



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN
Y CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

**TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA
PARA EL SISTEMA DE PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD DE LAS
CÁMARAS DE EMPUJE UTILIZADAS EN LOS SISTEMAS DE BOMBEO
HORIZONTAL (HPS) DE LA PLANTA *ARTIFICIAL LIFT* DE LA
EMPRESA BAKER HUGHES”**

AUTOR: ÑACATO JAYA, AURORA DAYANA

DIRECTOR: ING. AGUILAR JARAMILLO, EDWIN RENÉ

SANGOLQUÍ

2020



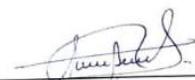
**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación "*DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA EL SISTEMA DE PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD DE LAS CÁMARAS DE EMPUJE UTILIZADAS EN LOS SISTEMAS DE BOMBEO HORIZONTAL (HPS) DE LA PLANTA ARTIFICIAL LIFT DE LA EMPRESA BAKER HUGHES*", realizado por la Srta. **ÑACATO JAYA AURORA DAYANA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la Srta. **ÑACATO JAYA AURORA DAYANA** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 15 de enero del 2020



Ing. Aguilar Jaramillo Edwin René MSc.

DIRECTOR

C.C. 171612856-4



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **ÑACATO JAYA AURORA DAYANA**, con cédula de identidad N° 1723295463, declaro que este trabajo de titulación: *“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA EL SISTEMA DE PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD DE LAS CÁMARAS DE EMPUJE UTILIZADAS EN LOS SISTEMAS DE BOMBEO HORIZONTAL (HPS) DE LA PLANTA ARTIFICIAL LIFT DE LA EMPRESA BAKER HUGHES”* ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 15 de enero de 2020

Ñacato Jaya Aurora Dayana

C.C. 1723295463



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

AUTORIZACIÓN

Yo, **ÑACATO JAYA AURORA DAYANA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución, el presente trabajo de titulación "*DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA EL SISTEMA DE PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD DE LAS CÁMARAS DE EMPUJE UTILIZADAS EN LOS SISTEMAS DE BOMBEO HORIZONTAL (HPS) DE LA PLANTA ARTIFICIAL LIFT DE LA EMPRESA BAKER HUGHES*" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 15 de enero de 2020

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ñacato Jaya Aurora Dayana', is written over a horizontal line.

Ñacato Jaya Aurora Dayana

C.C. 1723295463

DEDICATORIA

A mis padres

Blanca Jaya y Gustavo Ñacato, por haberme brindado todo su amor y estar a mi lado cada momento de mi vida, con sus sabios consejos y apoyo en todas mis decisiones. Gracias a sus cuidados he logrado culminar una de mis metas.

A mi hermano

David, por ser incondicional en todo momento.

A mis amigos

Por todos los momentos de felicidad y su apoyo, por regalarme su tiempo y amistad, los cuales valoro y valoraré siempre.

AGRADECIMIENTOS

A mis queridos padres Blanca y Gustavo por su dedicación y apoyo incondicional, por enseñarme cada día a ser mejor que ayer. Su amor y comprensión siempre están presentes en cada paso que doy.

Al ingeniero Edwin Aguilar, por brindarme su ayuda y guía para culminar este proyecto. Por sus enseñanzas como profesional y como persona.

Al ingeniero Rafael Reyes, por la confianza y apoyo para la culminación del proyecto.

A mis amigas Nathalie, Adriana y Berenice son mi inspiración para ser mejor cada día. Gracias por su apoyo a lo largo de mi vida tanto profesional como personal. Han dejado una huella en mi vida.

A mi amigo Paolo, gracias por los consejos y el apoyo a lo largo de este proyecto. Por ser una buena persona e irradiar felicidad.

A mis amigos y familiares que siempre están pendientes de mí, gracias por su apoyo he logrado culminar esta meta de formación profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DEL DIRECTOR.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO I	
ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	3
1.3. Justificación e Importancia.....	6
1.4. Alcance del Proyecto.....	8

1.5. Objetivos:	10
1.5.1. Objetivo General	10
1.5.2. Objetivos Específicos	10

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO12

2.1. Extracción de petróleo.....	12
2.2. Descripción del sistema de bombeo horizontal (HPS).....	12
2.3. Características del HPS	13
2.4. Estructura y descripción de los componentes de HPS	13
2.5. SCADA	18
2.6. Rapid Scada.....	19
2.7. Ventajas y desventajas de una tarjeta de adquisición de datos frente al PLC.	20
2.8. Instrumentación asociada a la medición.....	21
2.8.1. Medidor de temperatura	21
2.8.2. Medidor de vibración	22
2.8.3. Medidor de presión.....	23
2.8.4. Medidor de caudal.....	24
2.9. Estado actual del banco de pruebas de cámaras de empuje	25
2.9.1. Componentes.....	25
2.9.2. Funcionamiento.....	26

2.10. Procesos involucrados dentro del banco de pruebas de TC	28
2.10.1. Proceso de preparación.....	28
2.10.2. Proceso de Prueba	33
2.11. Cálculos de dispositivos de protección	36
2.12. Disposición de la planta y el banco de pruebas.....	38
2.13. Deficiencias	40
 CAPÍTULO III	
DIMENSIONAMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS.....	42
3.1. Requerimientos.....	42
3.1.1. Ambiente de operación.....	42
3.1.2. Requerimientos generales.....	42
3.2. Criterios de selección de protocolo de red industrial	43
3.2.1. Criterios de selección y diseño de un sistema SCADA.....	45
3.2.2. Arquitectura de Sistemas SCADA	46
3.3. Selección del software para el sistema SCADA	50
3.4. Selección de instrumentos.....	51
3.4.1. Normativa.....	51
3.4.2. Selección del sensor de temperatura.	51
3.4.3. Selección del sensor de vibración	53
3.4.4. Selección del medidor de presión.....	55

3.4.5. Selección del medidor de caudal.....	56
3.4.6. Selección de electroválvulas	57
3.4.7. Scalance switch	57
3.4.8. Selección del PLC	58
3.4.9. HMI	60
3.4.10. Fuente de poder	61
3.5. Alternativa de solución.....	61

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE HADWARE Y SOFTWARE.....	68
4.1. Diagrama eléctrico y electrónico.....	68
4.2. Diagrama P&ID.....	69
4.3. Diseño del tablero de control.....	69
4.4. Diseño del reporte	74
4.5. Diseño de ventanas HMI	76
4.6. Presupuesto final	81

CAPÍTULO V

IMPLEMENTACIÓN	83
5.1. Acondicionamiento de sensores.	83
5.2. Configuración del HMI con PLC	84
5.3. Configuración del sistema SCADA	88

CAPÍTULO VI**PRUEBAS Y RESULTADOS94**

6.1. Pruebas de funcionamiento y comunicación94

6.2. Resultados y análisis de las pruebas.....96

6.3. Evaluación de tiempo de inicio y finalización de la prueba98

6.4. Estimación de ahorro con la automatización.....98

6.5. Trabajos Futuros99

CAPÍTULO VII**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES101**

7.1. Conclusiones101

7.2. Recomendaciones102

BIBLIOGRAFÍA103**ANEXOS106**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Descripción del elevador de cadena eléctrico</i>	30
Tabla 2 <i>Elementos de medición del subproceso de lubricación</i>	31
Tabla 3 <i>Características Técnicas: Manómetro</i>	32
Tabla 4 <i>Actuadores del subproceso de lubricación</i>	33
Tabla 5 <i>Características de la bomba</i>	33
Tabla 6 <i>Sensor de temperatura del Proceso de prueba</i>	34
Tabla 7 <i>Características técnicas del motor inversor</i>	35
Tabla 8 <i>Características técnicas del variador de frecuencial</i>	35
Tabla 9 <i>Corrientes nominales del banco de pruebas de TC</i>	37
Tabla 10 <i>Protocolos de comunicación</i>	43
Tabla 11 <i>Normas base</i>	51
Tabla 12 <i>Especificaciones técnicas de sensor de temperatura</i>	53
Tabla 13 <i>Características del tipo de medida para el acelerómetro</i>	53
Tabla 14 <i>Tipos de medida de acelerómetros</i>	54
Tabla 15 <i>Especificaciones técnicas del acelerómetro</i>	54
Tabla 16 <i>Especificaciones técnicas del analizador multicanal</i>	55
Tabla 17 <i>Especificaciones técnicas del medidor de presión</i>	55
Tabla 18 <i>Propiedades de fluido</i>	56
Tabla 19 <i>Características técnicas del medidor de caudal</i>	56
Tabla 20 <i>Características técnicas de electroválvulas</i>	57
Tabla 21 <i>Características técnicas del switch industrial</i>	57

Tabla 22 <i>Características técnicas del PLC</i>	60
Tabla 23 <i>Características técnicas del HMI</i>	60
Tabla 24 <i>Características técnicas de la Fuente 24V</i>	61
Tabla 25 <i>Contraste características del switch.</i>	62
Tabla 26 <i>Contraste características del PLC</i>	63
Tabla 27 <i>Contraste características del HMI</i>	63
Tabla 28 <i>Características técnicas del transmisor de presión</i>	64
Tabla 29 <i>Características técnicas del transmisor de temperatura</i>	64
Tabla 30 <i>Características técnicas de la Fuente de alimentación</i>	64
Tabla 31 <i>Especificaciones técnicas del acelerómetro piezoeléctrico</i>	66
Tabla 32 <i>Potencias disipadas de los dispositivos internos del tablero</i>	70
Tabla 33 <i>Cálculo de interruptor de corriente o breaker en CA</i>	72
Tabla 34 <i>Cálculo del interruptor de corriente en CC</i>	72
Tabla 35 <i>Uso del color dentro de las pantallas HMI</i>	80
Tabla 36 <i>Presupuesto final del proyecto</i>	81

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> “Equipos que conforman la bomba Hpum de alta presión”	2
<i>Figura 2.</i> Instalaciones HPump Yac Vizcacheras Mendoza	13
<i>Figura 3.</i> Modelo de Skid de Baker Hughes	14
<i>Figura 4.</i> Acoples de Baker Hughes, a) acople cerrado tipo rejilla, b) espaciador tipo rejilla.....	14
<i>Figura 5.</i> Cámara de empuje	15
<i>Figura 6.</i> Ensamblaje de carga o Intake Assembly	17
<i>Figura 7.</i> Ensamblaje de Descarga o Discharge Assembly	17
<i>Figura 8.</i> Bomba centrífuga.....	17
<i>Figura 9.</i> Tipos de presiones	23
<i>Figura 10.</i> Banco de pruebas de cámaras de empuje Baker Hughes	25
<i>Figura 11.</i> Diagrama de bloques del proceso de pruebas de cámaras de empuje	28
<i>Figura 12.</i> Diagrama de bloques del proceso de preparación	30
<i>Figura 13.</i> Diagrama de bloques del proceso de prueba	34
<i>Figura 14.</i> Zonas de desplazamiento del banco de pruebas de TC	39
<i>Figura 15.</i> Estructura básica de un Sistema de supervision y mando	46
<i>Figura 16.</i> Tipos de medición, información basada en	52
<i>Figura 17.</i> Arquitectura de Red de alternativa de solución	62
<i>Figura 18.</i> Solución final de la automatización del proceso	66
<i>Figura 19.</i> Tabla 110.20 de la norma NEC	70
<i>Figura 20.</i> Conexión interna del panel de control	71

Figura 21. Reporte en Excel de ensayo dinámico de cámaras de empuje.....	75
Figura 22. Esquema general de la metodología de desarrollo de la interfaz.....	76
Figura 23. Arquitectura y navegación de las pantallas del HMI.....	77
Figura 24. Pantalla de Selección TC.....	77
Figura 25. Pantalla de ingreso.....	78
Figura 26. Pantalla de menú.....	78
Figura 27. Pantalla del proceso.....	78
Figura 28. Pantalla de tendencias.....	79
Figura 29. Histórico de alarmas.....	79
Figura 30. Distribución de la pantalla de Proceso.....	80
Figura 31. Selección del tipo de fuente para HMI, software WebAccesHMI.....	81
Figura 32. Configuración de los interruptores del acondicionador de temperatura.....	83
Figura 33. Propiedades generales del enlace de comunicación en WebOP Designer.....	84
Figura 34. Parametros de comunicación en WebOP Designer.....	85
Figura 35. Configuración de la pantalla HMI.....	85
Figura 36. Puertos abiertos dentro de la dirección IP PLC.....	86
Figura 37. Puertos abiertos en la dirección IP 192.168.0.33.....	86
Figura 38. Configuración TIA Portal.....	87
Figura 39. Configuración de protección y seguridad.....	87
Figura 40. Activación del mecanismo de conexión.....	88
Figura 41. Aplicaciones dentro del software Rapid Scada.....	88
Figura 42. Rapid SCADA estado de server y comunicator.....	89
Figura 43. Línea de comunicación aplicación administrador de Rapid Scada.....	89
Figura 44. Configuración de dispositivo Rapid SCADA.....	90

Figura 45. Importación de línea de comunicación.....	90
Figura 46. Comunicación de valores de medición PLC y Kepserver.	90
Figura 47. SCADA Communicator establecida la comunicación con OPC_BH.....	91
Figura 48. Comunicator line log del SCADA Communicator	91
Figura 49. Creación de canales en Rapid Scada.....	92
Figura 50. Canales de comunicación en Administrator	92
Figura 51. Creación de canales para la tabla en el webserver.....	92
Figura 52. Prueba de comunicación del SCADA.....	94
Figura 53. Prueba de comunicación HMI	95
Figura 54. Curvas de vibración (SignalCalcACE) b) curva de temperatura (Rapid Scada)	96
Figura 55. Reporte generado desde Rapid Scada.....	96
Figura 56. Interface de Usuario en Webserver Rapid Scada.....	97
Figura 57. Tabla de variables en Rapid Scada	97
Figura 58. Ahorro en base a las tres variables seleccionadas.....	99

RESUMEN

El propósito de este proyecto es el diseño e implementación de un sistema SCADA (monitoreo, control y adquisición de datos) para el ensayo dinámico de prueba de cámaras de empuje de la empresa Baker Hughes, ubicada en Quito. La empresa proporcionó los dispositivos utilizados y especificó sus requerimientos en cuanto al diseño.

