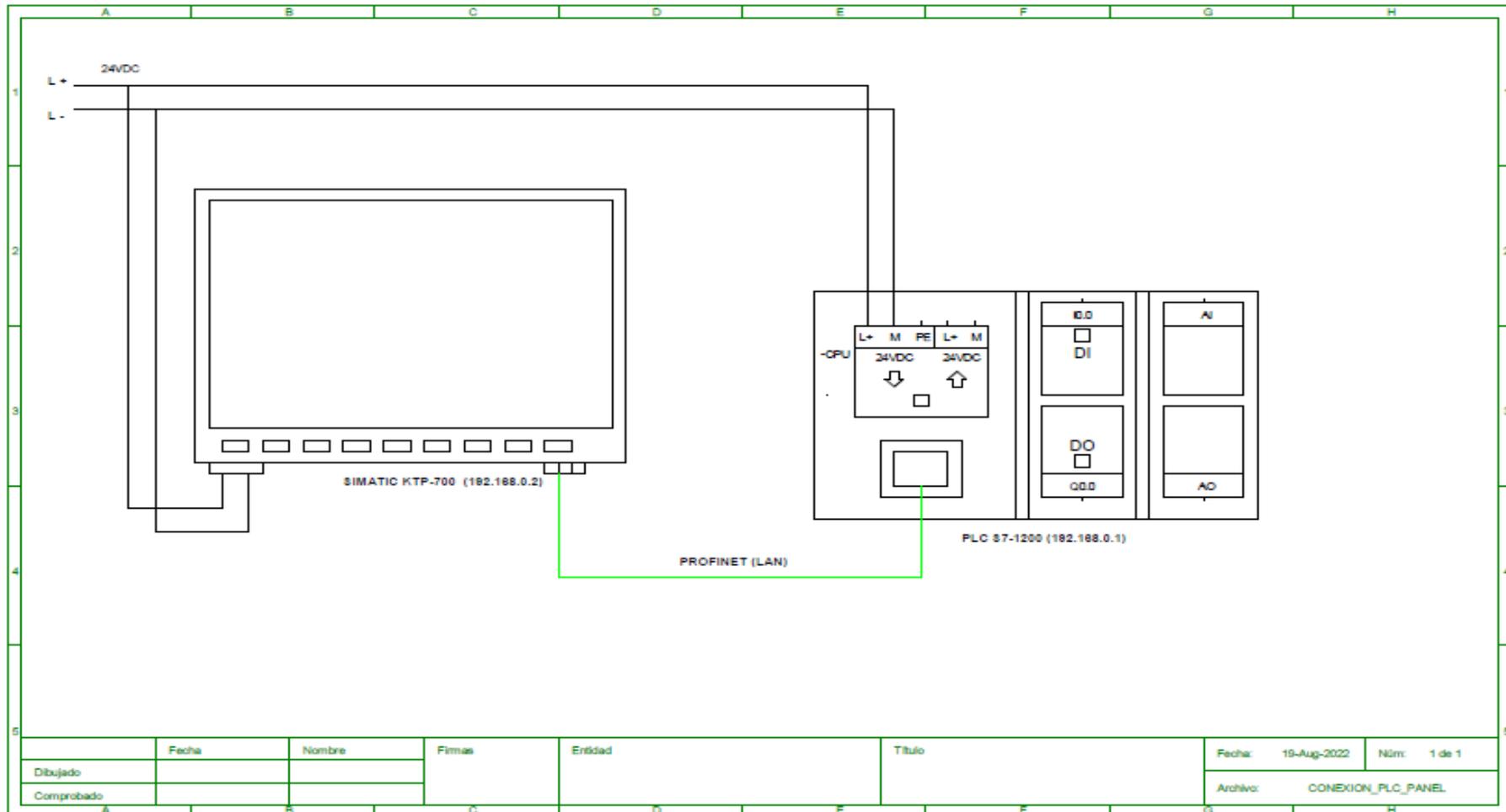
Fig. 10.2 ubicación del sensor de velocidad. Fig. 10.3. ubicación de los transductores de presión

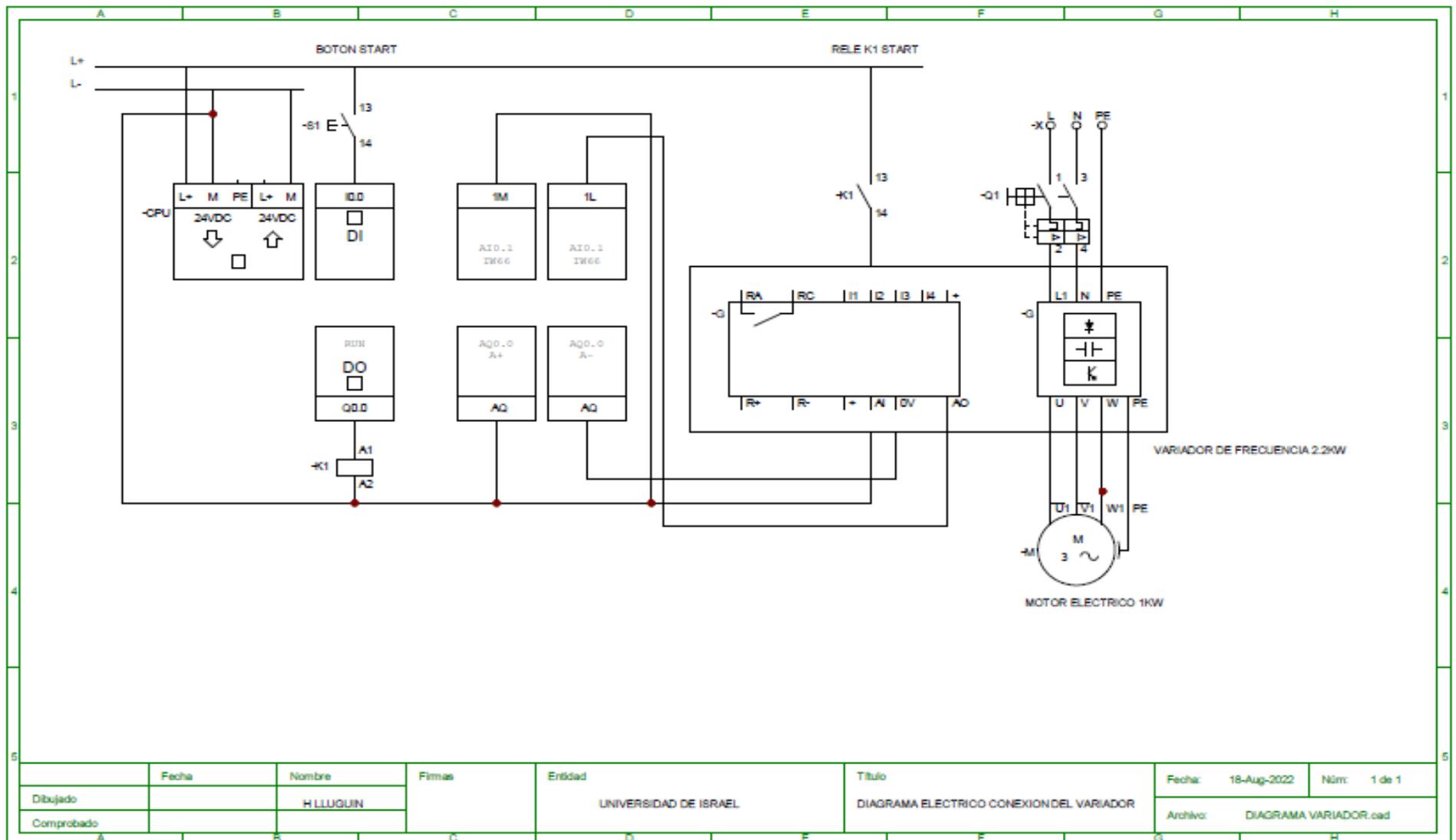
ANEXO 11.

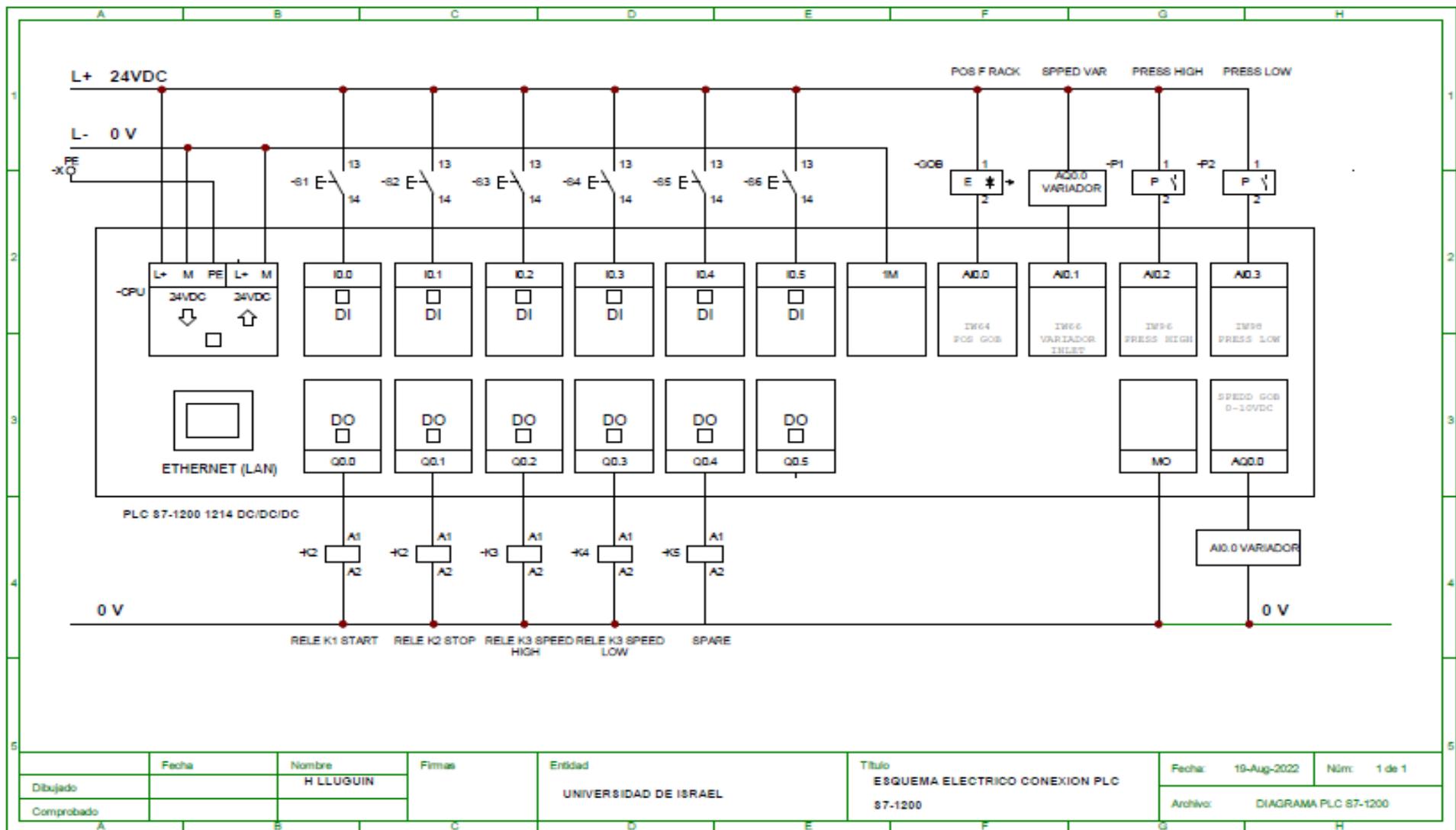
Tabla de costos de los dispositivos y materiales utilizados en el proyecto Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena

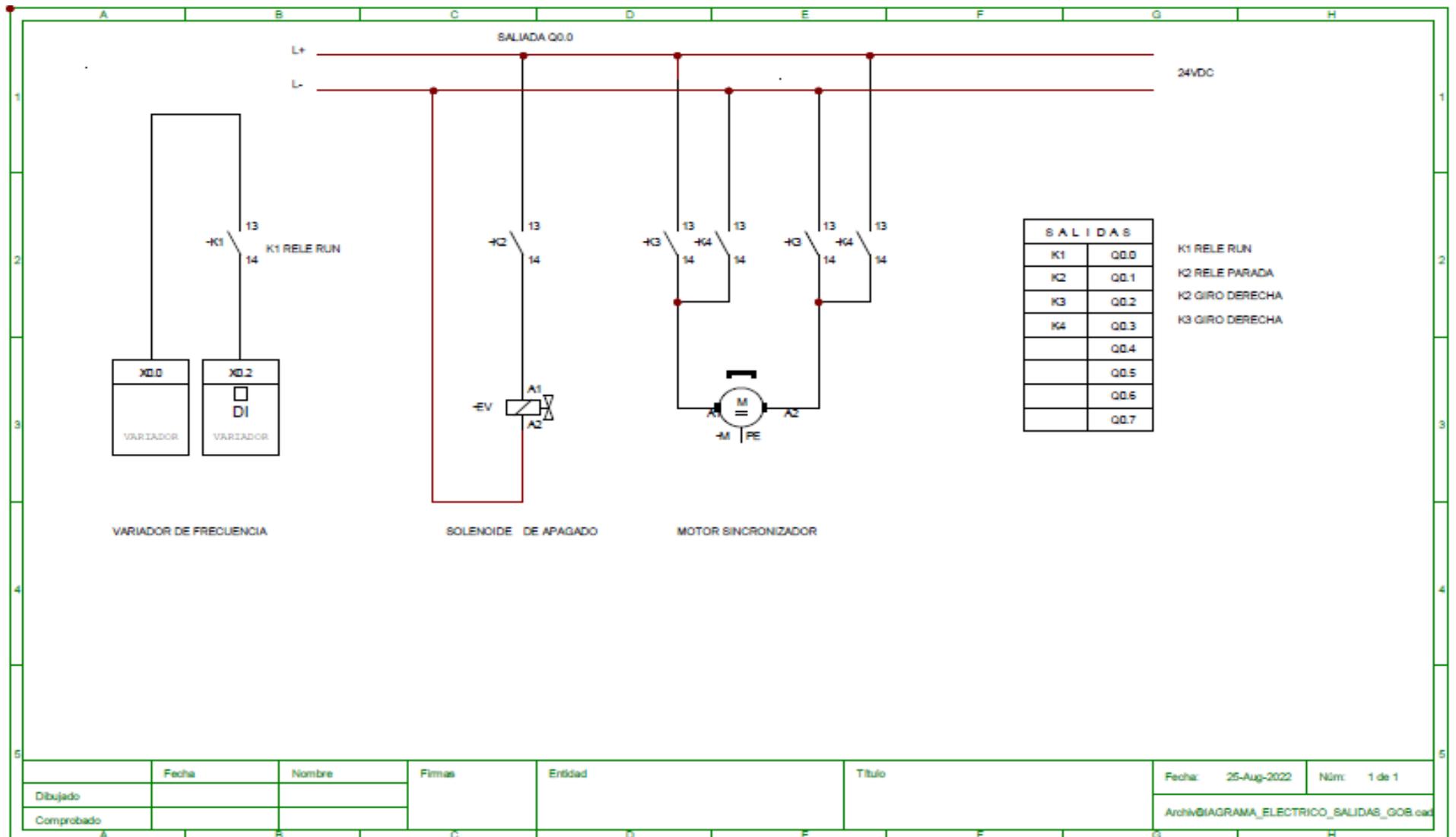
Ítem	Cantidad	Descripción	Precio unitario	Precio total
1	1	VARIADOR DE FRECUENCIA MARCA KEWO-ELECTRIC 2,2 KW/220 VAC	\$650,00	\$650,00
2	1	PLC S7-1200 1214 DC/DC/DC SIEMENS	\$750,00	\$750,00
3	1	MÓDULO DE ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS 4AI/2AO SIEMENS	\$250,00	\$250,00
4	1	SWITCH ETHERNET 4 PUERTOS RJ45 INDUSTRIAL SIEMENS	\$155,00	\$155,00
5	1	CONVERTIDOR DE SEÑAL ENTRADA DE FRECUENCIA 1-10 KHZ, SALIDA 4-20 mA /24VDC/WEDMULLR	\$200,00	\$200,00
6	1	PANTALLA TÁCTIL DE OPERACIÓN KTP-700 BASIC COLOR SIEMENS	\$1.100,00	\$1.100,00
7	2	TRANSDUCTOR DE PRESIÓN 0-10 BAR/4-20 mA	\$320,00	\$640,00
8	1	SENSOR DE VELOCIDAD MAGNÉTICO PICKUP TRAFAG	\$350,00	\$350,00
9	1	PANEL ELÉCTRICO 50X40X35 MATERIAL PLÁSTICO	\$85,14	\$85,14
10	1	PANEL ELÉCTRICO 35X20X30 MATERIAL PLÁSTICO	\$82,00	\$82,00
11	1	CABLES Y ACCESORIOS ELÉCTRICOS	\$350,00	\$350,00
12	1	ESTRUCTURA METÁLICA DE APOYO	\$450,00	\$450,00
13	4	CAPACITACIÓN O ADIESTRAMIENTO DE USO DEL BANCO DE CALIBRACIÓN PARA GOBERNADORES	\$20,00	\$80,00
14	1	MANO DE OBRA POR INSTALACIONES Y PRUEBAS EN CAMPO	\$850,00	\$850,00
15	1	DESARROLLO DE INGENIERÍA EN SOFTWARE TIA PORTAL STEP-7	\$1.500,00	\$1.500,00
			SUBTOTAL	\$7.492,14
			IVA 12%	\$899,06
			TOTAL	\$8.391,20

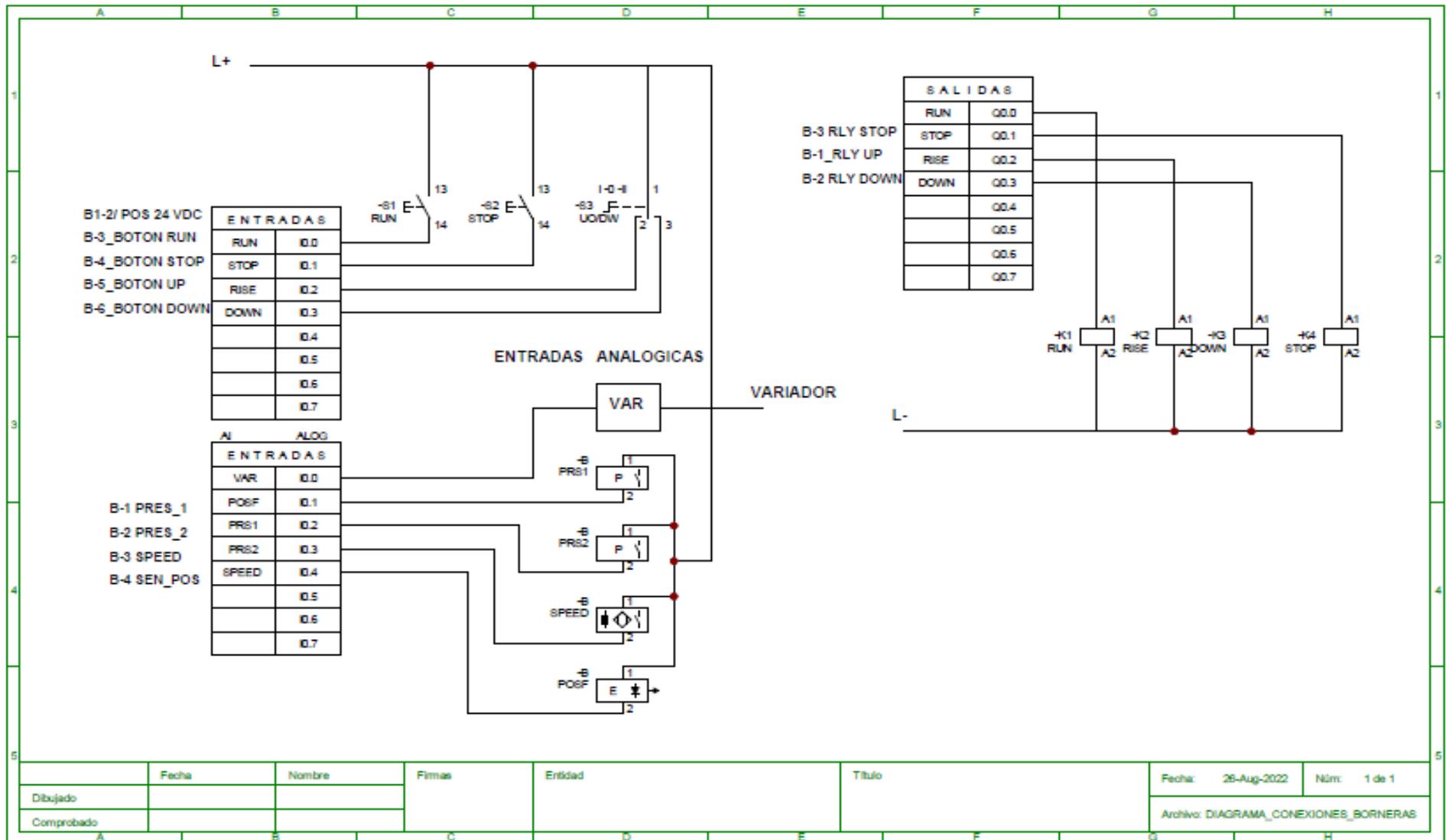
ANEXO 12
DIAGRAMA ELÉCTRICO











ANEXO 13
VALIDACIONES POR ESPECIALISTAS



Yo, Gladys Marlene Murillo Solarte con C.I 0913550729, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: “Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”.

Elaborado por el Ing. Héctor Ezequiel Lluquin Peñafiel, con C.I 0923134043, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Guayaquil, 5 de septiembre de 2022



Firmado electrónicamente por:
**GLADYS MARLENE
MURILLO SOLARTE**

Mgtr. Gladys Marlene Murillo Solarte

C.I 0913550729

Registro SENESCYT: 1021-15-86069966



Yo, Danny Fernando Aguirre Espín con C.I 1803192135, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: “Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”.

Elaborado por el Ing. Héctor Ezequiel Lluguin Peñafiel, con C.I 0923134043, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito, 5 de septiembre de 2022



Firmado electrónicamente por:
DANNY FERNANDO
AGUIRRE ESPIN

Mgtr. Danny Fernando Aguirre Espín

C.I 1803192135

Registro SENESCYT: 1001-2019-2039803



Yo, Franklin Francisco Ferrer Escalante con C.I 0913099503, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: “Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”.

Elaborado por el Ing. Héctor Ezequiel Lluquin Peñafiel, con C.I 0923134043, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Guayaquil, 5 de septiembre de 2022



Firmado electrónicamente por:
**FRANKLIN FRANCISCO
FERRER ESCALANTE**

Mgtr. Franklin Francisco Ferrer Escalante

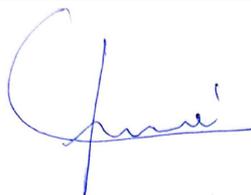
C.I 0913099503

Registro SENESCYT: 1021-314988

ANEXO 14
REPORTE TURNITING

Turnitin Informe de Originalidad

Procesado el: 09-sept.-2022 17:03 -05
 Identificador: 1896198910
 Número de palabras: 13160
 Entregado: 1



TT de Héctor Lluquín Por Lluquín Peñafiel Hector Ezequiel

Índice de similitud	Similitud según fuente
5%	Internet Sources: 5% Publicaciones: 0% Trabajos: N/A del estudiante:

1% match (Internet desde 01-ago.-2022) http://repositorio.uisrael.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/47000/2957/UISRAEL-EC-MASTER-ADMP-378.242-2022-007.pdf?isAllowed=y&sequence=1
< 1% match (Internet desde 26-ago.-2022) https://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/2926/1/UISRAEL-EC-MASTER-ADME-378.242-2022-008.pdf
< 1% match (Internet desde 25-ago.-2022) http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/3052/1/UISRAEL-EC-MASTER-SSO-378.242-2022-005..pdf
< 1% match (Internet desde 01-ago.-2022) http://repositorio.uisrael.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/47000/2920/UISRAEL-EC-MASTER-ADME-378.242-2022-002.pdf?isAllowed=y&sequence=1
< 1% match (Internet desde 31-jul.-2022) http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/2936/1/UISRAEL-EC-MASTER-ADMT-378.242-2022-001
< 1% match (Internet desde 10-feb.-2022) http://repositorio.uisrael.edu.ec/xmlui/handle/47000/1179
< 1% match (Internet desde 21-ago.-2022) https://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/3067/1/UISRAEL-EC-MASTER-SSO-378.242-2022-020.pdf
< 1% match (Internet desde 31-ago.-2022) http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/2596/1/UISRAEL-EC-MASTER-ADMP-378.242-2020-035.pdf
< 1% match () Mas Bautista, Ronald Eduardo. "Desarrollo y propuesta de implementación práctica de un sistema de control avanzado de un motor de combustión interna Nissan GA-15", Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017
< 1% match () Martín Furones, Ángel Esteban. "3rd Congress in Geomatics Engineering", 'Universitat Politecnica de Valencia', 2021
< 1% match () Herrero Núñez, Rubén. "Estudio de varias configuraciones de plantas termosolares con tecnología de receptor central y diseño de una central con configuración multitorre", 2014
< 1% match (Internet desde 14-nov.-2020) https://www.researchgate.net/publication/270589487_Diseño_e_implementación_de_un_controlador_difuso_que_interviene_la_inyección_electrónica
< 1% match (Internet desde 06-abr.-2021) http://risti.xyz/issues/ristie27.pdf
< 1% match (Internet desde 17-sept.-2021) https://www.coursehero.com/file/84784224/PRACTICA-5-LABORATORIO-DE-CONTROL.pdf/
< 1% match (Internet desde 04-may.-2022) https://www.coursehero.com/file/p1evo57/captura-correcta-y-validad-de-los-datos-y-ofrece-las-opciones-para-la/
< 1% match (Internet desde 03-mar.-2022) https://oa.upm.es/cgi/exportview/institution/E=5FTelecomunicacion/DC/E=5FTelecomunicacion.txt
< 1% match () Jiménez Ariza, Heidi Tatiana. "Supervisión multidistribuida para el control de procesos de conservación de productos agroalimentarios: optimización de calidad del producto", 'Universidad Politecnica de Madrid - University Library', 2015
< 1% match (Internet desde 08-dic.-2020) https://docplayer.es/7819208-Tecnologo-en-electronica-mencion-instrumentacion-avionica.html
< 1% match (Internet desde 29-nov.-2020) https://qdoc.tips/electronica-industrial-moderna-timothy-maloney-pdf-free.html
< 1% match (Internet desde 17-mar.-2008) http://www.peru.com/futbol/AutoNoticias/FutbolPrimeraDivision/2007/06/11/DetalleNoticia90426.asp
< 1% match (Internet desde 22-dic.-2020) https://www.mecalux.pe/almacenes-automaticos-para-cajas/transportadores-para-cajas
< 1% match (Internet desde 03-nov.-2020) http://centroagroindustrialold.blogspot.com/2013/08/
< 1% match (Internet desde 22-oct.-2021) http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/12635/1/T-UCSG-PRE-TEC-IECA-93.pdf
< 1% match (Internet desde 16-nov.-2021)

<http://saber.ucab.edu.ve/jspui/handle/123456789/16133>

< 1% match (Internet desde 23-jul.-2008)
<http://davixu.iespana.es/index.php?d=05&m=04&y=07>

< 1% match (Internet desde 30-jun.-2021)
<https://plhmhkm.gfsamper.es/es-es/a43118595>

< 1% match (Internet desde 22-ago.-2013)
<http://www.bombashasa.es/bombas-accesorios>

< 1% match (Internet desde 27-oct.-2019)
https://www.efco.it/media/filer_public/07/14/07147138-7f24-4140-a244-31ba638e8fcc/d-pp_potatore_1_a_rev1.pdf

< 1% match ()
http://www.el-universal.com.mx/pls/impreso/noticia_supl.html?id_articulo=3056&tabla=articulos

< 1% match (Internet desde 01-mar.-2008)
<http://www.monografias.com/trabajos17/factibilidad/factibilidad.shtml>

< 1% match (Internet desde 05-abr.-2022)
<https://1library.co/subject/variador-de-velocidad-yaskawa>

< 1% match (publicaciones)
[García, . "Outlet works", Dam Maintenance and Rehabilitation II, 2010.](#)

< 1% match (Internet desde 11-nov.-2020)
<https://dokumen.pub/fisica-universitaria-volumen-1-1-6074422885-9786074422887.html>

< 1% match ()
[Dicao Cheme, José Daniel, Véliz Cruz, Esteban Julián. "Repotenciación de tres maletas didácticas con mini plc logo + hmi, para realizar aplicaciones con motores trifásicos de baja potencia.", 2019](#)

< 1% match (Internet desde 23-nov.-2021)
<http://idetec.frv.m.utn.edu.ar/api/pub/e/lib/8>

< 1% match ()
[Andy Tanguila, Jorge Joel, Guanoluisa Huertas, Edwin Eduardo. "Diseño e implementación de un módulo experimental para simular procesos de control industrial, en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia de la Universidad Técnica de Cotopaxi Campus La Matriz en el periodo 2020-2021.", Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi; UTC., 2021](#)

< 1% match (Internet desde 18-feb.-2022)
<http://static.appliancesconnection.com/attachments/D5b6336b3dc672.pdf>

< 1% match (Internet desde 03-sept.-2020)
<https://worldwidescience.org/topicpages/b/brotado+como+componentes.html>

< 1% match (Internet desde 06-dic.-2003)
http://www.actaodontologica.com/oscar_quiros/11.asp

< 1% match (Internet desde 08-ene.-2021)
<https://www.clubensayos.com/Tecnolog%C3%ADa/Energia-electrica-y-plantas-nucleares/5161875.html>

< 1% match (Internet desde 29-dic.-2007)
http://www.fordfiestaclub.org.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=140&Itemid=125

< 1% match (Internet desde 12-oct.-2005)
<http://www.indec.mecon.gov.ar/nuevaweb/cuadros/17/CUENTASNACIONALESTAPA-PUB.pdf>

< 1% match (Internet desde 03-feb.-2007)
<http://www.rtp.gob.mx/unviaje.htm>

< 1% match (Internet desde 08-jul.-2006)
<http://www.sociedaddelainformacionycibercultura.org.mx/Programaci%F3nPonenciasGrupo18.doc>

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL ESCUELA DE POSGRADOS "ESPOG" MAESTRÍA EN: ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN Resolución: RPC-SO-09-No.265-2021 PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGÍSTER Título del proyecto: "Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena" Línea de Investigación: Sistemas de control en Generación de electricidad Campo amplio de conocimiento: Procesos Industriales, Sistemas de Automatización y Control, Generación Eléctrica y Electricidad en Potencia Autor/a: Héctor Ezequiel Lluquin Peñafiel Tutor/a: Rene Ernesto Cortijo Leyva Quito – Ecuador 2021 INFORMACIÓN GENERAL Contextualización del tema El sistema de Generación Eléctrico del Ecuador está constituido por varios tipos o medios para la obtención de la energía eléctrica, a través de las cuales se provee del recurso para suplir la demanda energética del país; por lo tanto, se cuenta con centrales de generación Hidráulicas, centrales Térmicas a Vapor, Centrales térmicas con Motores de Combustión interna, Centrales Eólicas y Centrales por paneles solares fotovoltaicos. A excepción de las Centrales fotovoltaicas y las Eólicas, los demás tipos de centrales por su naturaleza de funcionamiento (máquinas rotativas), requieren de un [sistema de control de velocidad](#) (gobernadores [de](#) velocidad), [el](#) cual [se](#) encarga de mantener siempre constante la velocidad sincrónica de la máquina para entregar siempre los 60 ciclos (60 Hz), que es la frecuencia con la que trabaja el Sistema Nacional Interconectado (SIN) de nuestro país. El gobernador de velocidad (regulador de velocidad), controla que la máquina motriz permanezca siempre girando a la misma velocidad, esto es indiferente del tipo de recurso que se utilice, como por ejemplo la energía hidráulica del agua en el caso de las centrales Hidroeléctricas, para este tema de investigación en particular se refiere a los motores de combustión interna. La Termoeléctrica Santa Elena, está constituida por 50 grupos electrógenos que aportan cada uno de ellos 1.5 MW, con una tensión de 4100 voltios, energía que se entrega a un grupo de transformadores elevadores hasta llegar al nivel de tensión de transmisión de 138KV, que se entrega al Sistema Nacional Interconectado (SNI). Los grupos electrógenos se componen de dos partes principalmente, el primo motor ([Motor de combustión interna de ciclo Diesel](#)), [que](#) impulsa al [generador](#) eléctrico (Alternador). El [motor de combustión interna MCI](#), funciona [con](#) dos tipos [de](#) combustibles; [como](#) lo son el Diesel y el Búnker y gracias al ciclo de cuatro tiempos (ciclo diésel) el motor de combustión