El sistema SCADA se implementó con la ayuda del software libre *Rapid Scada*. En este se diseñó los canales de comunicación enlazados con *kepserverEx (OPC UA)* para la visualización de las variables a medir, la interface para el servidor web, la tabla de variables y el reporte con los valores de la prueba. Con la implementación de este software gratuito se reducen los costos de licencia, que rondan los 20 a 30 mil dólares. La red de comunicación industrial funciona de manera local con protocolo Ethernet y el reporte se descarga desde la misma página web.

Inicialmente se realizó el levantamiento de información del proceso y sus deficiencias. Luego de conocer los rangos y límites de funcionamiento, se dimensionó los dispositivos para dar solución al problema de automatización. Se presenta los equipos proporcionados por la empresa y como se realizó la integración de los instrumentos y equipos de comunicación. Para el diseño de las pantallas HMI se utilizó el software *WebAccess HMI Designer V2.1*

Finalmente se explica la creación de las interfaces y configuraciones de comunicación tanto con el HMI como con el SCADA, también se realiza pruebas de comunicación y se estima el tiempo de reducción del proceso con la automatización.

PALABRAS CLAVE:

- **SCADA**
- **RAPID SCADA**
- **OPC UA**
- **ETHERNET**

ABSTRACT

The purpose of this project is the design and implementation of a SCADA system (monitoring, control and data acquisition) for the dynamic test of thrust chamber testing of Baker Hughes, located in Quito. The company provided the devices used and specified its design requirements.

The SCADA system was implemented with the help of the free Rapid Scada software. In this, the communication channels linked to kepserverEx (OPC UA) were designed for the visualization of the variables to be measured, the interface for the web server, the table of variables and the report with the test values. With the implementation of this free software, the license costs, which are around 20 to 30 thousand dollars, are reduced. The industrial communication network operates locally with an Ethernet protocol and the report is downloaded from the same web page.

Initially, information was gathered about the process and its deficiencies. After knowing the ranges and operating limits, the devices were sized to solve the automation problem. It presents the equipment provided by the company and how the integration of the instruments and communication equipment was carried out. The WebAccess HMI Designer V2.1 software was used to design the HMI screens

Finally, the creation of interfaces and communication configurations with both the HMI and the SCADA is explained, communication tests are also carried out and the process reduction time with the automation is estimated.

KEYWORDS:

- **SCADA**
- **RAPID SCADA**
- **OPC UA**
- **ETHERNET**

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

1.1. Introducción

Según el reporte del sector petrolero emitido por el Banco Central del Ecuador, la producción petrolera llegó a un total de 47 millones de barriles durante el segundo trimestre de 2018, lo que representa un promedio diario de 516.44 miles de barriles. El crudo de petróleo representa el 76.93% de la oferta de energéticos del país, seguido por un 17.95% de los derivados del petróleo. Lo que da como resultado que la oferta energética del país sea de 94.88% con respecto a las ofertas de otras energías, además conserva un papel importante en la dinámica de la economía ecuatoriana (Banco Central del Ecuador, 2018).

Baker Hughes es una Empresa de General Electric, cuyo objetivo es brindar productos, servicios y soluciones digitales para campos petroleros en las áreas de explotación, exploración y producción. Opera en Ecuador desde 1978, su planta ubicada en el kilómetro uno vía Manuel Córdova Galarza se encarga de realizar pruebas y ensamblaje de los equipos para bombeo electrosumergible (BES) y bombeo horizontal (HPS).

El Bombeo Electro-Sumergible (BES) es un levantamiento artificial, que se aplica en el desplazamiento del crudo, cuyo objetivo es manejar altas tasas de flujo y está constituido de equipos de subsuelo, equipos de superficie, cables y componentes superficiales.

El Bombeo Horizontal (HPS) es un levantamiento artificial utilizado para la re-inyección de agua, la transferencia de fluido y para los sistemas *Power Oil* a grandes volúmenes de distancia,

está compuesto por un arrancador eléctrico de motor, un motor eléctrico, cámara de empuje y enfriador de aceite (véase en la Figura 1).

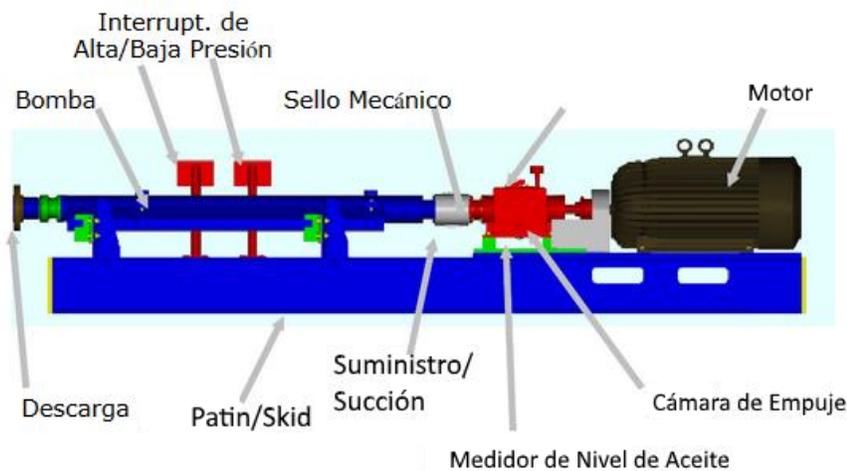


Figura 1. “Equipos que conforman la bomba Hpum de alta presión”

Fuente: (Baker Hughes, 2013)

Un banco de pruebas es una plataforma con el objetivo de comprobar las características de funcionamiento de diferentes máquinas. En esta investigación se trabaja con el banco de pruebas de cámaras de empuje, que tiene como finalidad comprobar características de desempeño, posterior al ensamblaje. Estas características son: vibración, temperatura, caudal y presión.

La cámara de empuje es colocada sobre un montaje que puede variar de altura, junto al eje, sellos de eje y sello de fluido mecánico. Baker Hughes trabaja con cámaras de empuje de 4 tipos:

- Cámara de Empuje Estándar o “*Slinger Rings*”
- Cámara de Empuje Reforzada (HD)
- Cámara de Empuje Servicio Extremo (XD)

- Cámaras de Empuje Servicio Ultra Pesado (UHD)

Con la prueba de cámaras de empuje, la empresa BHGE (Baker Hughes a General Electric Company) asegura que estas no presenten fallas, para un óptimo desempeño, es decir, deben transmitir la potencia de rotación del motor a la bomba (transferencia de torque), cumplir la función de aislar el motor del empuje que se produce por el funcionamiento de la bomba y sellar el fluido bombeado del ambiente. La prueba se realiza de forma manual y el tiempo requerido es de 1 hora, sin embargo, por falta de equipos o personal esta prueba puede tardar de 2 a 3 días.

La investigación plantea el diseño e implementación de un sistema SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) para las pruebas de cámaras de empuje que ayudará a evitar retrasos de entrega, daños en los rodamientos por falta de lubricación o un arranque erróneo del motor, con el control y supervisión de las variables necesarias para la prueba antes mencionada.

El trabajo se realiza en la planta *Artificial Lift*, ubicada en el kilómetro uno de la Av. Manuel Córdova Galarza. La investigación busca la automatización de la prueba y se desarrolla en el periodo septiembre - enero del año 2019 - 2020.

1.2. Antecedentes

El banco de pruebas de TC (Cámara de empuje *Thrust Chamber*) fue ensamblado en el año 2015 junto con la empresa INGELEC, empresa que da mantenimiento a los diferentes procesos de la planta BHGE. El banco de pruebas forma parte del control de calidad que se realiza a los equipos ensamblados, se evalúan las variables de vibración y temperatura. Se la construye bajo procedimientos estandarizados de la empresa. El proceso de prueba de cámara de empuje se realiza de forma manual por el operario.

La automatización de procesos se vuelve una necesidad para ser competente, disminuir riesgos al personal y tiempo de ejecución, por ello, existen proyectos similares que abordan bancos de pruebas en la gama de productos sumergibles. A continuación, se describen algunos trabajos realizados en el Ecuador.

El banco de prueba de sellos de la Empresa Baker Hughes, fue parte del proyecto de titulación del estudiante de Ingeniería Electrónica y Control Jairo Jara, de la Escuela Politécnica Nacional con el “Diseño e implementación de un HMI para el monitoreo, almacenamiento y validación de datos en el sistema de pruebas de sellos de motores de bombas electro-sumergibles de la planta *Artificial Lift* de la Empresa *Baker Hughes*”, en 2016. El trabajo consistía en realizar la interfaz HMI para la realización de prueba de giro de sello, en la que se determina el cumplimiento o no de los requerimientos de la prueba, recopilando variables de voltaje, corriente y potencia del motor con el sello como carga, así como la temperatura del sello medida durante las pruebas de giro, variables que son mostradas en la HMI en tiempo real y recopiladas en el *panel touch*. Todas las variables son almacenadas en una memoria SD, en formato .CSV y se genera un informe con el formato manejado por la Empresa, que indica si el sello ha pasado la prueba (José J. A., 2016).

“Diseño de un banco de prueba para bombas sumergibles de turbina vertical ensamblada localmente”, el estudiante de ingeniería mecánica de la Escuela Politécnica del Litoral, Jorge Holguin (2016), cuyo proyecto presenta un diseño que permite medir parámetros de caudal y capacidad de las bombas sumergibles que son ensambladas en Ecuador, en los cuales explora los diferentes métodos de medición de variables, además de un sistema de control por medio de PLC y HMI, que sirve de retroalimentación de los valores y control. El diseño permite evaluar el equipo con el método de estrangulamiento manual para simular diferentes puntos de carga. De igual forma

incluye un análisis costo beneficio de la construcción del banco de pruebas versus su importación, en la que determina que la construcción tiene un costo menor y un mayor beneficio.

“Aplicaciones de sellos mecánicos en bombas de la industria petrolera ecuatoriana” es el título del proyecto de titulación del estudiante de la facultad de mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, Luis Arias (2008), cuyo proyecto identifica los tipos de sellos mecánicos, sus condiciones operativas de presión, temperatura y tipo de fluido que bombea, para conocer las aplicaciones de cada sello según el trabajo que desempeña la bomba. Además, determina los tipos y causas de fallas frecuentes de los sellos mecánicos, establece un procedimiento de instalación y de los sistemas planes API de lubricaciones auxiliares.

“Análisis Tecno – Económico para los sistemas de bombeo electro-sumergible e hidráulico de los pozos de la Estación Shushuqui del Área Libertador” del estudiante de Ingeniería mecánica de la Universidad San Francisco de Quito, Juan Ortega (2015), trabaja con curvas de comportamiento de afluencia para determinar los pozos factibles de cambio de sistema de levantamiento artificial, su diseño y selección de bombas electro-sumergibles con un punto óptimo de producción, de igual forma desarrolla un análisis de factibilidad y el impacto en la producción.

Todos estos proyectos están orientados al mejoramiento de tiempos de producción, mejorar las pruebas de control de calidad y conocer el impacto económico en la Empresa. Al igual que estos trabajos de titulación, el presente proyecto busca realizar el diseño de un sistema de supervisión, adquisición de datos y control para las pruebas que se realizan en las cámaras de empuje que son parte del bombeo horizontal.

1.3. Justificación e Importancia

Para la Empresa BHGE la realización de pruebas en los equipos de bombeo electro-sumergible (BES), como de bombeo horizontal (HPS), determina la calidad y prestigio de la Empresa para con sus clientes, por ello realizan varias pruebas que aseveran el buen funcionamiento dentro de los rangos de control. Las cámaras de empuje son ensambladas en la planta *Artificial Lift*, también se realiza la prueba de control de calidad, en la que se verifica que los valores de temperatura, vibración, presión y caudal estén dentro del rango de funcionamiento y no presenten ningún riesgo para todo el sistema HPS, cuando las cámaras son importadas se realizan las mismas pruebas como parte de sus procesos de calidad, así como a petición del cliente.

Las cámaras de empuje tienen la función de absorber la carga axial desarrollada por la bomba, impidiendo que estas se reflejen en el motor eléctrico, además de ser sellante del aceite con el exterior y transferir el torque del motor a la bomba. Las cámaras de empuje son equipos de alto costo e indispensables para la sección protectora de los componentes HPS. El costo de estos equipos borda los 10 mil a 30 mil de dólares.

Las razones para automatizar el proceso surgen de los procedimientos de pruebas de las cámaras de empuje que se realizan de manera manual, donde el operario debe verificar cada 15 minutos los valores durante una hora. El operador se desplaza detrás del *cooler* para encender la bomba. Debe regular manualmente las válvulas para la presión y caudal de cada TC (Thrust Chamber o cámara de empuje). Los indicadores de presión y caudal y control de motor se encuentran en diferentes posiciones lo que obliga a los operarios a desplazarse de un lado a otro para tomar mediciones, regular presión y caudal. El desplazamiento del operario dentro de un espacio reducido pone en riesgo su integridad física.

Como medida de seguridad se cuenta con un botón de paro de emergencia, que presenta una falla: está se produce al reiniciar el proceso luego del paro de emergencia, el variador enciende directamente el motor, suceso peligroso para las cámaras HD y XD ya que se produce un sobrecalentamiento y se pueden dañar los rodamientos internos, invalidándola para su funcionamiento en campo. En las pruebas realizadas, las cámaras de empuje se encuentran dentro de los rangos de control, sin embargo, los valores de vibración no coinciden con los valores del fabricante, hechos que manifestó el operario de turno.

El arranque suave se realiza manualmente, durante los primeros cinco minutos de iniciada la prueba de medición se coloca el variador a una frecuencia de 30 Hz y se presta atención de la temperatura y sí hay sonidos extraños en el motor, superado esto se eleva a 40, 50 y 60 Hz. El tiempo total para realizar la prueba es de una hora y treinta minutos, se debe esperar al personal de INGELEC para completar la prueba, lo que también retrasa el tiempo de prueba. Algunas veces se completa la prueba el día siguiente al que se empezó, el operario debe estar presente durante todo el proceso, tiempo que podría utilizar para otras tareas. Por los motivos antes mencionados la Empresa requiere la automatización de dicha prueba, integrando todas las variables en una interfaz, la generación de informes de las pruebas, así como la creación de alarmas que permitan detener el proceso cuando esté fuera de los valores de control.

Con la automatización de la prueba de cámaras de empuje se evitaría el desplazamiento del operario a través del banco de pruebas, colocándolo en una posición segura, donde pueda controlar el sistema, además de aplicar las políticas de HSE (Health, Security and Environment por sus siglas en inglés) que son importantes para la Empresa. El tiempo de prueba de una hora y media se debe conservar, sin embargo, ya no se dependería de un proveedor externo para la medición de vibraciones, lo que produciría un tiempo menor de entrega. Con un censo en tiempo real se puede

mejorar la medición y determinar a tiempo algún fallo en el equipo. Con esta automatización será posible aumentar la cantidad de pruebas que se realizan al día. La propuesta de solución busca utilizar los elementos disponibles en la Empresa para disminuir costos de adquisición de equipos, además de representar a varios de los pilares culturales, innovación y compromiso con los clientes, así como la oportunidad de creación de un estándar para las pruebas a nivel internacional.

1.4. Alcance del Proyecto

Este proyecto se centra en atender las necesidades de automatización de la Empresa Baker Hughes con las pruebas de control de calidad de las cámaras de empuje. El banco de pruebas requiere la implementación de sensores y su integración con un dispositivo de control en una interfaz HMI, para la medición de temperatura, vibración, presión y caudal, el control de variables y para finalizar la generación de un informe de los equipos evaluados, cabe mencionar que actualmente el proceso es manual. Este proyecto se llevará a cabo en un periodo de seis meses.

Para la prueba de cámara de empuje se requiere conocer el sistema actual, las variables que se están midiendo, así como las normas de calidad requeridas en los procedimientos de la Empresa, para incrementar o mantener las variables, además del espacio físico con el que se cuenta para realizar el nuevo banco de pruebas.

Para el control de válvulas, motor y sensores se propone realizar un dimensionamiento de los equipos que cumpla con las variables de entrada y salida que se requiere, la capacidad de comunicación requerida, la velocidad de *polling* de las variables, además de los dispositivos extra para la conexión del cableado.

Las variables determinantes de la prueba son: la vibración y la temperatura. Se debe tener en cuenta los parámetros de control, es decir, la temperatura no debe superarse los 66 °F y la medida de vibración debe ser menor a 0.156 pulgadas/segundo. Además, se debe considerar el dimensionamiento correcto para la variedad de cámaras de empuje que se prueban. En cuanto a las variables de presión y caudal, estas influyen en las pruebas de las cámaras HD, XD y UHD, se realizará el dimensionamiento tomando en cuenta la variedad y verificando que los valores se encuentren dentro del rango de control. Para presión, el rango está entre 60 a 80 psi y para el caudal, de 8 a 25 gpm.

En cuanto al diseño del HMI se requiere una configuración multiusuario en la que se muestren las variables de control y la descripción del equipo entrante, además de saber si pasa o no la prueba, de igual modo que debe tener integrado un control de acceso. El diseño debe ser lo más amigable con el usuario, para que cualquier persona sea capaz de usarlo sin necesidad de algún conocimiento. La arquitectura no va a exceder de 4 ventanas por nivel, una vez realizado el diseño deberá pasar por la aprobación y sugerencia del encargado de taller.

Todos los valores de temperatura, vibración, presión y caudal serán recopilados de forma automática con el propósito de generar un informe con el N° de parte, la descripción del equipo, el N° serial que ayude a la trazabilidad del equipo. Cabe mencionar que los datos de N° de parte y N° serial serán ingresados por el operario al HMI, para que posteriormente se refleje en el informe. Este informe servirá para analizar el tiempo de vida del equipo y determinar posibles fallas, cabe destacar que este análisis del tiempo de vida y fallas no entra dentro de los objetivos de este proyecto. El informe generado debe ser enviado de forma automática al correo del técnico encargado del control de calidad de los equipos cada vez que se realice la prueba. Para la recopilación de esta información se buscarán los equipos apropiados para la comunicación, así

como programas *open source* que se ajusten a las necesidades del proyecto. Una vez realizada la implementación se verificará con los equipos calibrados que cuenta la empresa.

Para la selección de dispositivos se presentará la mejor alternativa, sin embargo, la Empresa tiene la última palabra en cuanto a los equipos que se usarán, ya que se trata de trabajar con el inventario disponible en bodega para reducir los costos de la automatización de este banco de pruebas.

1.5. Objetivos:

1.5.1. Objetivo General

Automatizar el sistema de pruebas de control de calidad de cámaras de empuje, disminuyendo el tiempo de duración, incrementando los niveles de seguridad de los operarios e integrando todas las variables de control del proceso en un sistema SCADA.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Familiarizarse con las variables de control y los tipos de cámaras de empuje que se emplean según los procedimientos internos de la Empresa.
- Dimensionar los dispositivos para la automatización del proceso de pruebas de control de calidad de las cámaras de empuje.
- Realizar el diseño de HMI con los requerimientos de la Empresa BHGE en base a la guía GEDIS
- Almacenar y validar los valores para la generación de un reporte del equipo.

- Evaluar en que porcentaje ayuda la automatización a disminuir el tiempo de duración de la prueba.
- Estimar cuánto es el ahorro de la Empresa con la implementación de este sistema.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Extracción de petróleo

El petróleo es una sustancia compuesta por materiales orgánicos, principalmente hidrocarburos insolubles en agua. Se encuentra de manera natural en el interior de la tierra, gracias a la materia orgánica y las trampas geológicas.

En la extracción de petróleo se debe conocer la ubicación y características del yacimiento para proceder a elegir el método de extracción: método a percusión, método a rotación y perforación submarina. Por otro lado, cuando el pozo deja de producir de forma natural se requieren de métodos de levantamiento artificial, que son: bombeo electro sumergible, bombeo mecánico, hidráulico, bombeo horizontal.

2.2. Descripción del sistema de bombeo horizontal (HPS)

El sistema de bombeo superficial horizontal (HPump) es un sistema de levantamiento artificial, que consiste en una bomba en la superficie, que cumple la función de enviar el fluido de alimentación, un motor a gas, diésel o eléctrico para impulsar la bomba y un sistema para almacenar y entregar el fluido de alimentación para uso por el orificio inferior de la bomba.

Las aplicaciones de un sistema de bombeo horizontal se dan en diferentes industrias como minería, tratamientos geométricos, química, entre otras. Las aplicaciones comunes se dan la transferencia de líquidos y químicos en la minería y el bombeo de aminas para procesar gas natural. En la Figura 2 se muestra una aplicación en la instalación HPump Yac Vizcacheras Mendoza.



Figura 2. Instalaciones HPump Yac Vizcacheras Mendoza

Fuente: (Centrilift, 2008)

2.3. Características del HPS

Entre algunas de sus características presenta un amplio rango de presión y caudal, las capacidades van desde 250 hasta 130 000 BFPD, con potencia de hasta 2500 hp, desplazamiento positivo, bajo costo y mantenimiento en comparación con el bombeo electro sumergible, poco ruido, además de una transferencia de fluidos sin fugas. Debido a que los sistemas HPump tienen facilidad de construcción e implementación se reduce los tiempos de espera y se puede reemplazar los componentes fácilmente.

2.4. Estructura y descripción de los componentes de HPS

En cuanto a la estructura de un sistema Hpump se combina una bomba centrífuga multi-etapa con una cámara de empuje (HTC) y un motor eléctrico industrial montado en la rampa.

Rampa (*Skid*)

El *Skid* es una plataforma para montar el controlador, la HTC, la bomba y cualquier instrumento involucrado (véase la Figura 3). La rigidez de la estructura minimiza el deslizamiento en la transportación, instalación y operación (choques y vibración operacional).

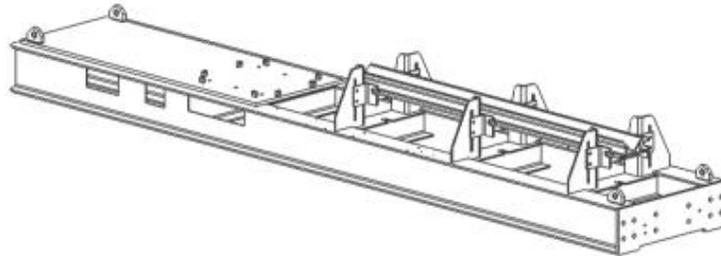


Figura 3. Modelo de Skid de Baker Hughes

Fuente: (Centrilift, 2008)

Acople (*Driver coupling*)

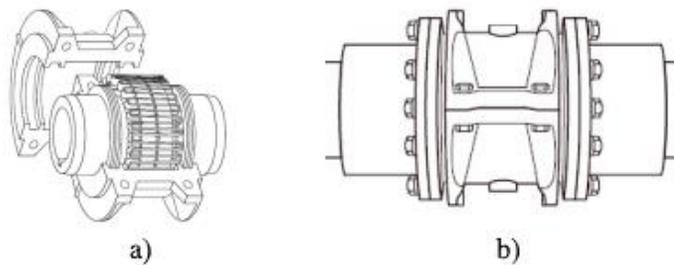


Figura 4. Acoples de Baker Hughes, a) acople cerrado tipo rejilla, b) espaciador tipo rejilla

Fuente: (Centrilift, 2008)

El sistema Hpump utiliza diversos motores según la aplicación, para ello se necesita un acoplamiento de rejilla o *grid coupling* para conectar la cámara de empuje con el motor. Baker Hughes ofrece dos tipos de *coupling*: *close coupled* y *Spacer* (véase en la Figura 4 a y b respectivamente).

Cámara de empuje Horizontal (HTC)



Figura 5. Cámara de empuje

Fuente: (Centrilift, 2008)

Es un dispositivo lubricado con aceite (véase Figura 5), tiene como fin:

- A. Transmitir el par del motor a la bomba.
- B. Aislar el motor y a las etapas de bomba del empuje descendente producido en la succión.
- C. Sellar el fluido bombeado del medio ambiente.

Cada cámara de empuje está compuesta por una carcasa, un eje, cojinetes, sellos de eje y un proceso mecánico de sellado de fluidos. Es importante monitorear las HTC con instrumentos para medir vibración, nivel de aceite lubricante y temperatura. Los tipos de cámaras de empuje que maneja BHGE son:

- Cámara de Empuje Estándar o “*Slinger Rings*”
 - Para cargas axiales de hasta 7 000 libras.
 - La cámara de empuje estándar es montada con exceso de aceite para minimizar el deterioro de los bolos del rulemán durante el traslado (montaje) o almacenamiento.
- Cámara de Empuje Reforzada (HD)
 - Para cargas superiores a 14 000 lb.

- El aceite es rociado en la cámara de empuje desde tres puntos, dos en el lado derecho, de la parte superior izquierda (para los cojinetes *downthrust*), uno al costado de la bomba (para los cojinetes *upthrust*).
- La presión del aceite debe ser 60-80 psi, si no se mantiene la presión apropiada, la falta de lubricación puede conducir al calor excesivo.
- Cámara de Empuje Servicio Extremo (XD)
 - Para cargas de hasta 24 000 libras.
 - Mantiene un alto nivel de aceite, todos los cojinetes son “inundados” en todo momento.
 - La transferencia de aceite desde XD TC a través del enfriador está basada en el caudal (no en la presión como HD TC).
 - Sólo se necesita psi.
 - El aceite de refrigeración debe mantener un caudal de 8 – 12 gpm.
- Cámara de Empuje Servicio Ultra Pesado (UHD)
 - Para cargas superiores a 24 000 libras.
 - Se controla que el caudal sea menor o igual a 25 gpm.

Ensamblaje de Carga o *Intake Assembly*

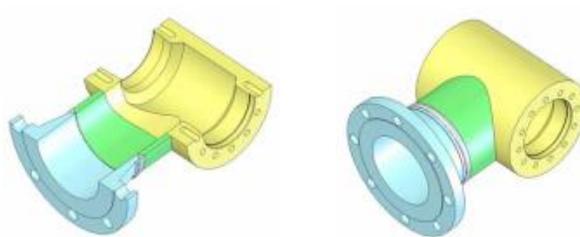


Figura 6. Ensamblaje de carga o *Intake Assembly*

Fuente: (Centrilift, 2008)

Se atornilla a la bomba y a la HTC, permite que el fluido entre en la bomba, existe variedad de tamaños de tuberías y clases de bridas para diferentes condiciones de bombeo.

Ensamblaje de descarga o *Discharge Assembly*

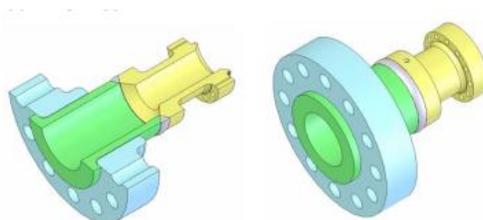


Figura 7. Ensamblaje de Descarga o *Discharge Assembly*

Fuente: (Centrilift, 2008)

Se atornilla al cabezal de la bomba, dirige el fluido presurizado que sale de la bomba, existe variedad de tamaños de tuberías y clases de bridas para diferentes condiciones de bombeo.

Bomba

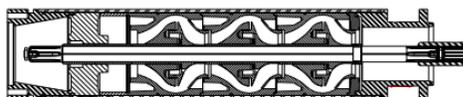


Figura 8. Bomba centrífuga

Fuente: (Centrilift, 2008)

La bomba que se utiliza es una centrífuga multietapa, montada de forma horizontal. El cabezal de la bomba se adhiere a equipo de descarga mientras que la base al equipo de carga.

2.5. SCADA

Este acrónimo significa Supervisión, Control y Adquisición de Datos (Supervisory Control and Data Acquisition). Un SCADA es cualquier software que permite supervisar y controlar los procesos industriales por medio de acceso a datos y control de estos. “*Realiza la tarea de interface entre los niveles de control (PLC) y los de gestión*” (Rodríguez Penin, 2007). Su topología cambia de acuerdo con las características de cada aplicación. Existen algunas características que se pueden evaluar al momento de instalar este:

- Funcionalidad completa de manejo y visualización.
- Arquitectura abierta.
 - Permite combinaciones con aplicaciones estándar y de usuario.
 - Permite crear soluciones de supervisión y control a través de integradores como: OPC, Active x, OLE-DB, entre otros.
- Sencillez de instalación
 - Exigencias de hardware no elevadas.
 - Fácil de utilizar
 - Interfaz amigable con el usuario
- De fácil configuración y escalabilidad

- Ser independiente del sector y la tecnología
- Comunicación flexible

Entre los objetivos más destacados de los sistemas SCADA son: economía (evitar tareas innecesarias), accesibilidad (estado del proceso de forma remota), mantenimiento (programación de fechas de revisión o en fallos), gestión (datos expuestos con herramientas estadísticas, gráficas, valores tabulados, etc.), flexibilidad (modificaciones de características) y conectividad (interconexión de sistemas de diferentes proveedores).