puede entregar la potencia mecánica que hace girar al Generador y de esta manera convertir [la energía mecánica en energía eléctrica](#). El generador debe entregar la potencia eléctrica al Sistema Nacional Interconectado a través de componentes eléctricos de control y fuerza; sin embargo esa energía debe ser controlada y se debe garantizar que los módulos de frecuencia y voltaje se encuentren dentro de los márgenes de calidad de energía, entonces para controlar la frecuencia se hace uso de un 1 dispositivo de control que se llama Gobernador (también conocido como regulador de velocidad), este elemento es de suma importancia para que el grupo electrógeno funcione correctamente, ya que de lo contrario simplemente la máquina no puede entregar electricidad a la carga. Como se trata de máquinas rotativas y que a su vez para poder funcionar requieren de otros sistemas denominados sistemas auxiliares, se necesita de personal calificado para poder operar y supervisar todos los componentes, así mismo se necesita del personal técnico especializado para realizar el mantenimiento en sus tres áreas como lo son: Mantenimiento Eléctrico, Mantenimiento Electrónico e Instrumentista y Mantenimiento Mecánico. Los operadores deben cumplir horarios rotativos de 8 horas y 12 personas por cada turno, divididos en operadores de campo, operadores de sala de control o tableristas y el supervisor de turno. Para el caso del personal de mantenimiento, ellos trabajan en horario administrativo, es decir un turno diario de 8 horas, y el personal del Departamento Químico, que trabaja en dos turnos de 8 horas por día. Como es lógico, ninguna empresa puede funcionar sin la dirección; por lo tanto, también está conformada por el personal administrativo, como lo son las Jefaturas de Mantenimiento y Operaciones, Seguridad Industrial, Ambiente, Jefatura del Departamento Químico, Jefatura de Central y sus respectivos asistentes. El mantenimiento y reparación de los gobernadores de velocidad Hidráulicos (que es el tema de estudio de este tema de tesis), es responsabilidad del Departamento Mecánico, ya que sus componentes internos funcionan por medio de mecanismos complejos (para otros casos existen gobernadores de velocidad electrónicos que controlan a los actuadores hidráulicos), que mediante una conexión mecánica con el motor de combustión interna se aprovecha el giro del mismo para accionar pequeñas bombas, válvulas y circuitos hidráulicos, con el fin de mantener estable la varilla de aceleración [para controlar el sistema de inyección de combustible](#) de la máquina, es por esta razón que a este dispositivo se lo llama también Sistema de Gobierno de velocidad y combustible. Cada departamento del que está conformada la empresa, aporta con sus trabajos y acciones al desarrollo de la Generación eléctrica que es el giro del negocio; por lo tanto, gracias al aporte del personal en su conjunto se logra generar energía sostenible para el país. Problema de investigación El Ecuador en su sistema de transmisión y generación de electricidad, dispone de varias centrales, como se mencionó anteriormente todas a excepción de las centrales fotovoltaicas y 2 eólicas, necesitan o dependen de los Gobernadores o reguladores de velocidad para generar a la frecuencia establecida por CENACE (60 ciclos para Ecuador y Latinoamérica). Para el presente proyecto, nos basaremos puntualmente en una central de generación térmica por motores alternativos o de combustión interna, a los que se denomina MCI por sus siglas. Los grupos electrógenos se componen de dos partes que son: el primo motor (MCI) y el Generador. Como se trata de máquinas que deben trabajar a una velocidad sincrónica (velocidad del estatismo de la red de energía, que para el caso de nuestro país es de 60 ciclos - 60 Hz), es necesario que el primo motor siempre se encuentre operando a una velocidad constante, esto es indiferente de la carga que esté asumiendo el generador (Kilovatios de energía KW o MW), debido a que la frecuencia no debe verse alterada, ya que de lo contrario puede ocasionar disturbios en la Red o Sistema Nacional Interconectado (SNI), y dichos disturbios afectan directamente la calidad de energía. Las máquinas o motores MCI, necesariamente deben contar con un sistema de gobierno de la velocidad de operación, toda vez que son equipos que funcionan con combustible fósil (para nuestro caso es el Diesel Oil y el Fuel Oil Bunker), en este caso; la velocidad de [un motor de combustión se la realiza](#) mediante la inyección [de](#) menor o mayor cantidad de combustible, solo por citar un ejemplo; en los coches, cuando se necesita incrementar la velocidad de crucero pisamos el acelerador para que se inyecte mayor cantidad de combustible al motor, y por lo tanto las revoluciones del motor aumentan, obteniendo con este proceso que el coche se desplace a mayor velocidad. En los grupos electrógenos no debe aumentar la velocidad sincrónica, sino más bien debe aumentar la carga del generador, en otras palabras, aumentan los kilovatios de generación. El dispositivo que se encarga de esta labor se llama gobernador, que mediante el giro de la máquina activa hidráulicamente la apertura o cierre de las cremalleras de las bombas de inyección de combustible, así; toda vez que el generador eléctrico necesite proporcionar más energía eléctrica a la red, el gobernador aumenta la inyección de combustible en proporción adecuada para que la velocidad sincrónica no se vea afectada y se mantenga estable. El gobernador de velocidad es un dispositivo que realiza un papel muy importante, por lo que es el equipo más importante para mantener la velocidad sincrónica de la máquina; por lo tanto, se le debe prestar el mayor de los cuidados, debido a que si este elemento falla la máquina puede verse afectada porque se perderá el control de la velocidad y puede provocar que el motor se sobre-revolucione, lo que sin duda destruirá el motor. En la actualidad el personal técnico mecánico realiza las calibraciones de los gobernadores en la misma máquina, esto resulta difícil de realizar porque ante todo, es peligroso para el trabajador y la misma máquina, ya que si falla puede ocasionar que la máquina pierda el control de la velocidad y se sobre-revolucione; si bien es cierto, el sistema de control cuenta con las debidas protecciones por sobrevelocidad, hasta que éstas protecciones actúen se pueden presentar sobrepresiones que por lo general rompen las cañerías o ductos por donde se transportan los fluidos (aceite, combustible, aire, agua y vapor), que pueden afectar directamente al trabajador ocasionando graves accidentes. Otro tema es que, si la calibración no resulta satisfactoria se debe retirar al gobernador y reemplazarlo por otro, lo que ocasiona pérdidas de tiempo en la ejecución del trabajo, además del cansancio del trabajador por realizar actividades que no debería si se contara con un equipo que le permita realizar las calibraciones en el taller o laboratorio antes de montarlo en la máquina. Para ello se debe desarrollar un equipo que pueda ser capaz de ayudarnos con las pruebas en laboratorio antes de que el gobernador sea montado en el motor de combustión. Este equipo debe ser capaz de emular las condiciones reales de operación, y así poder determinar la fiabilidad del gobernador para que pueda ser montado en la máquina con toda confianza y seguridad. El equipo o banco de pruebas debe ser lo más amigable y seguro posible para que el técnico operador (técnico encargado del mantenimiento de los gobernadores), pueda realizar las maniobras de calibración y poder visualizar los valores o detalles, como lo son: las presiones de las bombas de baja y alta presión de gobernador, la carrera de la varilla de control del riel de inyectores, la velocidad sincrónica, y la velocidad de respuesta de la caída de velocidad (Droop) cuando se le aplique carga a la máquina, éste último dato debe ser simulado mediante una lógica que se desarrollará para que el gobernador sienta que la máquina está asumiendo carga. Todos estos datos deberán ser observados en una pantalla HMI que en conjunto a un PLC (PLC S7-1200 y Panel HMI KTP-700), contendrán el sistema de control y los algoritmos para llevar a cabo este proyecto de mejora para la empresa. Objetivo general Desarrollar un banco de pruebas para gobernadores hidráulicos de control de velocidad en motores de generación de la termoeléctrica Santa Elena. Objetivos específicos • Desarrollar una estructura capaz de soportar y posicionar un gobernador hidráulico, donde se albergan todos los componentes que aporten a la simulación del funcionamiento en [un motor de combustión interna](#). • Diseñar un [sistema de](#) control mediante programación [de](#) PLC y la Interfaz hombre máquina (IHM), para realizar las simulaciones de [operación de un motor de combustión interna](#). • Implementar el sistema [de](#) control en la estructura mecánica del banco de pruebas para gobernadores hidráulicos de velocidad. • Validar el óptimo funcionamiento del gobernador hidráulico de velocidad, mediante el montaje en máquina MCI y prueba de generación en todos los rangos de trabajo, soportado por reporte de producción del departamento de operaciones. [Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos](#): Con [la implementación](#) del banco [de](#) pruebas [para](#) los gobernadores de velocidad hidráulicos (gobernadores UG-8), se contribuirá para con la sociedad y el medio ambiente con una menor concentración de contaminación, ya que por ser máquinas que queman combustible para su funcionamiento, emiten gases tóxicos al medio ambiente (Asfaltenos, NOX y SOX), que son muy nocivos para la fauna, la flora y el mismo ser humano; por lo que al realizar más finas las calibraciones de los gobernadores con la ayuda del banco de pruebas, el motor de combustión quemará la cantidad justa de combustible, obteniendo un mejor rendimiento en lo que respecta consumo de combustible versus kilovatio generado; por lo tanto, la combustión del motor será más limpia y por ende las emisiones serán menos nocivas. Si bien es cierto, como se trata de máquinas de combustión interna, no se puede reducir al cien por ciento la contaminación; sin embargo, si se puede realizar acciones y trabajos responsables para mitigar la polución y de ésta manera estar dentro de los parámetros permitidos y determinados por el Ministerio de Ambiente del país. Por otro lado, al estar más fino el sistema de gobierno de la máquina el consumo de combustible será menor comparado con un motor que no se haya intervenido ni calibrado, esto es debido a que el consumo de combustible va ligado directamente con la eficiencia de la máquina, ya que si se logra entregar una mayor cantidad de Megavatios con un

menor consumo de galones por minuto de combustible, se verá reflejado en un ahorro sustancial de dinero y además; un dato adicional, el ente regulador (CENACE) premia este tipo de acciones, ya que al ser más eficiente las unidades de generación se las mantendrá siempre en la primera lista o lugar para entrar en generación en el despacho económico diario que esta entidad programa día a día; en resumen, la central verá reflejado el ahorro de combustible que al mismo tiempo es dinero ahorrado, y podrá entregar más Megavatios de electricidad al Sistema Nacional Interconectado SNI. 5 Un beneficio que se adiciona con esta implementación es que, si bien es cierto, cada técnico es experto en su área, con la ayuda de herramientas tecnológicas se podrá desarrollar de mejor manera su trabajo, aun así; por muy sofisticado que un equipo pueda ser, siempre es necesario que la persona que lo opere sea capaz de tener el conocimiento y destrezas para obtener el mejor provecho de la herramienta. Para ello es necesario realizar las respectivas capacitaciones, ensayos técnicos, manuales de funcionamiento y manuales de mantenimiento. Un dato que es muy importante, es que, antes la empresa enviaba los equipos (gobernadores) al laboratorio de pruebas y calibraciones (laboratorio representante de la marca), donde se le realizaban las pruebas y reparaciones pertinentes, sin embargo existía un detalle y era que nunca se pudo constatar que tipos de pruebas o trabajos se les realizaban, toda vez que no permitían que un técnico de la empresa vaya hasta sus instalaciones y realice las inspecciones o fiscalizaciones respectivas para determinar que los trabajos que se le realizan a los equipos estén de acuerdo con lo requerido, y simplemente la empresa debía conformarse con la certificación del representante del fabricante. El costo aproximado que se le facturaba a la empresa rondaba los \$ 2,500.00 por cada gobernador de velocidad (este dato fue obtenido en el banco de datos de compras públicas SERCOP), y como se ha mencionado cada grupo electrógeno cuenta con un gobernador, por lo tanto, nos podemos hacer una idea del valor que le costaría a la empresa realizar las calibraciones a todos los gobernadores de la central. Otro valor agregado es que este proyecto no solo puede ser beneficioso para la industria de la Generación de electricidad, sino también a los motores de propulsión de barcos, turbinas, entre otros; y mejor aún; servirá como tema de aprendizaje en escuelas de enseñanza técnica para que los estudiantes puedan entender el funcionamiento de un Regulador de velocidad hidráulico y por qué no, poder repararlos y calibrarlos.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 1.1. Contextualización general del estado del arte Los motores de combustión interna son máquinas rotativas que requieren quemar el combustible fósil (para nuestro caso en particular diesel oil y fuel oil), para poder obtener energía o potencia mecánica en un eje que, al ser conectado mediante acoples a otro equipo o máquina, forman un conjunto que se denomina máquina impulsora y máquina impulsada; un grupo electrógeno es un fiel ejemplo de ello. [Los motores de combustión](#) necesitan de [un sistema de control de](#) suministro de combustible para poder funcionar correctamente, y es aquí donde entra en acción el gobernador de velocidad; por lo tanto, para que la máquina pueda mantener una velocidad estable, se requiere que su gobernador trabaje correctamente. En el mercado industrial existen varios tipos de gobernadores de velocidad, desde los más antiguos hasta los más tecnológicos; sin embargo, todos comparten el típico aprovechamiento de la fuerza centrífuga y la fuerza hidráulica, aunque el control sea mecánico, eléctrico o electrónico. Los gobernadores de velocidad del tipo UG-8, pertenecen a la firma o marca Woodward y se los denomina Gobernador de palanca de la clase UG5,7,8 y 10, y para este trabajo de investigación nos centraremos en el modelo UG-8. Como estamos claros en el tipo de equipo con el que se va a trabajar, pues nos basaremos en los manuales de mantenimiento y operación de gobernadores Woodward SP03036. Woodward, 1982). Para que el gobernador pueda funcionar, necesita de la energía mecánica de giro en su eje impulsor, que a su vez mediante las revoluciones por minuto genera la energía hidráulica proporcionada por sus dos bombas internas; por lo tanto, para determinar que este equipo esté dentro de los parámetros normales y eficientes de operación, requerimos de un equipo o banco de pruebas donde se pueda determinar lo anteriormente mencionado. Para poder llevar a cabo la creación de este banco de pruebas, necesitamos hacer uso de los dispositivos tecnológicos, mediante el controlador y su lógica, pantalla de monitoreo para visualización de los datos, sensores y transductores que son recolectores de información para las entradas del controlador y los dispositivos de salida que son los actuadores, para este caso; los relés, motor eléctrico, bobina solenoide y el variador de velocidad. (Leonel, 2014). Este proyecto tendrá impacto directo en la industria de generación eléctrica mediante motores de combustión interna, además; proporcionará una ventaja a los técnicos en mantenimiento de gobernadores, ya que se podrán realizar los trabajos de calibraciones y 7 reparaciones con la oportuna ayuda del banco de pruebas de gobernadores hidráulicos de velocidad. Para el desarrollo de esta investigación se analizaron entre otros, los siguientes trabajos: En el año 2016 Estiven Sanabria Betancur realizó un trabajo investigativo denominado "Sistema de control de velocidad de un motor trifásico mediante un variador de frecuencia y sistema SCADA", [en la Facultad de Tecnologías, Ingeniería Mecatrónica en la Universidad Tecnológica de Pereira](#). El autor realiza las comparaciones respectivas de los distintos arreglos para los sistemas de arranque de motores eléctricos de inducción, hasta llegar a la explicación de los variadores de velocidad (también se los conoce como inversores). Los motores eléctricos de inducción cuentan con un par de arranque muy elevado; que en promedio, en los arranques generan picos de corriente de arranque de hasta 7 veces de su consumo nominal de placa, por lo que es un buen planteamiento, realizar arreglos eléctricos para tratar de reducir al mínimo los mencionados picos. Mediante el análisis de cada una de las soluciones existentes que se utilizan en la práctica (realizado por el autor de este estudio), [pudo llegar a la conclusión que el mejor arreglo](#) para que el motor eléctrico pueda arrancar de manera suave y, además establecer un control de su velocidad para los diferentes usos o aplicaciones que se requieran, es la implementación de un inversor o variador de velocidad, ya que este equipo presenta muchas ventajas frente a los demás sistemas de arranque. Este equipo realiza modificaciones en los fasores de corriente el voltaje y la frecuencia, logrando con esto el control de las revoluciones del motor eléctrico. En este tema de investigación también hace énfasis en que el variador puede ser controlado de manera remota, mediante comunicaciones que, para este caso se trató del protocolo Modbus, además de las configuraciones de las entradas y salidas (analógicas y digitales), con las que se puede realizar arreglos eléctricos con el fin de establecer, inicialmente una comunicación remota; y posterior, realizar conexiones eléctricas en la periferia del inversor [para obtener un control de lazo cerrado](#) muy robusto. El análisis realizado en este tema de investigación, proporcionó las ideas del correcto uso y configuraciones de un variador con ejemplos prácticos e imágenes de los diagramas eléctricos, haciendo notar que es la mejor opción que tenemos para ponerla en práctica en nuestro proyecto de implementación, es decir el "Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoelectrónica Santa Elena", (BETANCUR, 2016). Figura 1 Diagrama de bloques de la composición del variador de velocidad (inversor). Fuente: (BETANCUR, 2016) En el año 2016, en la Universidad Tecnológica Israel, la autora Karla Dayana Riera Ochoa, realizó la tesis en el tema de investigación "[Automatización de puerta e implementación de sensor de movimiento para el parqueadero UISRAEL](#)", en lo que respecta a la carrera en Electrónica Digital y Telecomunicaciones. En la investigación se plantea el problema en el sistema de control de la puerta principal que en ese entonces se encontraba averiada por el uso excesivo de un mando a distancia que terminó dañando el motor que accionaba la puerta, además de no contar con un sistema que controle el encendido de las luces, toda vez que permanecían encendidas en todo el transcurso de los horarios de clases. En el tema de investigación se planteó la integración de un sistema de control a distancia mediante una placa Arduino con un módulo RF, facilitando la apertura y cierre de la puerta sin que tener que bajarse del vehículo o que otra persona esté dedicada a esta actividad, además del control sistemático de las luces de iluminación del área de estacionamiento, ya que según los datos de la investigación se trata de un área subterránea, para que las luces se enciendan cuando se detecte un objeto y luego de la ausencia se apaguen ahorrando electricidad. Para ello se usaron sensores de proximidad, módulos RF Tx y Rx, pulsadores de tipo industriales, placa Arduino, relés de salida de control y potencia para el manejo del motor eléctrico. En la figura 2, se puede visualizar la constitución de una tarjeta Arduino Uno, con sus entradas y salidas que son configurables desde el software de Arduino el cuál es libre, además de sus puertos de comunicación y terminal para la fuente de poder. Figura 2 Placa Arduino Uno en la que se pueden desarrollar cualquier tipo de proyecto de automatización. Fuente: (Sojka, 2015) Además de la placa Arduino la investigadora se ayudó de la utilización de los controles remotos del tipo RF, los módulos de salida de Arduino (relés de salida de 5VDC), sensores de proximidad y los pulsadores normalmente abiertos tipo industriales, para que soporten las condiciones severas del uso masivo. En el desarrollo de la investigación la autora manifestó que se logró cumplir con los objetivos establecidos, lo que nos dice que la implementación tras sus estudios realizados cumplió satisfactoriamente las expectativas deseadas. En lo que respecta a este tema de investigación, proporcionó un gran aporte en lo que respecta a la selección de los sensores de proximidad, ya que el "Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la