2.6. Rapid Scada

Rapid SCADA es un software de código abierto capaz de crear canales de comunicación que permiten supervisar y controlar cualquier tipo de proceso. La comunicación se puede realizar con una variedad de protocolos disponibles, entre los que se encuentran: Modbus (RTU, ASCII y TCP), OPC (DA, AE y UA), SNMP (recopila y organiza información sobre dispositivos administrados en redes IP), SMTP (estándar para transmisión de correos electrónicos), etc. El software permite exportar los datos en tiempo real a diferentes bases de datos como: Oracle, Microsoft SQL Server, PostgreSQL y MySQL.

Este puede ejecutarse en Windows y Linux, contiene su propio *Database Management System* (DBMS) y funciona en entornos físicos como virtuales. Trabaja bajo la licencia Apache 2.0., que es una licencia que permite la distribución y modificación gratuita de las aplicaciones desarrolladas en la misma, tal es el caso de algunos proyectos de *Google Code* y el *SO Android*.

Entre los servicios que ofrece están: el soporte técnico, monitoreo en la nube, solución remota de problemas, entrenamiento y consultorías, desarrollo e integración, etc. Contiene una comunidad

activa que responde a las preguntas en el foro *Rapid Scada*, se puede explorar el código fuente desde GitHub, además de la opción de escribir artículos sobre la implementación en su sitio web.

La versión con la que se trabaja en este proyecto es la versión 5.7.0, lanzada el 03 de junio de 2019. Con cada actualización también se incrementa la posibilidad de adquirir nuevos módulos, que son complementos adicionales para el servidor, la comunicación y la estación web.

2.7. Ventajas y desventajas de una tarjeta de adquisición de datos frente al PLC.

La adquisición de datos (DAQ) es el proceso de medir un fenómeno eléctrico o físico, como voltaje, corriente temperatura, presión, caudal, entre otros. Las tarjetas de adquisición de datos sirven para obtener muestras de valores de variables físicas, transformando esos valores en un dato que pueda ser reconocido y registrado en un sistema digital, con el objetivo de ser procesado en la computadora. En resumen, es el proceso de medir, transformar y procesar un fenómeno físico. Por otro lado, un PLC (Controlador lógico programable) de acuerdo con la norma NEMA es un “Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos.”

El PLC es un dispositivo robusto, creado para leer y controlar mediante módulos de E/S, pueden intercambiar mensajes y datos con un PC controlador, pero, no fueron creados para una intensa adquisición y tratamiento de datos, por lo que tienen poca memoria. Por otro lado, las tarjetas de adquisición cuentan con velocidad de medición y toda la memoria de la PC para el almacenamiento de datos y la potencia para procesar y tratar los datos. Aun cuando las tarjetas tengan incorporadas varias entradas y salidas, no se le puede confiar la gestión de un equipo, ya que, en una situación

de emergencia, que implique el paro completo del equipo, alguno de los procesos del sistema puede interponerse y demorar el procesamiento de la situación.

Para la aplicación, es indispensable la velocidad de respuesta ante una situación de emergencia. También, al ser un sistema SCADA, se utiliza una base de datos, por lo que la memoria del dispositivo no es indispensable, además se debe controlar el encendido y apagado del sistema hidráulico y el variador de frecuencia que controla el motor. Por ello el dispositivo que se ajusta mejor es un PLC.

2.8. Instrumentación asociada a la medición

2.8.1. Medidor de temperatura

Los instrumentos de medición de temperatura son muy usados en los procesos industriales. Las limitaciones de los equipos de medición se definen por el tipo de aplicación, la precisión, la velocidad de captación, la distancia que existe entre el elemento de medida y el aparato receptor y por el tipo de indicador o controlador. Se utilizan diversos fenómenos para la medición de temperatura, entre los cuales figuran:

- Variación o en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases)
- Variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia)
- Variación de resistencia de un semiconductor (termistores)
- f.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopar)
- Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación)

- Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, entre otros)

Los instrumentos empleados son los siguientes:

- Termómetros de vidrio
- Termómetros bi-metálicos
- Elementos primarios de bulbo y capilar rellenos de líquido, gas o vapor
- Termopares
- Pirómetros de radiación
- Termómetros de resistencia
- Termómetros ultrasónicos
- Termómetros de cristal de cuarzo

2.8.2. Medidor de vibración

Una señal de vibración consiste en muchas señales de frecuencia que ocurren simultáneamente, es por eso que no se puede ver de manera inmediata. Los componentes de la señal de vibración se pueden ver trazando la amplitud versus la frecuencia. La descomposición de las señales de vibración en componentes de frecuencia individuales se conoce como análisis de frecuencia.

El diseño de los acelerómetros piezoeléctricos se dispone de forma que cuando el conjunto vibra la masa aplica una fuerza al elemento piezoeléctrico que es proporcional a la aceleración vibratoria. Para frecuencias bajo la frecuencia de resonancia; la masa será la misma que la aceleración de la

base y la magnitud de la señal es proporcional a la aceleración a la que está siendo sometido. Existen dos tipos de configuraciones: Tipo compresión (masa ejerce una fuerza de compresión sobre el elemento piezoeléctrico) y tipo de corte (masa ejerce una fuerza de corte sobre el elemento piezoeléctrico).

2.8.3. Medidor de presión

La presión es fuerza por unidad de superficie, en el presente proyecto se expresa como unidades de libras por pulgadas (psi), en el anexo E se encuentra la tabla de conversión de unidades de presión. Para poder medir presión se debe tener una noción básica de los tipos de presiones que hay, véase Figura 9.

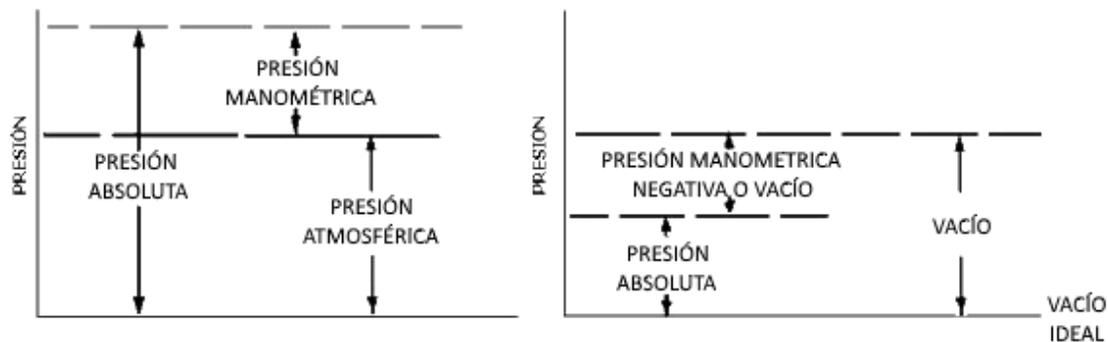


Figura 9. Tipos de presiones

Presión Absoluta: se mide con respecto del cero absoluto, donde, el cero absoluto es el espacio del vacío del universo, denominado cero o vacío ideal, expresado en libras por pulgada cuadrada absoluta (psl).

Presión Atmosférica: es la presión ejercida por la atmósfera terrestre medida mediante un barómetro.

A nivel del mar, la presión es próxima a 14.7 psi o bien 1.01325 bar. Estos valores definen la presión ejercida por la atmósfera terrestre.

Presión Relativa o manométrica: es la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica del lugar donde se mide. Si la presión atmosférica varía, la presión relativa también, siguiendo la siguiente relación:

$$(Ec. 2.1) P. absoluta = P. atmosférica + P. relativa$$

La presión manométrica utiliza unidades de psig (*pounds per square pulgadas gauge*) o psi.

Presión negativa: se refiere a la presión por debajo de la presión atmosférica y por encima del vacío ideal (presión absoluta), asociada generalmente al vacío.

Presión Diferencial: es la diferencia entre dos presiones absolutas o relativas, siempre y cuando ambas estén referidas a un mismo punto de presión (vacío absoluto o presión atmosférica).

2.8.4. Medidor de caudal

Hay varios métodos para la medición de caudal; entre los más conocidos se encuentran: Medidores usando medición de presión diferencial, medidores usando medición de presión diferencial con problemas de obstrucción, medidores de desplazamiento positivo, medidores tipo turbina, tipo Vortex, medidores electromagnéticos, ultrasónicos, másicos Coriolis y térmicos. De acuerdo al líquido que se usa dentro del proceso (aceite Shell morlina) se descartan los medidores electromagnéticos y los medidores térmicos; tomando en cuenta la tabla de comparación de acuerdo al fluido (Sánchez, 2010).

2.9. Estado actual del banco de pruebas de cámaras de empuje

2.9.1. Componentes

El sistema de pruebas de cámaras de empuje consta de un motor de 2 polos, 3600 RPM, seguido del acople del motor (*coupling*). Este acople se encarga de transferir el torque del motor al resto del sistema, su diseño de acero flexible le permite soportar la velocidad y la potencia del motor y la cámara de empuje horizontal (HTC, *Horizontal Thrust Chamber*), también llamado contenedor de aceite, tiene como objetivo transferir torque, soportar la carga axial (aislar el motor del empuje que produce la bomba) y sellar el fluido evitando que salga al ambiente.



Figura 10. Banco de pruebas de cámaras de empuje Baker Hughes

Para que las cámaras de empuje pasen la prueba no debe superar los 66 °C y las vibraciones deben ser menores a 0.156 pulgadas/segundo. Cada una de las cámaras requiere de un procedimiento diferente de pruebas en las cuales se involucran otras variables como la presión y el caudal. En el banco de prueba de cámaras constan variedad de equipos, que se los ha dividido en Sensores, Actuadores y equipos en general.

- **Sensores:** medidor de caudal, 2 manómetros, 2 medidores de temperatura y vibración.

- **Actuadores:** motor de 2 polos, variador de frecuencia, 2 válvulas de aguja, enfriador de aceite u *oil cooler*, bomba y motor.
- **Otros Equipos:** elevador de cadena eléctrico, 1 tanque contenedor de aceite, filtro.

2.9.2. Funcionamiento

Las pruebas de cámaras de empuje se realizan de la siguiente manera: se ajusta la cámara en el montacargas, por medio de una botonera se eleva o baja la cámara a la altura del *coupling*, de manera manual se acopla la cámara ajustando los pernos, tarea que lleva cerca de 20 min a 30 min. Una vez ajustada la cámara se retira del montacargas, se colocan las rejillas de protección, las rejillas de protección están ubicadas cubriendo el acoplamiento y el eje de la cámara que se girará a la velocidad del motor (3600 RPM). Para comenzar con las mediciones de las variables (temperatura, vibración, presión, caudal) se debe tener en cuenta qué tipo de cámara se está colocando. Si es una cámara estándar solo necesitará estar acoplada al motor y se inicia con un arranque suave del variador de frecuencia, si es una cámara HD, se debe verificar la presión para que el aceite que fluye dentro de la cámara sea en forma de aspersor y en las cámaras XD se requiere que esté inundada de aceite por lo que se regula el caudal. El operario conectará las mangueras correspondientes para cada una de las cámaras.

Para la medición de las variables, temperatura y vibración se miden cada 15 minutos durante 1 hora. Se utiliza un pirómetro de temperatura de marca *Fluke* en tres puntos de la cámara que corresponden a los puntos donde se encuentran los rodamientos. BHGE no cuenta con un medidor de vibración, por lo que arrienda el equipo a la Empresa INGELEC, el medidor de vibraciones es magnético y censa cada 10 segundos mostrando los datos tanto en *display* como en la computadora. Para la presión se tiene un manómetro que se controla por medio de una válvula de paso, el caudal

se mide con un sensor que muestra los gpm (galones por minuto) y que también es controlado por una válvula de paso.

La prueba varía para cada cámara de empuje:

- **Cámaras Estándar**

Las pruebas con la cámara estándar se realizan de la siguiente manera, se acopla la cámara al banco de pruebas directamente, se llena de aceite hasta donde indica el nivel, se arranca el motor con un arranque suave, verificando la temperatura y vibración del motor.

- **Cámaras HD**

Para las cámaras HD, se monta la TC, se enciende el *cooler*, se conecta en tres puntos y se distribuye el aceite dentro de la cámara a manera de aspersor, luego se arranca el motor. Este tipo de cámaras requiere control de presión, la presión requerida es de 60 a 80 psi.

- **Cámaras XD**

Para la prueba de esta cámara de empuje se realizan los mismos pasos que para la HD, con la diferencia que ésta requiere que su contenedor este inundado completamente de aceite y las entradas cambian, por lo que la variable que se debe verificar a más de la temperatura y vibración es el caudal (8-12 gpm).

- **Cámaras UHD**

Procedimiento de prueba igual que en las cámaras XD, se controla caudal, el rango de caudal es menor o igual a 25 gpm.

Se toman datos de temperatura y vibración cada 15 minutos por 1 hora de acuerdo al procedimiento HZP-TST-8402.

2.10. Procesos involucrados dentro del banco de pruebas de TC

Se ha dividido el sistema en dos procesos como se detalla a continuación:

a) Proceso de preparación

- Subproceso de elevación y montaje de la cámara de empuje
- Subproceso de lubricación de la cámara de empuje

b) Proceso de prueba

En la Figura 11 se encuentra un diagrama de bloques de la entrada y salida del sistema y los procesos y subprocesos de una forma secuencial.

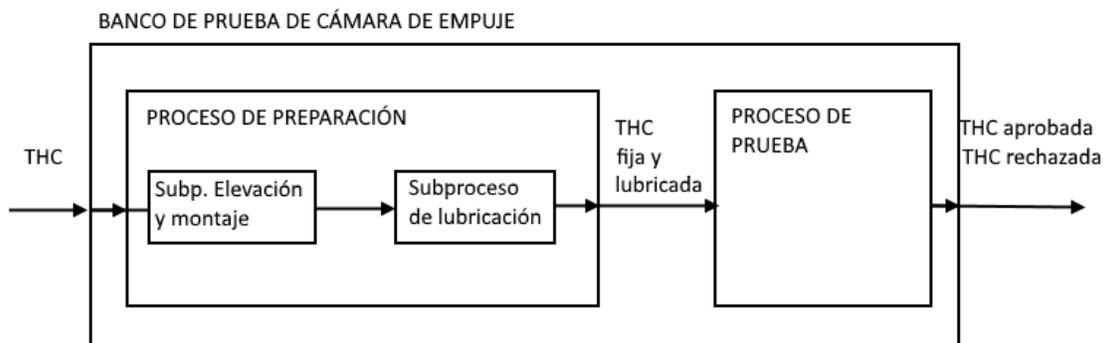


Figura 11. Diagrama de bloques del proceso de pruebas de cámaras de empuje

2.10.1. Proceso de preparación

El proceso preparación se realiza como parte de la prueba de TC para que esta se encuentre fija al motor y conectada a las mangueras de ingreso y retorno de aceite, véase anexo A1 para observar

el diagrama completo de P&ID. Todo el proceso es llevado a cabo por dos operarios de forma manual.

La elevación y fijación al motor se realiza de la misma forma indistintamente de la TC que se use, para ello se fija la TC al gancho de carga del elevador eléctrico, con la ayuda del interruptor de mando se eleva la TC y se desplaza la TC al banco de pruebas. Se instala una llave de paso corto en el extremo del motor del eje de la TC, se ajusta al motor de prueba con 4 pernos; una vez fijo se remueve el dispositivo de elevación y se colocan las mangueras.

La conexión de las mangueras depende del tipo de TC como se indica en el punto anterior de funcionamiento, por lo tanto, para las TC HD se conectan la entrada *Oil in 1_TC* y el retorno *Oil out_TC*, para las TC XD se conectan las entradas *Oil in 1_TC*, *Oil in 2_TC* y el retorno *Oil out_TC*. En la Figura 12 se muestra el diagrama de bloques del proceso, indicando cada una de las alternativas.

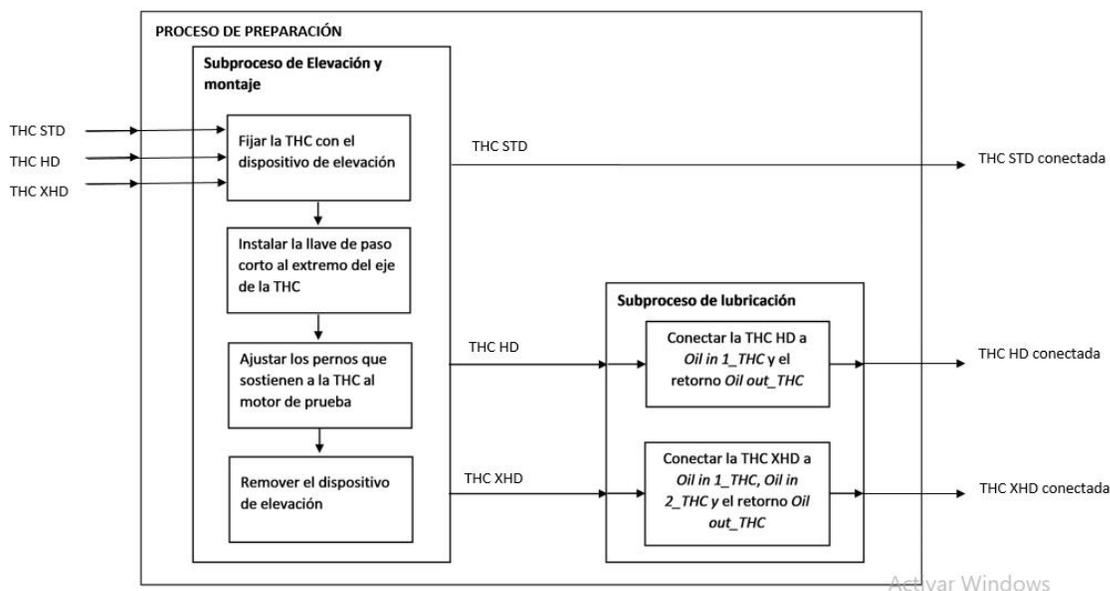


Figura 12. Diagrama de bloques del proceso de preparación

A continuación, se enlistan los equipos utilizados en cada subproceso.

a) Subproceso de elevación y montaje de la cámara de empuje:

Para elevar la TC hasta el banco de pruebas se emplea un elevador de cadena eléctrico. La conexión de este se detalla en el anexo A2.

Elevador eléctrico de cadena

Función: elevar las cámaras de empuje, para ser conectadas al banco de pruebas, en la Tabla 1 se muestran las características técnicas más relevantes.

Estado Actual: a pesar de su capacidad, el brazo que lo sostiene tiene una capacidad de 250 kg, por tanto, se ve limitado por ello.

Tabla 1

Descripción del elevador de cadena eléctrico

Elevador de cadena eléctrico	Características Técnicas
------------------------------	--------------------------



Capacidad de carga máxima: 1 Ton

Voltaje de alimentación: 220 V

Potencia del motor: 1.2/0.4 kW

b) Subproceso de lubricación de la cámara de empuje:

En el subproceso de lubricación se utilizan diversos equipos, véase anexo A1, se detalla las características técnicas de sensores y actuadores, véase anexo B para conocer las características de los demás equipos involucrados.

Medidor de caudal

Función: es un medidor de flujo autónomo o montado de forma remota, bajo consumo de energía y pantallas de cristal líquido.

Estado Actual: instrumento calibrado, estado actual en funcionamiento 24/7, las baterías no se han reemplazado.

Tabla 2

Elementos de medición del subproceso de lubricación

Medidor de caudal	Características Técnicas
	Alimentación: 6V
	Exactitud: +/- 1 cuenta
	Frecuencia de entrada: 0-2500 Hz



Unidades de caudal: gpm

Amplitud de entrada: 20 – 5000 mVpp

Manómetro analógico

Función: mide la presión del aceite que ingresa a las cámaras de empuje en el banco de pruebas, el puntero funciona de manera mecánica.

Estado Actual: instrumento calibrado, en funcionamiento 24/7, están ubicados en dos puntos antes de las entradas de aceite a la cámara de empuje. Usado en todas las cámaras de empuje.

Tabla 3

Características Técnicas: Manómetro

Manómetro analógico



Características Técnicas

Rango de medición: 0-100 psi

Material: Acero inoxidable

Válvulas de aguja

Función: las válvulas de aguja permiten la regulación del fluido a través del estrangulamiento, estas pueden ser usadas para grandes presiones y temperaturas y en procesos que necesitan una pureza alta o procesos normales.

Valvula 1: controla el caudal suministrado al sistema.

Valvula 2: válvula de cierre de seguridad para desconectar la cámara al finalizar la prueba.

Estado Actual: son de uso manual por el operario.

Tabla 4
Actuadores del subproceso de lubricación

Válvulas de aguja	Características Técnicas
	Presión de trabajo: 6 000 psi Rango de temperatura: 200 °F Dimensiones: ½" macho - hembra

Bomba hidráulica

Función: suministra el caudal de aceite para alimentar con aceite a las cámaras de empuje.

Estado Actual: el sistema funciona cuando se activa el *switch* magnético de protección.

Tabla 5
Características de la bomba

Bomba	Características Técnicas
	V. de alimentación: 220 V 3 fases Frecuencia: 50/60 Hz Potencia: 1.5 KW con fp 0.85 220/380 V y 6.10/3.55 A Conexión: Delta Estrella N° de rev: min 1000 rpm, max 2000 rpm Presión de trabajo [bar]: 16 Rango de temperatura del fluido: -20 a +80 °C Caudal: 28-40 cc/rev

2.10.2. Proceso de Prueba

Para la prueba de TC se instala el sensor de vibración en 5 puntos (2 horizontales, 2 verticales y 1 axial), se enciende el circuito de maniobra de la bomba y el *cooler*, se enciende el motor a través del variador de frecuencia y se mide temperatura y vibración.

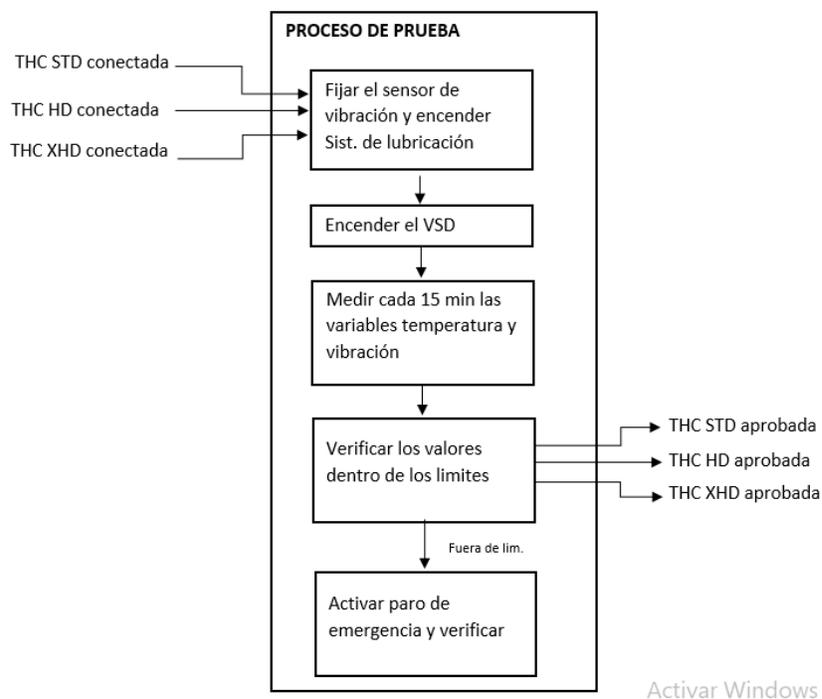


Figura 13. Diagrama de bloques del proceso de prueba

Sensor de temperatura

Función: termómetro infrarrojo, marca la temperatura de la cámara de empuje, el operario se encarga del uso y la frecuencia en las pruebas.

Estado Actual: instrumento calibrado, funciona a baterías, no es de uso exclusivo para el banco de pruebas de cámaras de empuje.

Tabla 6

Sensor de temperatura del Proceso de prueba

Sensor de temperatura	Características Técnicas
	Rango de temperatura: -30°C a 650°C (-22°F a 1202°F)
	Exactitud de la temperatura: $+1.0^{\circ}\text{C}$ o $+1.0\%$ del alcance
	Resolución óptica: 12:1 (calculado al 90% de energía)
	Tiempo de respuesta: < 300 ms
	Repetitividad: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
	Alimentación: 1.5

Motor inversor

Función: se acopla a la cámara de empuje a través del acoplamiento para realizar la prueba, inicia con un arranque suave.

Estado Actual: motor calibrado, es controlado por el variador de frecuencia, que lo enciende con un arranque suave.

Tabla 7

Características técnicas del motor inversor

Motor inversor	Características Técnicas
	Tipo de motor: Inversor Frecuencia: 60 Hz Potencia: 40 HP/30 KW R.P.M.: 3600-4500 Corriente: 38.4/44.2 A Voltaje de alimentación: 230/460 V Polos: 2 Fases: 3

Variador de frecuencia

Función: se encarga del arranque del motor y su velocidad.

Estado Actual: actualmente hay una falla en la programación, al liberar al sistema del paro de emergencia el motor se enciende, lo cual puede ocasionar daños en la cámara de empuje.

Tabla 8

Características técnicas del variador de frecuencial

Variador de frecuencia	Características Técnicas
	Potencia KW: 30 KW a 380-480 V 3 fases Potencia hp: 40 hp a 380-480 V 3 fases Voltaje de alimentación: 380-480 V (-15...10 %) Frecuencia de salida: 0.1-599 Hz

Continúa



Límites de tensión de alimentación: 323 a 528 V
 Frecuencia de alimentación: 50-60 Hz (-5 a 5 %)
 Límites de frecuencia de alimentación: 47-63Hz

2.11. Cálculos de dispositivos de protección

Existe variedad de tipos de protecciones, sin embargo, para este proyecto se evalúan tres tipos principales: protección contra cortocircuitos, contra sobrecargas y contra electrocución.

En el anexo A2, se observan los dispositivos de protección dentro del banco de pruebas de TC, que son: un interruptor termo magnético, un contactor magnético y un relé de sobrecarga térmica.

Para realizar el cálculo de protecciones, se utiliza la corriente nominal, la misma que puede ser calculada o de la placa que proporcionan los proveedores, se hace el cálculo para la corriente del motor de inducción trifásico, donde la corriente nominal según el fabricante es de 38.4 A, 220V (véase anexo C).

Se tiene en cuenta las características de los dispositivos de protección: el relé térmico colocado tiene un rango de configuración de 0.1 hasta 40 A, y se encuentra ajustado en 10 A. El interruptor magneto térmico soporta 50 A, 400V.

Cálculo de la corriente de protección con fusibles:

$$I_F = k \times I_N$$

Donde,

$I_F =$ corriente de protección de los fusibles

$k =$ constante de protección la cual se toma del rango de 1.8 a 2.1

$I_N =$ corriente nominal o a plena carga

$$I_F = 1.8 \times 38.4 \text{ A}$$

$$\boxed{I_F = 69.12}$$

Cálculo de la corriente de protección:

$$I_P = C \times I_N$$

$I_P =$ Corriente de protección

$C =$ Constante de protección la cual se toma en el rango de 2 a 3

$I_N =$ Corriente nominal o a plena carga

$$I_P = 2 \times 38.4$$

$$\boxed{I_P = 76.80 \text{ A}}$$

Ya que el sistema no solo consta del motor de inducción trifásico, se realiza una Tabla 9 de los componentes del circuito con sus corrientes nominales dadas por el proveedor.