Termoeléctrica Santa Elena”, si va a requerir de un sensor de proximidad para detectar el camino ascendente o descendente de la palanca de control mecánico de avance del fuel rack. (Riera Ochoa, 2019). En el año 2020, se publicó en la [Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías Informaçãõ](#) RISTI, una documentación de investigación [desarrollada](#) por los señores, [Flavio Morales](#), [German Haro](#), [Millard Escalona](#) y [Renato M. Toasa](#), de la Universidad Israel con el tema de publicación denominado, “Sistema de control y monitoreo bajo los protocolos ethernet y modbus RTU, en el control de sistemas de cintas transportadoras para línea embotelladora de bebidas”. En el desarrollo de la investigación realizada, se detectó que los operadores tenían que manipular los controles de las bandas o cintas transportadoras de manera manual, esto era desde el encendido de la etapa eléctrica de potencia hasta la regulación de la velocidad de los variadores, poniendo en peligro su propia integridad, además de la ineficiente producción. En el proyecto se propuso la mejora del [sistema de control](#) mediante [la reingeniería de un tablero de control](#) existente en las instalaciones de la fábrica, aprovechando los equipos existentes, con la implementación de un sistema de redes industriales, mejorando de esta manera, la eficiencia de las comunicaciones. Para esta mejora los investigadores decidieron emplear para las comunicaciones entre el PLC, la pantalla de operación y la PC de ingeniería el protocolo Ethernet y, para la [comunicación entre el PLC y el variador](#) [se seleccionó el protocolo](#) Modbus TCP/IP. En la figura 3, se puede apreciar de manera clara la configuración de la red establecida por los autores para llevar a cabo las comunicaciones entre los dispositivos tales como el PLC, la pantalla de operación y el PC de ingeniería. Para este tema de investigación se usó el software de ingeniería de la marca SIEMENS llamado TIA PORTAL, el PLC es el S7-1200 y la pantalla de operador es del modelo TP700. Figura 3 Esquema típico de una conexión ethernet industrial, con el ejemplo de la marca SIEMENS. Fuente: (Morales, 2020) Las conexiones eléctricas en esta investigación, se realizaron desde las entradas y salidas tanto del PLC S7-1200 y el variador Danfoss VLT Micro FC 51, así también la comunicación por medio del protocolo Modbus TCP/IP mediante una tarjeta que se adaptó al PLC para que ambos equipos compartan información de estados de funcionamiento. En la figura 4, se puede apreciar de manera muy clara y concisa la arquitectura típica de un enlace de red mediante el protocolo modbus TCP/IP, donde vemos la disposición de los dispositivos que integran la red. Figura 4 Modelo maestro de una conexión típica para comunicación mediante red Modbus Fuente: (Morales, 2020) Gracias a esta investigación, se puede entender lo ejecutado luego del análisis teórico práctico realizado, y que dió excelentes frutos luego de la implementación ya que se evitaron los tiempos muertos debido a las intervenciones repetitivas que debían realizar los operadores además de que, con el sistema de red de comunicaciones, se tiene acceso a todos los dispositivos que la conforman. Esto nos ayudó a seleccionar los dispositivos de control y la red en la que se los conectará para poder establecer los lazos de comunicaciones necesarios para llevar a cabo el “Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”, (Morales, 2020) 1.2. Proceso investigativo metodológico El desarrollo del proyecto de implementación del “Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”, se basará en el ámbito de observación experimental-científica, esto es porque como primer paso, se debe comprender el funcionamiento del gobernador Woodward UG-8 de los grupos electrógenos de la Central, así como sus características técnicas de operación para que el proyecto propuesto cumpla con el objetivo de ésta investigación. 12 En este caso se ha empleado los enfoques cualitativos y cuantitativos (enfoque mixto), ya que se requiere disminuir al máximo los tiempos de indisponibilidad registrados en los históricos, en función de la actividad de mantenimiento que se realiza por parte del Departamento de Mantenimiento Mecánico de la Central. Para solucionar el fenómeno presentado, se realizará un estudio de la importancia de la [implementación de un banco de pruebas](#) para [los gobernadores de](#) velocidad, basado en [los](#) datos estadísticos de los tiempos de indisponibilidad de las unidades que hayan sido intervenidas para efecto de la calibración de los reguladores de velocidad (gobernadores), debido a que el tamaño de la población es de 53 unidades; por lo tanto, se tomará como muestra para la “línea base” un gobernador nuevo y calibrado por el fabricante, según sus normativas establecidas, lo que servirá para realizar los respectivos ensayos de calibraciones y reparaciones de ser el caso, en los equipos a ser intervenidos. Técnicas aplicadas para el estudio metodológico de investigación La metodología de investigación que impulsa a la propuesta de la implementación del banco de pruebas son las siguientes: Método de observación científica. - se debe conocer a fondo el funcionamiento teórico del gobernador Woodward UG-8, que es el instrumento en que se basa la presente propuesta, sus características técnicas operativas y los manuales de mantenimiento que el fabricante facilita a sus clientes. Método de observación experimental. - servirá para determinar [las variables que se presentan en la investigación](#) científica, con el fin de contrastar las hipótesis teóricas del proyecto a implementar. Variable independiente. - las unidades de generación son solicitadas por CENACE para cumplir con el despacho diario de generación, lo que hace entender que las horas de funcionamiento de las máquinas depende directamente de un ente regulador. Variable dependiente. - estado óptimo del sistema de gobierno de velocidad, tomando en cuenta las técnicas aplicadas para los mantenimientos; por lo tanto, la disponibilidad de las unidades (para el caso de los gobernadores de velocidad), depende directamente del personal de mantenimiento mecánico, en sus actividades, destrezas, equipos de prueba, entre otros. Las variables dependientes e independientes se correlacionan de manera positiva, ya que a mayor solicitud de carga por parte del CENACE, las unidades cumplen en menor tiempo las horas establecidas por el fabricante para realizar los mantenimientos programados (cada 3000 horas), lo que ocasiona que el personal de mantenimiento tenga que intervenir con mayor prontitud en cada unidad, así mismo; se necesite mayor mano de obra, mejores métodos de trabajo para poder cumplir con las metas establecidas, todo para que Producción pueda mantener más unidades disponibles, es allí donde el proyecto propuesto entra en acción; toda vez que al mantener gobernadores en stock, el personal realizará esta actividad en un tiempo mucho menor al que en la actualidad se realiza. Un factor adicional que se aplicará [para el desarrollo de la metodología de investigación](#) para el [proyecto](#) propuesto son las entrevistas, para ello se basará en las opiniones de la población de trabajadores que estén involucrados directamente con el objeto de la presente propuesta. El personal de operaciones (producción), por estar ligado al despacho de las unidades y permanecer las 24 horas del día en turnos rotativos, conocen de primera mano las necesidades de cada una de las unidades, así como también entienden el impacto que causaría la implementación de un proyecto que ayude a [mejorar la calidad del servicio por parte del](#) personal de mantenimiento. El personal de mantenimiento mecánico, por estar ligado al trabajo directo en las unidades; por lo tanto, conocen de manera directa los beneficios que ocasionará la implementación del proyecto que se propone en el presente tema de investigación. De la misma manera se benefician también las jefaturas de mantenimiento y supervisores; toda vez que al mantener gobernadores en stock (con la implementación del banco de gobernadores), ese mismo personal estará disponible para realizar otras actividades que se requieran dependiendo de la naturaleza de sus puestos de trabajo. Con la fundamentación teórica y conociendo los métodos de investigación disponibles, es posible la construcción de un “Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”, que implemente una estructura mecánica que soporte el peso del gobernador y de la misma forma pueda albergar dentro de sí, todos los componentes y tecnologías que formarán parte de este proyecto, y de esta manera se cumpla con los objetivos establecidos para el beneficio de la central. **CAPÍTULO II: PROPUESTA 2.1 Fundamentos teóricos aplicados** Introducción [Para](#) proceder con [la](#) implementación del “Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena”, es necesario conocer los dispositivos que se van a utilizar, seleccionándolos por sus características técnicas tecnológicas para cumplir los objetivos establecidos. El primer paso es, comprender el funcionamiento del gobernador UG-8, que es el centro de atención del proyecto. Este equipo es de la marca Woodward Governor Company publicado en el año 1982. Brevemente se describe al gobernador como un equipo que trabaja mediante un equilibrio basado en el regulador centrífugo de Watt, su funcionamiento se [basa en que a medida que aumenta la](#) velocidad [de](#) la máquina, los contrapesos se elevan debido a la fuerza centrífuga arrastrando consigo un eje que se denomina biela y, que ésta a su vez controla la apertura de [una válvula que regula el caudal de](#) combustible con [el](#) que la máquina se impulsa (para nuestro caso es combustible fósil Diesel Oil o Bunker). (Woodward, 1982). Descripción del funcionamiento del banco de pruebas de gobernadores de velocidad Por tratarse de la simulación del funcionamiento del gobernador en un motor o turbina, el banco de pruebas se basará en un equipo llamado variador de velocidad o inverter, el cuál mediante su electrónica interna es capaz de controlar la velocidad del motor eléctrico que se ha seleccionado (motor asíncrono de inducción de 1 kW 220 VAC trifásico), también con las interfaces de sus entradas y salidas (discretas y analógicas), se puede realizar los enlaces para establecer el control; mediante la lógica de programación del PLC, pantalla táctil de operación, los sensores y transductores periféricos, todos configurados desde el