Tabla 9

Corrientes nominales del banco de pruebas de TC

Dispositivos	Corrientes nominales (A)
Motor de inducción trifásico	38.4
Bomba	6,8
Elevador eléctrico	5,5

Se realiza una suma de las corrientes de los dispositivos que van a trabajar simultáneamente (motor y bomba), el resultado es de 45.2.

Se toma el criterio de valores estándar de regulación de la norma IEC, en el que la corriente de protección debe ser 10% más de la I_n , por lo tanto:

$$I_p = 45.2 + 4.52 = 49.72 A$$

Si se toma el mismo criterio para el relé térmico, $I_p = 7.48 A$.

Con esto se demuestra que la protección del interruptor termo magnético se encuentra correctamente dimensionado.

2.12. Disposición de la planta y el banco de pruebas

El banco de pruebas ocupa un espacio de $13.74 m^2$, véase anexo A3, donde se muestra una vista de planta. Actualmente la prueba se realiza de forma manual y el operario debe pasar por espacios reducidos para encender y apagar los motores de la prueba.

Las botoneras correspondientes a cada proceso del sistema se encuentran ubicadas de la siguiente manera.

Proceso de preparación:

Subproceso de elevación y montaje (zona 1): para montar la TC, la misma es trasladada en un transpalé hasta un área de $2.17 m^2$, la botonera que controla al elevador eléctrico se encuentra colgando de una manguera. Esta se desplaza de acuerdo con el movimiento que se le dé al elevador eléctrico, la altura del piso a la botonera es: $1.32 m$.

Subproceso de lubricación (zona 2): la botonera que controla el encendido del sistema de lubricación se encuentra en la parte posterior del *cooler*, para lo cual el operario debe desplazarse en un espacio reducido y poco seguro. La distancia de la botonera a la pared es de $62 cm$, el área en el que se puede desplazar el operario es de $0.44 m^2$. Para acceder a esta área el operario debe

pasar por el espacio disponible entre el *cooler* y la prensa hidráulica, que tiene un área de 5.6 m^2 , con una distancia de 20 cm para transitar.

Proceso de prueba (zona 3): la botonera del variador de frecuencia se ubica en un tablero de $66.2 \text{ cm} \times 24 \text{ cm} \times 23.5 \text{ cm}$ que está ajustado en la pared, a una distancia del piso de 84 cm, para acceder a este se debe transitar entre la base del brazo del elevador eléctrico y la mesa que sostiene al motor, cuya distancia es de 0.50 m.

En la Figura 14 se puede observar por zonas de trabajo lo antes dicho:

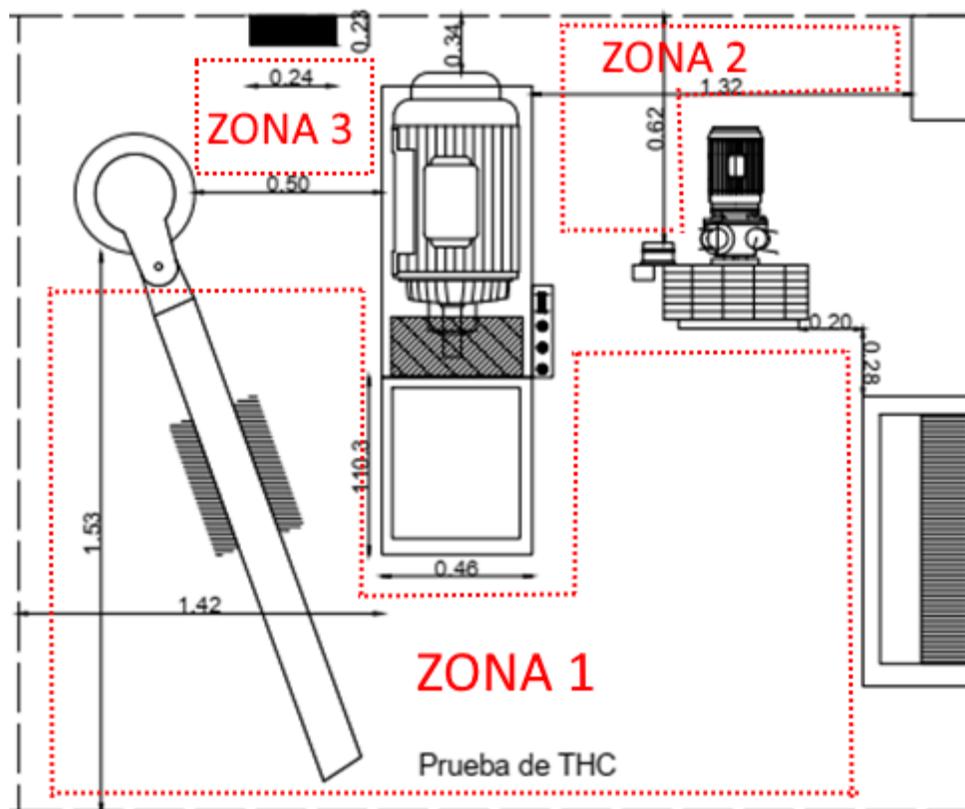


Figura 14. Zonas de desplazamiento del banco de pruebas de TC

2.13. Deficiencias

Se muestran las deficiencias observadas en cada uno de los procesos, para poder darles solución.

- **Proceso de preparación:**

- Subproceso de elevación y montaje:**

- Equipos:** los equipos ayudan al operario a realizar el montaje de las diferentes TC, sin embargo, siempre se necesita de dos operarios para ajustar la TC al acople del motor y su ajuste con los pernos.

- Espacio de trabajo:** el espacio de trabajo corresponde a la zona 1 de la Figura 14 por lo que se observa, los operarios tienen un espacio amplio para moverse.

- Subproceso de lubricación:**

- Equipos:** Tanque de aceite: no presenta medidor de nivel, no se ha hecho mantenimiento. Válvulas de ajuste son manuales.

- Espacio de trabajo:** el espacio de trabajo corresponde a la zona 2 de la Figura 14, donde se observa un espacio reducido y que implica un riesgo de accidente, principalmente caídas o golpes. Según la norma NTP 434 *“la unidad de paso para acceder a puntos de máquinas, aunque sea de forma ocasional, requiere una anchura mínima de 0,80 m”*.

- **Proceso de prueba:**

- Equipos:** No se dispone de sensor de vibración. La medición de temperatura, vibración, caudal y presión se realiza de forma manual.

Espacio de trabajo: el espacio de prueba corresponde a la zona 3 de la Figura 14, el espacio es de 0.50 m incumpliendo con la norma NTP 434.

CAPÍTULO III: DIMENSIONAMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS

3.1. Requerimientos

La empresa BHGE tiene una serie de especificaciones que se deben tomar en cuenta de acuerdo con el funcionamiento de cada una de las TC, se detallan a continuación.

3.1.1. Ambiente de operación

Condiciones de operación: servicio de 8 horas por día, 365 por año, vida útil de 5 años para todos los equipos.

Suministro de energía, aterramiento y ruido eléctrico: cualquier equipo relacionado con redes de comunicación industrial será alimentado con 120/220 VAC, 60 Hz. Todos los equipos que requieran alimentación eléctrica deben tener una luz indicadora de energía presente.

Grado de protección: los equipos y paneles tendrán una protección NEMA 12 ó IP 54. La instalación de sensores y actuadores debe considerar accesos fáciles para propósitos de mantenimiento, eso incluye instalación de montaje.

3.1.2. Requerimientos generales

Sistemas de unidades:

Voltaje	V
Corriente	A
Presión	psi
Caudal	gpm

Longitud	m
Potencia	kW
Temperatura	°F

Identificación de instrumentos: aaa-bb-cc-ddd, donde; aaa es la función de acuerdo con la norma ISA 5.1, bb: año del proyecto, cc: número de área, ddd: identificación de número de lazo.

Alimentación de los instrumentos: los instrumentos deben tener todos los accesorios adecuados para la instalación. Dispositivos diseñados con protección contra vibraciones, para las condiciones del lugar. Los transmisores de presión deben contar con salidas análogas convencionales 4-20 mA o 0-10 Vdc.

3.2. Criterios de selección de protocolo de red industrial

Para la selección del protocolo adecuado se debe tener en cuenta el tipo de protocolo que manejan los equipos disponibles. El VSD soporta protocolo MODBUS rtu y es el único dispositivo que cuenta con un protocolo de comunicación.

Para seleccionar el protocolo de comunicación que mejor se ajuste a las necesidades del proyecto, se ha realizado una tabla comparativa de los protocolos de redes de comunicación, se puede observar en la Tabla 10.

Tabla 10
Protocolos de comunicación

PROTOCOLO	TOPOLOGÍA	ARQUITECTURA	DISPOSITIVOS nodos por segmento	VELOCIDAD	DISTANCIA
MODBUS TCP	bus, punto a punto, estrella	cliente/servidor	248	9,6 kbps - 19,2 kbps	1.2 km SR
MODBUS RTU	bus, punto a punto	maestro/esclavo	32	10Mbps - 100 Mbps	1km por segmento
PROFIBUS	bus, punto a punto, anillo, estrella, árbol	paso de testigo, maestro/esclavo	125	12 Mbps	de 200 m a 1.2 km por segmento

Continúa

ETHERNET IP	bus, estrella, malla-cadena	maestro/esclavo, punto a punto	256	10Mbps - 100 Mbps	100 m por segmento
CAN	bus, punto a punto	CSMA/CD con arbitraje de bit	64-127	50 kbps a 1 Mbps	40m a 1 km por segmento
HART	bus, punto a punto	maestro/esclavo	30	1,2 kbps	3 km por segmento
PROFINET	bus, estrella, árbol, anillo	maestro/esclavo, punto a punto	256	100 Mbps	80m (cobre), 2-20km (fibra)
CONTROLNET	bus, punto a punto, árbol, estrella	CTDMA	48	5 Mbps	250m SR, 25km CR
DEVICENET	bus, punto a punto	CDMA/CDBA	64	500 kbps	hasta 500 m

Requerimientos técnicos del protocolo de comunicación.

- **Topología:** estrella, se selecciona ya que a comparación de la topología bus y anillo, funciona independientemente si uno de los nodos se daña, más organizado ya que facilita el agregar o quitar dispositivos de la red.
- **Nº de dispositivos:** al menos 5, se debe tener en cuenta al momento de la compra del *switch* o *hub*.
- **Distancia:** al menos 1 km, distancia desde el banco hasta el cuarto de control, que es la oficina del supervisor de planta.
- **Compatibilidad con los dispositivos actuales:** los protocolos que maneja el VSD son Modbus RTU o CANopen. Este dispositivo tiene la opción de la compra de una tarjeta adicional compatible con CC-Link, DeviceNet, Ethernet IP, interbus-s, Modbus plus, TCP y profibus DP.

De acuerdo con los requerimientos de la red se selecciona el protocolo **Ethernet**.

3.2.1. Criterios de selección y diseño de un sistema SCADA

El diseño de un sistema debe evaluar todas las situaciones inesperadas y activar una reacción ante las mismas, por ello hay parámetros que influyen en la vida útil del sistema y son:

Disponibilidad: es la medida en la que sus parámetros de funcionamiento se mantienen dentro de las especificaciones de diseño (Rodríguez Penin, 2007). Algunas de las estrategias usadas son: concepto de redundancia (el sistema asume funciones en caso de fallo) y concepto de sustitución en caliente (reemplazo de componentes o mantenimiento sin detener el sistema). Los cambios de modos de operación manual y semiautomático, no se hace sustituciones en caliente.

Robustez: ante un accidente o fallo, el sistema es capaz de mantenerse operativo con los mínimos servicios.

Seguridad: protección ante situaciones imprevistas, fallos de diseño y usuarios malintencionados. Las estrategias que se pueden poner en práctica son: limitar el acceso a datos sensibles por medio de contraseñas, encriptar datos desde las estaciones remotas al control central y detección de los datos ante incoherencias.

Prestaciones: es el tiempo de respuesta que tiene el sistema en el desarrollo normal del proceso, sin que se pierda información.

Mantenibilidad: se minimiza el tiempo de mantenimiento con herramientas de diagnóstico para mantenimiento preventivo, modificaciones y simulaciones.

Escalabilidad: se trata de la posibilidad de ampliar el sistema, ya sea con nuevas prestaciones acorde a los requerimientos. Estas pueden ser: espacio disponible, capacidad del equipo

informático (memoria, procesadores, alimentaciones) y capacidad del sistema (limitaciones físicas, protocolos, tiempos de respuesta).

“Un sistema Scada debe poder ampliarse y actualizarse. Puede empezar con un único servidor para todas las tareas (scada, archivo, alarmas, comunicaciones). El problema, aquí, reside en que todo pasa por un único punto que es el talón de Aquiles del sistema” (Rodríguez Penin, 2007).

El sistema se puede diseñar de forma centralizada o distribuida. Si se diseña de forma centralizada, a futuro el costo de una ampliación será elevado, pues posiblemente se tendrá que modificar el hardware o el software. Si se realiza de forma distribuida, la ampliación futura se vuelve más simple, ya que se empieza con un único servidor que realiza todas las tareas y cuando se requiera, se añaden más servidores que apoyen y compartan tareas con el servidor inicial.

3.2.2. Arquitectura de Sistemas SCADA

Se refiere a la estructura funcional del sistema de visualización y adquisición de datos, generalmente se tiene una estructura Maestro – Esclavo. El sistema queda dividido de la siguiente forma: Software de adquisición de datos y control (SCADA), Sistema de adquisición y mando (sensores y actuadores), Sistema de interconexión (comunicaciones).

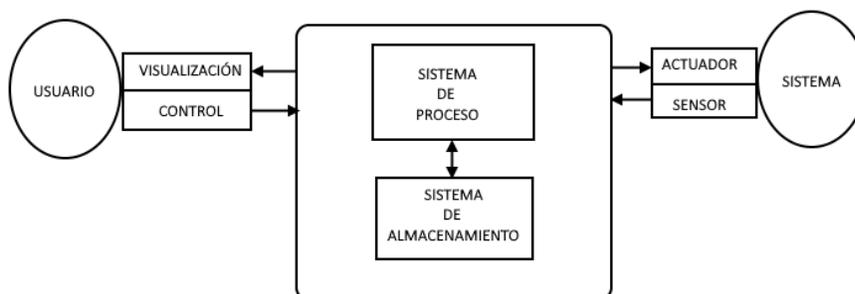


Figura 15. Estructura básica de un Sistema de supervisión y mando

Fuente: (Rodríguez Penin, 2007)

En la Figura 15 se muestra como se realiza la comunicación del Sistema por medio del Usuario, quien a través de la visualización y control accede al Sistema de proceso (este generalmente reside en un computador, instalada la aplicación de control y supervisión), el medio por donde se realiza generalmente son redes Ethernet.