software de ingeniería TIA Portal de SIEMENS. [A continuación, se detallan las características tecnológicas de cada uno](#) de los dispositivos [que](#) integrarán nuestro banco de pruebas de gobernadores de velocidad. Controlador lógico programable PLC SIMATIC S7-1200 Para nuestro proyecto seleccionamos el PLC de SIEMENS S7-1200 / 6ES7 214-1AG31-0XB0, el cuál cuenta con 14 entradas digitales 24 VDC, dos entradas analógicas integradas de 0-10 VDC, 10 salidas digitales, una memoria de datos de 75 Kb para las configuraciones y programaciones del dispositivo. 15 La programación se basa en lenguaje KOP, en las que se integrarán los datos que se adquieren desde el mundo físico, mediante las entradas discretas y analógicas, la implementación de un módulo adicional de entradas y salidas analógicas del modelo 6ES7 234-4HE32-0XB0 SIEMENS S7-1200 SM 1234, 4AI/2AO, además se debe adicionar un módulo de entradas y salidas analógicas que nos servirá para las lecturas de las entradas desde los dos transductores de presión (bombas de presión de aceite del gobernador), la señal proveniente del sensor de velocidad (sensor magnético pickup), y la señal de salida de esta tarjeta AQ 0.0, que es la que se conectará con la entrada analógica en rampa de 0-10 VDC del variador de frecuencia. Figura 5 Imagen del PLC S7-1200 y el módulo de entradas y salidas analógicas de la marca SIEMENS, seleccionado para el proyecto. En la figura de arriba se visualiza la estructura de conexión entre el CPU del PLC S7-1200 y el módulo de entradas y salidas analógicas, de los cuales se dispone para poder establecer la lógica de programación y las interfaces de entradas y salidas. Pantalla táctil de operación SIMATIC KTP-700 Se necesita un dispositivo que permita visualizar los datos que se procesan en el PLC, para ello está seleccionada la pantalla táctil SIMATIC KTP-700, que tiene excelentes prestaciones y facilidades para la programación del software de desarrollo de la ingeniería. El banco de pruebas recibe datos físicos desde el mismo gobernador a través de conexiones mecánicas (acoples y mangueras), que se conectan con dos transductores para poder leer la presión de la bomba de aceite interna que tiene el equipo, así mismo, se tienen otras lecturas como la velocidad del giro del gobernador y los estados lógicos del motor de sincronismo, todos esos datos serán reflejados 16 en la pantalla de operación para que el técnico de mantenimiento pueda verificar de manera fácil e intuitiva los datos para la correcta calibración. Figura 6 Vista de la pantalla principal del proyecto, en la que se puede tener acceso a los comandos y visualizar los estados lógicos, digitales y analógicos del banco de pruebas. Software de desarrollo de ingeniería de programación TIA Portal V 15.0 Para la configuración de los dispositivos de control, desarrollo de ingeniería y parametrizaciones (PLC y Pantalla Táctil), está disponible el software de ingeniería TIA Portal Versión 15.0, con su respectiva licencia de SIEMENS. Mediante la herramienta de conexión en el software TIA Portal, se enlaza los equipos PLC y pantalla para su comunicación en red ethernet con las direcciones para PLC IP 192.168.0.1 y, para la pantalla IP 192.168.0.2. El medio físico para el transporte de los datos es el cable UTP Categoría 5 (patch cord UTP terminales RJ45), y además cuenta con un switch ethernet de 4 puertos para dejar un patch cord disponible para fácil conexión con la estación de ingeniería. Figura 7 Configuración de conexiones de red entre pantalla y PLC en el software TIA Portal Variador KEWO [para el control de velocidad del motor eléctrico 220V-30](#) El equipo seleccionado cuenta con la tecnología de electrónica de control y potencia, ya que los variadores de frecuencia basan su funcionamiento en el control de los fasores de voltaje, frecuencia y corriente mediante su electrónica interna. El motor eléctrico que se ha seleccionado es una máquina trifásica de 1.5 caballos de fuerza (1.5 HP), a una tensión de funcionamiento de 220 voltios trifásicos. El variador de frecuencia de control vectorial de alto rendimiento AD350, es un controlador de motor eléctrico de propósito general de nueva generación desarrollado de forma independiente por KEWO. Con la aplicación de una nueva generación de tecnología avanzada de control vectorial de alto rendimiento, el control de par alto incluso a baja velocidad, la precisión de alta velocidad, la respuesta de par rápida y el rango de velocidad alto están disponibles para un control de motor sofisticado. Se caracteriza por tener un diseño modular, tamaño pequeño, pequeño aumento de temperatura, bajo nivel de ruido y rendimiento confiable. Ha incorporado PLC simple, ajuste PID, función de terminales de entrada y salida programables, RS458. (KEWO, 2022). Figura 8 Imagen del variador de frecuencia con capacidad de 2.2 KW, marca KEWO, seleccionado [para el control de velocidad del motor](#) polifásico [de](#) 220V/1.5KW. Fuente: (KEWO, 2022) Transductor de Presión TRAFAG (Modelo #060G1137). Las lecturas de la presión de la bomba y su retorno son de mucha importancia como dato, para la correcta interpretación del estado interno de los componentes del gobernador, por lo que se hace muy necesaria su implementación en el banco de pruebas. Se conoce que la presión que levanta la bomba de aceite puede llegar a un máximo de 130 PSI (8.8 Bares), los transductores deben ser capaces de soportar esa presión y por esa razón su escala para este uso es del rango de 0-10 Bares (0 a 150 PSI), la salida de corriente que envía el transductor al PLC es de 4-20 mA con una conexión eléctrica tipo DIN (conector de capuchón plástico con sellos de caucho), para evitar que se introduzca humedad en los pines de conexión. El banco de pruebas de gobernadores de velocidad, usa dos unidades para detectar o leer las presiones, una de test, entre 8 a 8.5 bares y otro para leer la presión de aceite de salida del filtro o retorno que ronda los 4 a 5 bares. La primera lectura le da la idea al técnico de la salud de la bomba, mientras que la segunda lectura le muestra si el cilindro y pistón de poder se encuentran con y sin aire y si la presión es muy baja, le dirá que existe desgaste en esos dos componentes. Los modelos seleccionados son fabricados por Danfoss, y gracias a su confiabilidad forman parte de este proyecto. Figura 9 Transductor de presión escala 0-10 Bares, salida 4-20 mA, conexión roscada ¼ NPT, que se conecta a la conexión mecánica del gobernador para prueba de calibración. Fuente: (TRAFAG, 2021) Sensor de velocidad pickup TRAFAG Las máquinas rotativas que impulsan a otras máquinas, requieren de [un sistema de monitoreo que permita](#) visualizar [la](#) velocidad con [la](#) que están girando en el proceso, es por ello que se ha seleccionado un sensor del tipo magnético, el mismo que ha sido ubicado estratégicamente en el acople entre el eje del motor eléctrico y el eje del gobernador, donde se 19 ha dispuesto de un perno de hierro que al pasar muy cerca del sensor causa una atenuación en la punta del sensor, generando un pulso. Este pulso es enviado mediante un cable hacia un dispositivo llamado convertidor (convierte una energía eléctrica de una magnitud en otra), que recibe los datos de frecuencia (pulsos emitidos por el sensor), y los convierte en una señal de corriente de la escala de 4 a 20 mA, la misma que es recibida por el PLC en su entrada analógica y esa lectura será más tarde mostrada en el panel de operación. Figura 10 Sensor de velocidad tipo Pickup, con cuerpo totalmente roscado para fácil regulación y conector eléctrico universal. Fuente: (TRAFAG, 2021) 2.2 Descripción de la propuesta El Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena, será de gran ayuda para los trabajos de calibraciones y reparaciones que realiza el personal técnico mecánico, porque al simular el [funcionamiento de un motor de combustión](#), se pueden verificar [los](#) datos técnicos, simulaciones [de](#) las rampas de arranque, y con ello no tener que ir al motor y montar el gobernador para realizar las pruebas de afinación, debido a que en la actualidad no contamos con este equipo. Al contar con el banco de pruebas de gobernadores de velocidad, se ahorrará mucho tiempo y energía para el personal, ya que el gobernador es un equipo pesado (aproximadamente 50 Kg), y el lugar donde se debe montar en la máquina, queda a 1.5 metros de altura con relación al piso, por lo tanto; se trata de un punto de motivación para realizarlo lo antes posible; sin embargo, lo más importante es que se podrán realizar las reparaciones y calibraciones en el taller mecánico y el equipo será instalado en la máquina con la total confianza de que va a funcionar de la mejor manera. Figura 11 20 Diagrama unifilar de conexiones entre elementos periféricos de entrada, salida, controlador, pantalla de operación y conexión de red ethernet entre PLC y HMI. En la figura de arriba se puede apreciar de manera intuitiva las disposiciones de cada elemento que conformará el banco de pruebas; ya que cada sensor, dispositivo de control y actuador, aportan significativamente para conseguir el objetivo que se ha planteado en este trabajo de investigación. a. Estructura general En la estructura general se muestra mediante un diagrama de bloques, [cada uno de los componentes que forman parte del proyecto](#) "Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena", siempre que una imagen puede hablar mejor y mucho más que mil palabras. Figura 12 Diagrama de bloques, donde se especifica cada elemento que conforma el sistema de control del banco de gobernadores hidráulicos de velocidad de motores de combustión interna. En el diagrama esquemático podemos visualizar de manera didáctica desde las entradas periféricas (sensores, transductores y botoneras), el controlador lógico programable donde se puede ver claramente las entradas y sus salidas, además de la comunicación con la pantalla de operación HMI, las salidas que interactúan con el controlador y, por último, pero no menos importante, el motor eléctrico. b. Explicación del aporte El banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena, será un equipo que sumará un valor agregado al "Departamento de Mantenimiento" en lo que respecta a los trabajos referentes a reparaciones y calibraciones del corazón del motor de combustión (gobernador de velocidad), ya que al entregar este equipo correctamente calibrado y al no perder tiempos en las pruebas en la misma máquina, se mejorará de forma sustancial el servicio técnico, toda vez que nuestro principal