El Sistema de proceso capta los valores del Sistema de adquisición y mando, muestra los valores al Usuario por medio del HMI e inicia acciones de control a través de los actuadores.

Determinación del intervalo de *scan* en el sistema SCADA

Los criterios descritos aquí fueron tomados del Curso de Sistema SCADA, dictado por José Carlos Villajulca (2009).

Las unidades remotas o RTU tienen como función: controlar las señales de Entrada/Salida del campo, monitorear las condiciones de los dispositivos de campo, almacenar históricos y alarmas, enviar información de los equipos y recibir comandos de la estación maestra.

Las RTU inteligentes que básicamente son pequeños PLC's con capacidad de comunicaciones, se encargan de hacer un control de procesos en forma local y enviar información a la estación maestra.

Los factores que determinan el intervalo de *scan*:

- Número de RTUs
- Volumen de información
 - Se refiere a la información enviada en cada conversación.
 - Se puede determinar el número de bits dependiendo de los controles de cada RTU.
 - Señales ON/OFF (válvulas, motores, lámparas) se requiere un bit por cada uno de los equipos.

- Para indicadores de presión, medidores de flujo, porcentaje de apertura de válvula, entre otros, se requiere de dos palabras de 16 bits.
- Para simplificar y obtener un factor seguro, se puede seleccionar el RTU con mayor número de puntos de control y multiplicar por el número de RTU's a instalar en el sistema.
- Velocidad de comunicación
 - Depende del protocolo de comunicación y el medio físico.

Volumen de información

Para conocer una estimación del volumen de información que va a manejar el SCADA se debe tener en cuenta el escaneo del proceso y una estimación del histórico.

Para determinar el escaneo se sabe que las variables temperatura y vibración se deben medir cada 15 min. Entonces:

$$\text{scan}=15 \text{ min} \rightarrow 1 \text{ h} \quad \text{hace 4 mediciones}$$

Una medición de 9 variables (sensores) teniendo en cuenta que el volumen estimado de información fluctúa entre 2 a 4 bytes, da como resultado 36 bytes, este valor se lo aproxima a su inmediato superior es decir 1kB.

Para el histórico de información se necesitaría 1kB. Lo que en un mes representaría 30kB de volumen de información, haciendo la misma referencia en un año se tendrá que tener un espacio de 365 kB.

Velocidad de transmisión

Al depender del protocolo y del medio físico, se tiene el valor teórico que es: 10 Mbps a 100 Mbps en protocolo Ethernet, esta velocidad depende del cable (medio físico) que se use. La eficiencia (*throughput*) del protocolo es 65%.

Cálculo del intervalo de scan

Nº de RTU: inicialmente 1, pero se puede extender a 10. Por lo tanto, se consideran los 10

Puntos:

Señales ON/OFF: 4 puntos = 4 bits

Indicadores: 3 puntos = 48 bits

Puntos análogos: 9 puntos = 288 bits

Total, de puntos en bits: 340 bits

Velocidad de comunicación: ethernet 10 000 bps

Eficiencia de comunicación basada en: 65%

N de RTU x total de puntos = bits movidos a una razón de (velocidad de comunicación) puede tomar:

$$10 \times 340 = 3400 \text{ bits}$$

Nº bits movidos/velocidad de comunicación = segundo a un 100% de eficiencia.

$$\frac{3400}{10000} = 0.34 \text{ segundos}$$

El intervalo de *scan* es: valor anterior/0.65 = 0.34/0.65 = 0.52 segundos

El intervalo de scan que se debe tener en el sistema es de 0.52 segundos lo que significa que, si existiera un problema dentro del proceso, se debe esperar 0.52 segundos para tomar una acción correctiva.

3.3. Selección del software para el sistema SCADA

Para la selección del software se realiza una búsqueda de sistema SCADA código abierto, que ayuden a disminuir los costos de adquisición de licencia. Recordando que un software libre debe poder instalarse en Windows, ya que es el sistema operativo en el que trabajan las computadoras de Baker Hughes. Se hace una comparación de las características de los diferentes softwares para ver cuál de ellos se ajusta a los requerimientos de la empresa, véase anexo F1.

Cabe destacar que la computadora utilizada para las pruebas dentro de la empresa se ha recuperado de las computadoras dadas de baja. Con sistema operativo Windows 7 y se le ha proporcionado permisos de administrador.

Se escogió el software Rapid SCADA por sus características de soporte en Windows desde el 7 hasta el 10, por manejar protocolos de Ethernet, Modbus y OPC. Por sus características de *plugins* a bajo costo. Además, se puede escalar a una red con acceso remoto. La opción de generar reportes, característica importante para los requerimientos de la empresa.

Para instalar el software se deben seguir una serie de pasos descritos en el anexo F2. El software y los prerrequisitos se descargan de la plataforma de *Rapid Scada* en el siguiente link:

<https://rapidscada.org/download-all-files/>.

3.4. Selección de instrumentos

3.4.1. Normativa

Tabla 11

Normas base

Norma	Descripción
ISA S20	Formas de Especificación para Instrumentos de Medición y Control, Elementos primarios y Válvulas de Control para Procesos
API MPMS (Manual of Petroleum Measurement Standards) Chapter 7	Determinación de temperatura.
IEC 60751	Termómetros de resistencia de platino industriales y sensores de temperatura de platino.
ANSI C37-20	Determinación de disyuntor de potencia de baja tensión encerrada en metal

3.4.2. Selección del sensor de temperatura.

Para la selección del sensor de temperatura se toma en consideración las siguientes características del proceso:

- La medición se realiza sobre la carcasa de la TC
- El material de la carcasa es de metal

Se identifica que el tipo de medición es en superficie, véase Figura 16, donde se observa los tipos de mediciones.

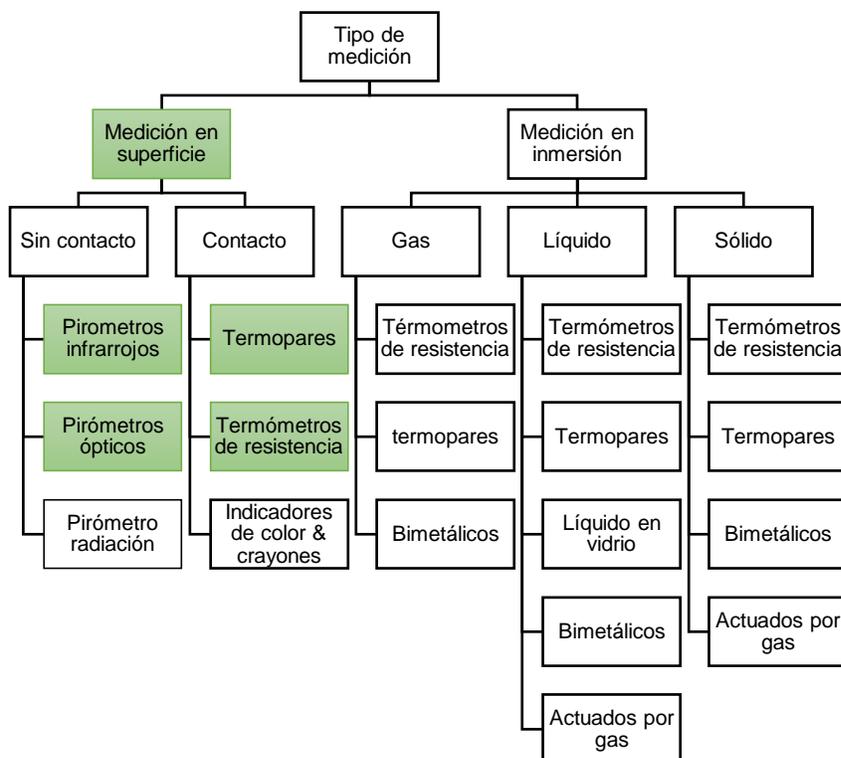


Figura 16. Tipos de medición, información basada en

Fuentes: (Asociados, 2006)

Se ha subrayado con color verde las opciones del elemento base a usar, se descartan pirómetros de radiación e indicadores de color y crayones, porque son usados para medir elementos cerámicos, además de ser análogos.

En el anexo D se muestran las ventajas y desventajas de los diferentes elementos base. Los sensores RTD son más rápidos, con mejor linealidad y precisos. La norma API 551, API MPMS capítulo 7 recomiendan este transductor.

Este tipo de sensor utiliza varios metales que presentan diferentes rangos de medición:

- Platino: de -200 °C a 600 °C.
- Cobre: de -190 °C a 150 °C.

- Níquel: de -60 °C a 180 °C.
- Wolframio: de -100 °C a 1.400 °C.

Sin embargo, el metal más utilizado es el platino, los sensores son conocidos como Pt100 y Pt1000.

Requerimientos técnicos del sensor de temperatura

Tabla 12

Especificaciones técnicas de sensor de temperatura

Especificaciones técnicas	
Rango de medida	0 a 165 °F
Alcance	165 °F
Precisión	Tipo A según IEC 60751
Elemento base	RTD de platino
Tipo de salida	análogas 4-20 mA dos hilos
Protección mínima	IP 54
Tipo de montaje	Botón de carcasa magnética
Alimentación	24 V
Longitud del cable	3 m

3.4.3. Selección del sensor de vibración

Se selecciona el elemento base o tipo de medición, véase Tabla 13. Se subraya con verde el elemento base que mejor se ajusta a la prueba de la TC.

Tabla 13

Características del tipo de medida para el acelerómetro

	Rango de frecuencia	de	Rango de sensibilidad	de	Rango de temperatura	de	Aplicación
Piezoelectrico (PE)	hasta 30 kHz		bajo y alto		-55 a 650 °C		Prueba y medición de choque y vibración
Piezo-resistivo(PR)	0 Hz a mayor a 130 kHz		bajo		-55 a 66 °C		Medición de choque
Capacitancia variable (VC)	15 Hz a 3 kHz		alta		-55 a 90 °C		Medición de vibración de baja frecuencia, mov y aceleración de estado estable

Se descarta el elemento base piezoresistivo, ya que no cumplen con el rango de temperatura a la que la TC alcanza, se descarta el acelerómetro de capacitancia variable por disponibilidad en el mercado.

El tipo de medida que se requiere en el proceso es vibración, existen otros tipos de medidas, véase Tabla 14.

Tabla 14

Tipos de medida de acelerómetros

Tipo de medida	
Vibración	Ejecución de un mov. Oscilatorio sobre una posición de equilibrio
Choque	Excitación transitoria de una estructura.
Movimiento	Evento de mov. Lento (<1s hasta varios min)
Sísmico	Vibración de baja frecuencia

Características del proceso

Rango de frecuencia: 0-300 Hz

Amplitud de vibración: hasta 0.700 pulg/s

Condiciones ambientales: hasta 165 °F

Ejes: 5 puntos de medición, 2 horizontales, 2 verticales y 1 axial

Requerimientos técnicos del acelerómetro

Tabla 15

Especificaciones técnicas del acelerómetro

Especificaciones técnicas	
Rango de frecuencia	0 a 1 kHz
Rango de medición	0.1 a 0.700 pulg/s
Rango de temperatura	0-165°F
Precisión	+/-5%
Voltaje de alimentación	15 a 30 Vdc
Tipo de medida	Vibración (pulg/s)
Elemento base	Piezoeléctrico

Continúa

Tipo de montaje	Magnético biselado/iman de superficie curvada
Protección	Mínimo IP54

Analizador multicanal

Tabla 16

Especificaciones técnicas del analizador multicanal

Especificaciones técnicas	
Entradas	Al menos 5
Medición de	Aceleración, velocidad, desplazamiento y envolvente desde acelerómetros
Mediciones	Simultaneas (no multiplexadas)
Protocolo de comunicación	Ethernet Modbus TCP
Comunicación	Con PLC, HMI, SCADA por Modbus TCP
Rango de frecuencia	10 kHz
Voltaje de alimentación	24Vdc
Protección	API 670

3.4.4. Selección del medidor de presión

Se elige el elemento primario a él transductor de presión tipo diafragma ya que este puede medir presión manométrica o diferencial, se ajusta al rango de medición y es recomendado en aplicaciones de precisión.

Requerimientos técnicos

Tabla 17

Especificaciones técnicas del medidor de presión

Tipo de sensor	Diafragma
Rango de presión	0 – 100 psi
Temperatura	165 °F
Señal de salida	4 - 20 mA dos hilos
Tipo de montaje	Rosca cónica NPT de 1/4'' macho
Material	Acero inoxidable
Longitud del cable	3 m

3.4.5. Selección del medidor de caudal

Características del proceso:

- Fluido: Aceite Shell Morlina S4B68
- Duración de la operación: 1 hora por cada prueba
- Localización: tubería ½’’

En la Tabla 18 se observan las propiedades del fluido

Tabla 18

Propiedades de fluido

Tipo de fluido	Aceite Shell Morlina S4B68
Densidad	842.4 kg/m ³
Grado de viscosidad	68
Rango de flujo	16 galones/s hasta 20 galones/s
Temperatura fluida	20 a 66 °C
Punto de inflamabilidad	254 °C
Punto de fluidez	-54 °C

Requerimientos técnicos

Tabla 19

Características técnicas del medidor de caudal

Tipo de fluido	Aceite Shell Morlina S4 B68
Temperatura del fluido	66 °C
Temperatura ambiente	27 °C
Presión del fluido	Hasta 20 psi
Rango de la tasa de flujo	Hasta 28 Galones/s
Diámetro de la tubería	½’’
Consideraciones de instalación	Medidor de turbina
Tipo de salida	4-20 mA dos hilos
Tipo de instalación	rosca cónica NPT ½’’

3.4.6. Selección de electroválvulas

Para la selección de electroválvulas se toma en cuenta los criterios de presión, caudal anterior, así como el tamaño de tubería y el tipo de operación que necesita; de acuerdo a esos valores se sugieren los requerimientos técnicos que se observan en la Tabla 20.