cliente es el Departamento de Operaciones o Producción. La forma en que se mide a Producción es la generación de recursos económicos para la empresa, mientras que a Mantenimiento se lo mide por la inversión de esos recursos y que se 22 destinan a la conservación de los bienes de la empresa y además, el tiempo en que una máquina está fuera de servicio genera un lucro cesante, que representa pérdidas por no estar disponible; es en este punto en que proyectos como el que se está presentando, permiten que los tiempos de indisponibilidad se acorten significativamente; es decir, tiempos en las consignas más cortos que a su vez representa dinero ahorrado, lo que termina ocasionando beneficios para la empresa. El principal beneficio es que, cuando el gobernador se calibre en el banco de pruebas, el técnico mecánico no tendrá la necesidad de realizar pruebas de calibraciones de ninguna índole en la máquina, porque esto representa un gran peligro, tanto para el técnico y el operador ya que, si la máquina pierde el control de la velocidad por un gobernador defectuoso, puede llegar a afectar la integridad física del personal en campo, así como para el mismo motor. Hasta la actualidad solo se han reportado incidentes menores durante la ejecución de estas pruebas; sin embargo, no es una buena idea [esperar a que ocurra una desgracia para tomar cartas en el asunto](#); sino más bien hay que adelantarse a los hechos y desarrollar soluciones [a los problemas que se presentan en el diario vivir](#). c. Estrategias y/o técnicas Todos los proyectos empiezan por un diseño que tiene como base satisfacer una necesidad o la resolución de un problema planteado. Ante ello para la presente propuesta se desarrollan los siguientes pasos a ejecutarse de forma consecutiva hasta llegar al producto final. Diseño de la estructura metálica del banco de pruebas de gobernadores de velocidad. Con la selección de las tecnologías que conformarán la propuesta del banco de gobernadores de velocidad, es necesario diseñar una estructura metálica [que sea capaz de soportar el peso del](#) gobernador de velocidad UG-8 y el motor eléctrico trifásico, además de los dispositivos tecnológicos como lo son; PLC, pantalla HMI, variador de velocidad, sensores y transductores, y que tenga las prestaciones necesarias para la instalación del cableado de control y fuerza. La estructura metálica de soporte del banco de pruebas será de material acero, con la ayuda de personal experto en soldaduras y fabricación de estructuras será posible realizarlo, ante ello se debe realizar el bosquejo del diseño preliminar al cual se quiere llegar. Con el diseño se determinan las cantidades de materiales que se necesiten para su confección, para ello se solicita la colaboración del Departamento de Soldadura de la Central, reutilizando materiales tales como; planchas de acero inoxidable, ángulos de acero negro, tubos cuadrados de acero negro, pernos de sujeción y soldadura tipo 6011. Figura 13 Diseño de la estructura metálica para el banco de pruebas de gobernadores de velocidad UG-8 Culminada la estructura metálica en lo que respecta a los cortes, soldaduras y otros trabajos de metalmeccánica, se pinta la estructura para darle un toque de presentación y lo más importante, evitar que los materiales utilizados (en su mayoría acero negro), sufran corrosiones debido a que el ambiente en el medio donde se encuentra ubicada la Central Santa Elena es salino por estar cerca del mar. Diseño de los planos eléctricos para el conexionado de los sensores, dispositivos de control y actuadores. Una parte muy importante del diseño es la elaboración de los diagramas eléctricos; por lo tanto, al conocer las características técnicas de cada uno de los instrumentos y dispositivos que conformarán el banco de pruebas de gobernadores de velocidad, se procede con la realización de los planos de las conexiones eléctricas y para ello se utilizó la herramienta informática denominada CadeSimu, ya que es un software de libre acceso y muy versátil para este tipo de trabajos, toda vez que se pueden realizar simulaciones para verificar que las conexiones estén realizadas correctamente. 24 Figura 14 Conexiones eléctricas y red ethernet entre pantalla táctil KTP-700 y PLC S7-1200. Figura 15 Diagrama eléctrico unifilar de todos los componentes del Banco de pruebas de gobernadores UG-8. En las figuras de arriba se observan las conexiones eléctricas entre los dispositivos de control y los periféricos; sin embargo, en los anexos se da más detalle sobre los diagramas eléctricos y electrónicos del proyecto. Programación de la lógica para la simulación [del funcionamiento de un motor de combustión interna](#). 25 Una vez que se han diseñado los diagramas eléctricos, se puede pasar al paso del uso del software de desarrollo de ingeniería (TIA Portal V15), para ello se han realizado las líneas de programación a partir de las investigaciones técnicas experimentales del funcionamiento de los gobernadores de velocidad, ya que este software permite integrar de manera transparente las comunicaciones entre el controlador y la pantalla de operación, para la visualización de los datos que se recolectan desde las entradas del PLC y sus salidas, elementos que ya se conocen y que se han dispuesto de manera estratégica en cada punto del banco de pruebas, según el diseño que se ha establecido. En el software de programación se han integrado los dos dispositivos que intercambiarán datos entre sí, para establecer la comunicación ethernet con el respectivo direccionamiento IP. Una vez que se ha dispuesto las conexiones de red entre los dispositivos, se procede con la edición de [las variables de entrada y salida del controlador](#), esto [se realiza en base a la información de los](#) elementos que conforman el banco de pruebas, como son: los dos sensores de presión (0 a 10 Bar), sensor de velocidad magnético, sensor de posición, entradas discretas (pulsadores de marcha, paro y selector de tres posiciones para subir y bajar velocidad), las salidas discretas y salidas analógicas. De esta manera se crea el mapa de datos para las entradas y salidas, además del bloque de datos para accesos remotos y conexiones con dispositivos de otras tecnologías de llegarse a dar el caso. En las propiedades del PLC se debe activar la opción "habilitar la utilización de byte de marcas de ciclo", para tener a nuestro favor las marcas de reloj del controlador, esto nos puede servir para un sin número de opciones, como por ejemplo los contadores de horas de trabajo, tiempos para las tomas de muestreo de datos (latencia), entre muchas otras opciones disponibles. Figura 16 Detalle de los nombres de las entradas físicas del PLC S7-1200, en el software TIA Portal, en la tarjeta de entradas analógicas del CPU. Figura 17 Detalle de los nombres de las entradas físicas del PLC S7-1200, en el software TIA Portal, en la tarjeta de entradas y salidas analógicas. Una vez que se han declarado las variables directas e indirectas, se procede con el escalamiento de las señales analógicas y luego con el desarrollo de la ingeniería de programación mediante la lógica de contactos y funciones en las líneas de programación, que determinarán el control de los parámetros del banco de pruebas de gobernadores de velocidad. Control de velocidad [del motor eléctrico por medio del variador de frecuencia](#). El PLC controla la rampa de velocidad del inversor mediante una salida analógica escalada entre 0 y 10 voltios directos, teniendo en cuenta que la velocidad máxima del motor eléctrico es de 3600 RPM a 60Hz (motor de dos polos), por lo que el análisis de esta representación se visualiza de mejor manera mediante el siguiente gráfico. Figura 18 Análisis mediante un gráfico, sobre la curva representativa de la salida de voltaje desde el PLC con relación a las revoluciones por minuto del motor a través del variador de frecuencia. Para controlar de manera remota al variador (encendido y apagado), se ha dispuesto de sus entradas y salidas digitales que, a su vez se las controla a través del PLC con sus interfaces discretas, con el cableado de control. Esto está organizado de tal manera que se puede acceder a este control mediante la pantalla de operación y un selector digital instalado en la estructura metálica del banco de pruebas. Con el control eléctrico de la velocidad, mediante la programación de la rampa de velocidad del variador, se puede simular perfectamente las condiciones del motor de combustión interna y cualquier otro tipo de máquina rotativa; por lo tanto, ésta es la mejor manera de realizar las pruebas en el taller y de esta forma lograr los objetivos establecidos en esta propuesta. En el caso de los transductores de presión, se realiza un método muy similar al explicado anteriormente, la diferencia es que no se trabaja con rampa de voltaje, sino que más bien se lo hace por medio de las rampas de corrientes, con escalas de 4 a 20 mA (escala industrial normalizada), y tomando en cuenta que el nivel de presión está comprendido en la escala de 0 a 10 Bares (0 a 150 Psi), se realiza el análisis de curva respectiva, que para 4 mA corresponde 0 bares (0 Psi), y para 20 mA corresponden los 10 bares (150 Psi). Figura 19 Análisis mediante el gráfico de la relación entre la presión y la corriente emitida por el transductor. Bajo estos principios se aplican las técnicas de programación en el PLC S7-1200 para las entradas analógicas, bajo sus normalizaciones y escalamiento de las señales obtenidos desde los sensores y transductores. Las señales tratadas y escaladas son las que se muestran en la pantalla de operación bajo las nomenclaturas o variables del tipo "Real", debido a que las entradas son del tipo "Int", escaladas normalizadas desde 0 a 27648. Figura 20 Ejemplo del detalle del escalamiento de entradas analógicas [en el software TIA Portal con el PLC S7-1200](#). En la pantalla de operación se realizaron imágenes que facilitan la interpretación de manera visual, y los datos obtenidos se representan mediante tendencias y cuadros numéricos, que ayudan a mejorar el trabajo del técnico mecánico al momento de calibrar o realizar ensayos de mantenimiento del gobernador de velocidad, al utilizar el banco de pruebas propuesto. Figura 21 Interfaz del HMI para la visualización de los datos del gobernador, tendencias y curvas, además de los comandos mediante botones táctiles. Implementación del diseño eléctrico en la estructura metálica, instalación de sensores, actuadores y armado del panel de control del banco de gobernadores de velocidad UG-8. Una vez realizado los planos eléctricos, la [programación de la lógica de control](#) (ingeniería de desarrollo), [se](#) procede con [las](#) instalaciones del cableado eléctrico para las conexiones de cada uno de los componentes; así mismo, se ubican el motor eléctrico, los sensores de presión y el sensor de velocidad en cada punto de

ubicación previamente establecido en el diseño. En el diseño se establece que se debe utilizar cables eléctricos de control calibre 16 AWG flexible, para la fácil manipulación y pasada entre los canales establecidos en el diseño de la estructura metálica; así mismo, para las conexiones de fuerza entre el motor y el variador y la acometida de alimentación general, se utilizará cable eléctrico flexible de calibre 12 AWG. El panel de control tendrá las medidas 50x40x25 cm, en las que se podrán ubicar fácilmente los dispositivos de control, como son el PLC S7-1200, módulo de entradas y salidas analógicas, variador de velocidad, convertidor de frecuencia a corriente (Hz a 4-20mA), Switch ethernet, fuente de poder, relés de salida, borneras de entrada de datos discretos y analógicos, canaletas ranuradas para el paso de los cables de conexiones y los rieles tipo DIN para el soporte de los dispositivos. Figura 22 30 Panel de control del banco de pruebas de gobernadores de velocidad UG-8 En la imagen anterior se puede apreciar cada componente que conforma el panel de control del banco de gobernadores de velocidad y como están dispuestos en el plafón del tablero que estará ubicado en el costado derecho de la estructura metálica para que no cause estorbo al operador mecánico cuando realice los ensayos de calibración. Determinación de una línea base para establecer los datos de calibración de los gobernadores UG-8. Una vez ejecutado todos los pasos anteriormente mencionados, se deben realizar las pruebas necesarias para verificar que el banco de gobernadores de velocidad funcione correctamente. Cuando esto ocurra se debe obtener una "línea base" para establecer los parámetros técnicos, esto debe ser realizado con la ayuda de un equipo patrón y la mejor opción es utilizar un gobernador nuevo con certificación del fabricante (Woodward Company), que servirá como dato de inicio para las comparaciones con los demás gobernadores que se sometan a prueba. Tabla 1 Matriz para la recolección de los datos para establecer la línea base para la calibración de los gobernadores de velocidad UG-8 TABLA DE COMPARACIONES DE VALORES TEÓRICOS Y PRÁCTICOS PARA LÍNEA BASE ÍTEM DESCRIPCIÓN DEL PARÁMETRO VALOR TEÓRICO, MANUALES OPERACIÓN VALOR GOB. WOODWARD NUEVO 1 PRESIÓN DEL FILTRO (BAJA) 8,30 BAR (120 PSI) 8,4 BAR (121,8 PSI) 2 PRESIÓN DE LA BOMBA (ALTA) 4,00 BAR (58 PSI) 4,1 BAR (59,46 PSI) 3 VELOCIDAD SINCRÓNICA 1200 RPM 1202 RPM

[Como se puede observar en la tabla](#) de arriba, [los valores](#) que [se](#) han encontrado en la prueba realizada a un gobernador nuevo con la certificación de la compañía Woodward, difiere muy poco en relación a los datos que el fabricante establece en sus manuales de operación y mantenimiento; por lo tanto, los datos recolectados son de mucha importancia y marcan el precedente para las demás pruebas, toda vez que las calibraciones son ensayos donde se determinan las desviaciones y tolerancias máximas y mínimas aceptadas para que un equipo se encuentre dentro de los parámetros de funcionamiento. Determinación del estudio de factibilidad de la propuesta El presente proyecto se compone de materiales, mano de obra, desarrollo de ingeniería, dispositivos tecnológicos, máquinas eléctricas; los mismos que se nombran en la siguiente tabla descriptiva. Tabla 2 Cotización Ítem Cantidad 1 1 Descripción VARIADOR DE FRECUENCIA MARCA KEWO- ELECTRIC 2,2 KW/220 VAC Precio unitario Precio total \$650,00 \$650,00 2 1 PLC S7-1200 1214 DC/DC SIEMENS \$750,00 \$750,00 3 1 MODULO DE ENTRADAS Y SALIDAS ANALOGICAS 4AI/2AO SIEMENS \$250,00 \$250,00 4 1 SWITCH ETHERNET 4 PUERTOS RJ45 INDUSTRIAL SIEMENS \$155,00 \$155,00 5 1 CONVERTIDOR DE SEÑAL ENTRADA DE FRECUENCIA 1-10 KHZ, SALIDA 4-20 mA /24VDC/WEDMULLR \$200,00 \$200,00 6 1 PANTALLA TÁCTIL DE OPERACIÓN KTP-700 BASIC COLOR-SIEMENS \$1.100,00 \$1.100,00 7 2 [TRANSDUCTOR DE PRESIÓN 0-10 BAR/4-20 mA](#) \$320,00 \$640,00 8 1 SENSOR DE VELOCIDAD MAGNÉTICO PICKUP TRAFAG \$350,00 \$350,00 9 1 PANEL ELÉCTRICO 50X40X35 MATERIAL PLÁSTICO \$85,14 \$85,14 10 1 PANEL ELÉCTRICO 35X20X30 MATERIAL PLÁSTICO \$82,00 \$82,00 11 1 CABLES Y ACCESORIOS ELÉCTRICOS \$350,00 \$350,00 12 1 ESTRUCTURA METÁLICA DE APOYO \$450,00 \$450,00 13 4 CAPACITACIÓN O ADIESTRAMIENTO DE USO DEL BANCO DE CALIBRACIÓN DE GOBERNADORES \$20,00 \$80,00 14 1 MANO DE OBRA POR INSTALACIONES Y PRUEBAS EN CAMPO \$850,00 \$850,00 15 1 DESARROLLO DE INGENIERÍA EN SOFTWARE TIA PORTAL STEP-7 \$1.500,00 \$1.500,00 SUBTOTAL \$7.492,14 IVA 12% \$899,06 TOTAL \$8.391,20 En la lista de arriba se describen todos los elementos seleccionados para el presente proyecto, con sus respectivos valores económicos para establecer el costo de la propuesta. Realizando un análisis económico de la propuesta se tiene que, el costo establecido en la cotización de los precios de cada elemento asciende a un valor de \$8.391,20, sin embargo; se debe tener en cuenta [que para el análisis de factibilidad del proyecto se](#) debe entender lo siguiente. Cada máquina o unidad de generación percibe un valor económico en el despacho que establece la entidad reguladora del sector eléctrico del país (CENACE), el cual se denomina despacho económico por disponibilidad, lo que significa que cada generador que se encuentre declarado como "Disponible", percibe un valor económico aproximado a los \$ 70.81 por cada hora, y a eso se le suma el valor del Kilovatio hora generado cuando entre en generación por despacho. Entendido lo anterior, se puede determinar que si un generador se lo declara como "Indisponible" por cualquier evento de falla que no permita que la unidad entre en servicio y deba ser intervenida (como es el caso de las fallas en los gobernadores de velocidad), el generador deja de percibir el valor económico por despacho mencionado en el párrafo anterior, y además de le debe sumar el costo de horas hombre por el servicio de mantenimiento, en el tiempo que dure la consigna de indisponibilidad, a lo que se le agrega los tiempos por pruebas antes de que Producción declare que la unidad está "Disponible" nuevamente. Para el caso puntual de la propuesta "Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena", en los históricos obtenidos en los reportes de órdenes de trabajo se ha observado que en promedio, cada intervención por fallas de oscilaciones severas en la potencia activa de generación (Megavatios Generados), causadas por un gobernador defectuoso, duran un aproximado de 3 días (72 horas), y este tiempo como se mencionó anteriormente, la máquina deja de percibir el valor económico el despacho, por lo que significa pérdidas para la empresa. Con los datos obtenidos se presenta una tabla donde se describen claramente los valores económicos que la empresa deja de percibir por declarar una máquina indisponible. 33

Tabla 3 Análisis económico por indisponibilidad de un generador Como se puede observar en la tabla anterior, el valor que se deja de percibir por indisponibilidad de la unidad es de \$ 5.098,32 y a ese valor se le suma el costo de las horas hombre efectivas por la intervención de los técnicos, que en su total para este caso en particular asciende a un valor de \$ 5.434,32; eso considerando que los trabajadores no realizaron horas extra para solucionar el problema del gobernador defectuoso. Con la implementación del banco de pruebas, los técnicos mecánicos pueden realizar reparaciones de los gobernadores en el taller sin tener que acudir a la máquina para realizar las pruebas, lo que ha causado que los tiempos de intervención por un regulador de velocidad defectuoso se vea reducido a solo un día (24 horas), teniendo en cuenta que CENACE, no realiza consignas por tiempos menores a un día; sin embargo para el análisis de factibilidad de la propuesta; se ha tomado la mínima consigna para establecer los resultados. Tabla 4 Análisis económico por indisponibilidad de un generador con el proyecto implementado La tabla de arriba indica claramente como se ha reducido el tiempo de indisponibilidad de un generador intervenido por causa de un gobernador defectuoso, y al contar con el banco de pruebas se tienen equipos en stock listos para ser instalados cuando así se lo requiera. Es fácil darse cuenta que el tiempo de intervención de cada unidad en promedio se ha reducido hasta 34 un tercio de lo que se tenía anteriormente; o lo que es lo mismo, el costo que ahora la empresa ahorra por menor tiempo de indisponibilidad se ha reducido en un 66% del valor mostrado en la tabla 3; por lo tanto el valor económico que se deja de percibir por una intervención por un gobernador defectuoso no supera los \$ 1.811,44 que es el peor de los casos en la actualidad. La factibilidad del proyecto se determina mediante el método comparativo entre los valores de inversión inicial (cotización tabla 2), y el valor que la empresa ahorra por intervención con la implementación del banco de pruebas propuesto. Esto se consigue dividiendo el valor del costo de inversión por el valor de ahorro por intervención. Tabla 5 Tabla determinista de factibilidad del proyecto DESCRIPCIÓN VALOR No. DE INTERVENCIONES PARA RECUPERAR LA INVERSIÓN COSTO DE INVERSIÓN DEL PROYECTO \$ 8.391,20 2.32 COSTO DE AHORRO POR IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO \$ 6.633,88 Como se puede observar en la tabla de arriba, para recuperar la inversión inicial del proyecto del banco de pruebas para gobernadores de velocidad, solo bastará con 2,32 intervenciones o lo que es mejor para términos de exactitud, la empresa recuperará su inversión en solo tres (3) intervenciones. Esto demuestra cuán factible es la propuesta "Banco de pruebas de gobernadores para control de velocidad en motores de generación en la Termoeléctrica Santa Elena". [2.3 Validación de la propuesta La validación de la presente propuesta](#), está a cargo de tres expertos con amplio conocimiento y [experiencia](#) en el campo de la Electrónica y Automatización Industrial, cada uno de ellos desempeña actividades de supervisión e ingeniería en las unidades de negocio en las que prestan sus servicios profesionales. Tabla 6 [Descripción de perfil de validadores Nombres y Apellidos Años de experiencia Titulación Académica Cargo](#) Franklin Francisco Ferrer Escalante 17 Magister en Automatización industrial Especialista Técnico 2 Electrónica e Instrumentación (Supervisor Electrónico e Instrumentación) Gladys Marlene Murillo Solarte 15 Magister en Electrónica y automatización Especialista Técnico 2 Electrónica e Instrumentación (Supervisor Electrónico e Instrumentación) Danny Fernando Aguirre

Elena", los tiempos de consigna de unidad y horas hombre, se redujeron en un 66,67 %; puesto que, anteriormente el mantenimiento tenía una duración de 3 días en las reparaciones (para esta actividad en particular), y en la actualidad con la ayuda del banco de pruebas, las 43 consignaciones no sobrepasan las 24 horas, toda vez que anteriormente cada intervención tardaba 72 horas, lo que significa que ahora la unidad queda indisponible sólo un tercio del tiempo en relación a las reparaciones y mantenimientos sin el banco de pruebas, lo que genera un ahorro en términos de disponibilidad de la máquina, así como también menos horas hombre por trabajos ejecutados. En la actualidad el técnico de mantenimiento de gobernadores, ya no se dirige a realizar calibraciones en el motor, debido a que tiene a su disposición el banco de pruebas, y puede realizar los ensayos de forma independiente, alejado de los riesgos y peligros a los que estaba expuesto antes de la implementación y ejecución de este proyecto, cuidando primeramente su integridad física y de la máquina intervenida, adicionalmente cuenta con el tiempo necesario para mantener un stock de gobernadores listos para entrar en funcionamiento cuando así se lo requiera y de manera inmediata. 44

RECOMENDACIONES Se recomienda realizar los mantenimientos respectivos en la instrumentación, panel de control, motor eléctrico y reajustes de terminales del cableado de control y fuerza del banco de pruebas para gobernadores de velocidad por lo menos dos veces al año, para asegurar el correcto funcionamiento del equipo y garantizar la confiabilidad de [los valores obtenidos en las mediciones de los](#) instrumentos periféricos. Se recomienda realizar adecuaciones en los acoplamientos mecánicos entre el eje del motor eléctrico y el eje del gobernador, de tal forma que pueda ser compatible con equipos de otras marcas que funcionen bajo el mismo principio. Se recomienda realizar adecuaciones en la lógica de programación mediante pantalla de acceso, para lograr que el banco de pruebas de gobernadores UG- 8 sea compatible para realizar calibraciones en actuadores que respondan a órdenes de reguladores de velocidad electrónicos, como por ejemplo la tarjeta de control Woodward 723 Plus, que utilizan los motores de combustión Caterpillar en la Central Santa Elena III. Se recomienda mantener un stock de repuestos y dispositivos de control electrónico, de cada uno de [los elementos que componen el banco de pruebas](#), debidamente verificados y calibrados (usando equipos patrones), para garantizar la funcionalidad permanente del equipo, mediante una intervención Plug and Play. Se recomienda diseñar e implementar una pantalla de acceso de mantenimiento para visualizar el estado de los periféricos, estado de tarjetas de control y estado de las comunicaciones para poder determinar de manera segura y confiable, [el correcto funcionamiento de cada uno de los dispositivos](#) que integran el banco de pruebas; además de configurar una clave de usuario para que el acceso a este menú solo sea para personal calificado y autorizado. 45

Bibliografía Aguacia Acosta Diego Aramando, C. A. (2015). EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA SOBRE VARIADORES DE VELOCIDAD. Repositorio Digital ECCI , 13. Aponte Libias, R. (2019). El variador de velocidad para motor trifásico. El variador de velocidad para motor trifásico. Lima, Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN. BETANCUR, S. (2016). SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR TRIFÁSICO MEDIANTE UN VARIADOR DE FRECUENCIA Y SISTEMA SCADA. SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR TRIFÁSICO MEDIANTE UN VARIADOR DE FRECUENCIA Y SISTEMA SCADA. PEREIRA, COLOMBIA: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA. Clemente, V. (2000). Sistema de Control Automático de Velocidad de Generadores Eléctricos de Potencia. Electrónica-UNMSM, 1-13. Farina. (2018). Motores eléctricos trifásicos: características constructivas y tipos de arranques. Suplemento Instaladores Ingeniería Eléctrica , 6. Farina, A. L. (2019). Motores eléctricos trifásicos. Suplementos instaladores/Ingeniería Eléctrica (347), 5. Ferreira, R. (2015). ESTUDO E SIMULAÇÃO DE UMA MICRORREDE DE ENERGIA ELÉTRICA NOS MODOS CONECTADO E ISOLADO. Brasil. Husan, S. (2017). Automation design for a syrup production line using Siemens PLC S7-1200 and TIA Portal software. 2017 International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE). Khartoum, Sudan: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCCCEE.2017.7866702> Iam, S. (2005). Ingeniería del software. Pearson Educación. KEWO. (2022). <http://www.kewoinverter.com/AD350frequencyconvertor.html> Leonel, R. (2014). Sensores y actuadores. Grupo editorial Patria. Morales. (2020). Sistema de control y monitoreo bajo los protocolos Ethernet y Modbus RTU en el control de sistemas de cintas transportadoras para línea embotelladora de bebidas. RISTI, 636-649. Morales, E. y. (2019). Sistema de control y monitoreo bajo los protocolos Ethernet y Modbus RTU en el control de sistemas de cintas transportadoras para línea embotelladora de bebidas. Risti, 15. Morcelle del Valle, P. (2018). Transductores-Instrumentación. SEDICI, 31. 46 Noa, R. (2018). Comportamiento operacional de grupos electrógenos. Ingeniería Mecánica, 19-27. Pérez, F. y. (2009). Automatas programables y sistemas de automatización / PLC and Automation Systems. Marcombo. Ramirez, J. y. (2014). Sensores y detectores. Grupo Editorial Patria. Riera Ochoa, K. D. (2019). Automatización de puerta e implementación de sensor de movimiento para el parqueadero UISRAEL. repositorio.uisrael.edu.ec, 95. SIEMENS. (2022). siemens.com Sitio web mundial . siemens.com Sitio web mundial : <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/simatic-hmi/hmi-template-suite.html> Sojka, M. (2015). ARDUINO UNO. SERIAL, 1. TRAFAG. (2021). TRAFAG AG SENSOR CONTROL. <https://www.trafag.com/es/> Watt, J. (1781). Steam engine. Art, Architecture and Engineering Library. Woodware. (1982). Gobernador de palanca UG. Manual SP03036 revisión J. Alemania. Yanez, L. (2014). Motores Eléctricos para la Industria. Academia Accelerating the world's research. 46. 47 4 6 8 9 10 11 13 14 17 18 21 23 26 27 28 29 31 32 35 37