Tabla 20

Características técnicas de electroválvulas

Tipo de válvula	2 vías
Operación	normalmente cerrada
Tamaño de la tubería	1/2"
Medio	aceite Shell Morlina S4 B 68
Presión	16 - 25Psi
Temperatura	27 - 66°C
Voltaje	120 Vca o 24 Vdc
Frecuencia	60 Hz
material	acero inoxidable
control	proporcional

3.4.7. Scalance switch

Se selecciona de acuerdo al protocolo de red Ethernet, con al menos 5 puertos de comunicación y protección IP 30.

Tabla 21

Características técnicas del switch industrial

Especificaciones técnicas	
Tasa de transferencia	10 – 100 Mbps
Número de puertos RJ45 de 10/100 Mbps con collar de seguridad	5
Tensión del servicio/corriente de funcionamiento	24V/0.1 A
Tensión de alimentación	24V
Tipo de protección de fusible	0.6 A/60 V
Clase de protección	IP 30
Temperatura ambiente	-40 a +70 °C
Protocolos compatibles	Ethernet, Telnet, HTTP, HTTPS, TFTP, FTP, DCP, LLDP, SNMP v1, SNMP v2, SNMP v3

3.4.8. Selección del PLC

Para la selección de controlador adecuado, se debe tener en cuenta que el sistema seguirá utilizando el variador de frecuencia altivar 71, por lo que el protocolo de comunicación del controlador debe ser compatible con este.

En cuanto al medio donde se efectúa la aplicación, se ha determinado según la clasificación de áreas peligrosas, que es un ambiente Clase 1 división 2. Donde se manejan, procesan o usan líquidos volátiles inflamables o gases inflamables, pero en donde normalmente los líquidos, vapores y gases están confinados dentro de recipientes o sistemas cerrados, donde estos pueden escapar solamente en caso de ruptura accidental, avería de recipientes o sistemas, o en el caso de una operación anormal del equipo. La empresa proporciona PLC de la marca siemens en stock.

Se requiere de un plc que tenga al menos 9 entradas análogas, 4 entradas digitales, 4 salidas digitales y la capacidad de salida de señal análoga de al menos 2. A continuación, se desglosa las señales de entrada y salida del PLC

Entradas:

Entradas análogas: 9

1. Sensor de temperatura (4-20 mA)
2. Medidor de presión (4-20 mA) por dos
3. Medidor de vibración (4-20 mA) por 5
4. Medidor de caudal (4-20 mA)

Entrada digital: 3

1. Pulsador (24 Vdc) INICIO
2. Pulsador (24 Vdc) PARO
3. Pulsador (24 Vdc) PARO DE EMERGENCIA

Salidas:

Salidas Analógicas: 2

1. Válvula 1 (110 Vac)
2. Válvula 2 (110 Vac)

Salida digital : 5

1. Alimentar bobina (110 Vac) INICIO bomba
2. Alimentar bobina (110 Vac) PARO bomba
3. Señal luminosa (110 Vac) por 3

Requisitos eléctricos: los requisitos eléctricos del PLC seria AC/DC/RLY para cumplir con todos los tipos de señales que se requieren.

Requisitos de comunicación: el protocolo de comunicación es Ethernet. Los dispositivos siemens manejan protocolo profinet que puede soportar ethernet.

Software: SIMATIC STEP 7 (TIA Portal)

Requisitos del sistema

Se selecciona el PLC base de marca siemens que soporte las señales de entrada, no se puede utilizar PLC logo debido a que no posee salidas análogas. En la Tabla 22 se muestran distintos CPU y sus características, el CPU 1212C corresponde al equipo seleccionado.

Tabla 22
Características técnicas del PLC

Siemens s7-1200			
CPU	1211C	1212C	1214C
configuración	DC/DC/DC, AC/DC/RLY, DC/DC/RLY		
Dimensiones	90x100x75	90x100x75	90x100x75
I/O Digital	6 E/4 S	8 E/6 S	14 E/10 S
I/O Analoga	2 E	2 E	2 E
max local I/O Digital	14	82	284
max local I/O Analogo	3	19	67
tamaño de imagen de proceso	1024 E/1024 S	1024 E/1024 S	1024 E/1024 S
Modulos de señales (SM)	0	2	8
Modulo de comunicación (CM) o Procesador de comunicación (CP)	3	3	3
Tablero de señales (SB) o tablero de comunicación (CB)	1	1	1

3.4.9. HMI

Se busca que el HMI sea compatible con el PLC. En este caso que sea compatible con la marca Siemens, véase Tabla 23.

Tabla 23
Características técnicas del HMI

Especificaciones técnicas	
Pantalla diagonal	12.1 in
Voltaje de alimentación DC	24 V
Número de interfaces Ethernet Industrial	1 puerto
Protocolos soportados	Protocolos <ul style="list-style-type: none"> • Ethernet/IP

Continúa

	<ul style="list-style-type: none"> • Modbus
Uso en áreas peligrosas	Clase 1, División 2
Condiciones de temperatura ambiental	-20 a 60 °C
Configuraciones de software	WinCC (TIA Portal)
Proceso de acoplamiento	S7-1200

3.4.10. Fuente de poder

La fuente de poder se requiere para la alimentación de los dispositivos de 24V, esta debe ser capaz de soportar las máximas corrientes de cada uno de los elementos conectados. Se sugiere una fuente de 2.5 A tomando en cuenta las corrientes del HMI, switch y botonera de control.

Tabla 24

Características técnicas de la Fuente 24V

Especificaciones técnicas	
Entrada	1 fase AC
Voltaje de alimentación	120/230 Vac
Tasa de frecuencia de línea	50 a 60 Hz
Corriente de entrada a 120 V	1.2 A
Corriente de entrada a 230 V	0.67 A
Salida	Voltaje DC controlado, aislado
Tensión nominal Vout	24 V
Rango de corriente	0 a 2.5 A
Uso en áreas peligrosas	Clase 1, división 2

3.5. Alternativa de solución

Se detalla la alternativa de solución en base a la Figura 17. Los protocolos propuestos son: Ethernet para la comunicación del PLC, HMI y sistema SCADA. El software utilizado para el sistema SCADA es *Rapid SCADA* con este se puede generar una red local vista desde una página web que accede a los parámetros de control de la prueba y se puede descargar el reporte de la prueba.

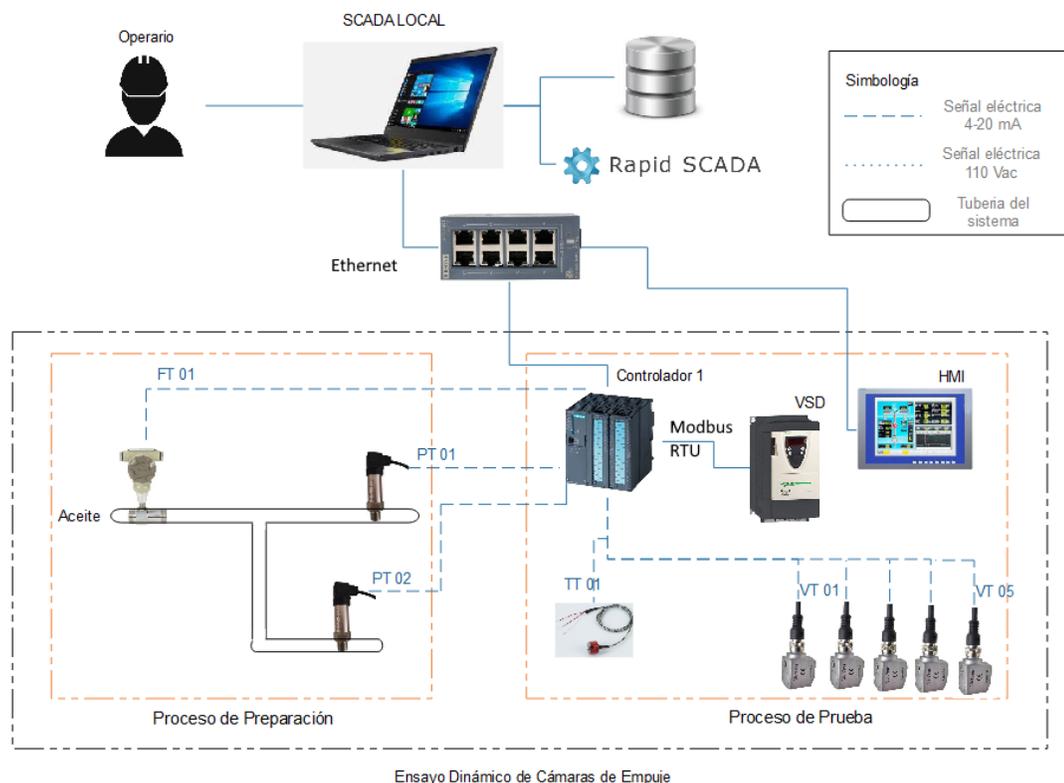


Figura 17. Arquitectura de Red de alternativa de solución

A continuación, se detallan las características solicitadas en base al dimensionamiento de los equipos contrastando con los equipos provistos por la empresa.

Switch industrial comparación en la Tabla 25.

Tabla 25

Contraste características del switch.

Especificaciones técnicas	Sugerido	Surtido
Tasa de transferencia	10 – 100 Mbps	10 Mbps (half duplex), 20 Mbps (full duplex)
Número de puertos RJ45 de 10/100 Mbps con collar de seguridad	5	5
Tensión del servicio/corriente de funcionamiento	24V/0.1 A	12-56 Vdc, 215 mA
Tensión de alimentación	24V	24V
Clase de protección	IP 30	IP 30
Temperatura ambiente	-40 a +70 °C	-40 a 75 °C (-40 a 167 °F)

Continúa

Protocolos compatibles	Ethernet, Telnet, HTTP, HTTPS, TFTP, FTP, DCP, LLDP, SNMP v1, SNMP v2, SNMP v3	Ethernet
-------------------------------	--	----------

PLC comparación en la Tabla 26.

Tabla 26
Contraste características del PLC

Especificaciones técnicas	Sugerido	Surtido
CPU	1212C	1214C
Configuración	AC/DC/RLY	AC/DC/Rly
Dimensiones	90x100x75	90x100x75
I/O Digital	8 E/6 S	14 E/10S
I/O Analoga	2 E	2E
Max local I/O Digital	82	284
Max local I/O Análogo	19	67
Tamaño de imagen de proceso	1024 E/1024 S	1024 E/1024S
Módulos de señales (SM)	2	8
Modulo de comunicación (CM) o Procesador de comunicación (CP)	3	3
Tablero de señales (SB) o tablero de comunicación (CB)	1	1

HMI, comparación en la Tabla 27.

Tabla 27
Contraste características del HMI

Especificaciones técnicas	Sugerido	Surtido
Pantalla diagonal	12.1 in	7 in
Voltaje de alimentación DC	24 V	24V
Número de interfaces Industrial Ethernet	1 puerto	1
Protocolos soportados	Ethernet/IP Modbus	COM1 RS-232/422/485 (DB9 Male) COM2 RS-422/485 (Terminal Plug 4-Pin) COM3 RS-485 (Terminal Plug 2-Pin) CAN Terminal Plug 2-Pin Ethernet (RJ45) 10/100BASE-T I/Os 1 x USB 2.0 (Client) 1 x USB 2.0 (Host) 1 x micro SD slot 1 x Audio line out, 1 x mic in

Continúa

Uso en áreas peligrosas	Clase 1, División 2	
Condiciones de temperatura ambiental	-20 a 60 °C	-20 ~ 60 °C (-4 ~ 140 °F)
Configuraciones de software	WinCC (TIA Portal)	WebAccess HMI Designer V2.1

Transmisores de presión, comparación en la Tabla 28.

Tabla 28

Características técnicas del transmisor de presión

Especificaciones técnicas	Sugerido	Surtido
Rango de presión	0 – 100 Psi	0-1000 Psi
Temperatura	165 °F	32°F a 176°F
Señal de salida	4 - 20 mA dos hilos	4 a 20 mA dos hilos
Tipo de montaje	Rosca cónica NPT de 1/2'' macho	Rosca cónica NPT de 1/2'' macho
Material	Acero inoxidable	Acero inoxidable

Transmisor de temperatura, se observa la comparación en la Tabla 29.

Tabla 29

Características técnicas del transmisor de temperatura

Especificaciones técnicas	Sugerido	Surtido
Rango de medida	0 a 100 °C	-20 a 150 °C
Elemento base	RTD de platino	RTD PT100
Tipo de salida	análogas 4-20 mA dos hilos	4-20mA a través de módulo WV418
Protección mínima	IP 54	IP 30
Tipo de montaje	Botón de carcasa magnética	Botón de carcasa magnética
Alimentación	24 V	NA

Fuente de alimentación de 24V, la comparación se ve en la Tabla 30.

Tabla 30

Características técnicas de la Fuente de alimentación

Especificaciones técnicas	Sugerido	Surtido
Entrada	1 fase AC	1 fase AC
Voltaje de alimentación	120/230 Vac	100/240 Vac
Tasa de frecuencia de línea	50 a 60 Hz	47/63 Hz

Continúa

Corriente de entrada a 120 V	1.2 A	1.5 A
Corriente de entrada a 230 V	0.67 A	0.75 A
Salida	Voltaje DC controlado, aislado	
Tensión nominal Vout	24 V	12 o 24 V
Rango de corriente	0 a 2.5 A	3 A

PC, se surte las especificaciones pedidas.

- Sistema operativo windows 7
- Permisos de administrador

Requisitos

- Sistema operativo: Microsoft Windows Server 2008 R2 SP1 o posterior, Microsoft Windows 7 SP1 o posterior.
- Microsoft .NET Framework 4.7.2.
- Se requiere Microsoft IIS para implementar la aplicación web.

La alternativa de solución final está representada en la Figura 18, donde se muestran los dispositivos con los que se realiza cada proceso y su conexión. Para medición de vibración se utiliza el analizador quatro y su software SignalCalc Ace, con la que se obtienen los valores de vibración este software es usado por la empresa hace más de 5 años, se encuentran familiarizado con él y se cuenta con la licencia de por vida. En el anexo J1 se muestran fotografías de los sensores implementados y su contaste del banco antiguo y actual.

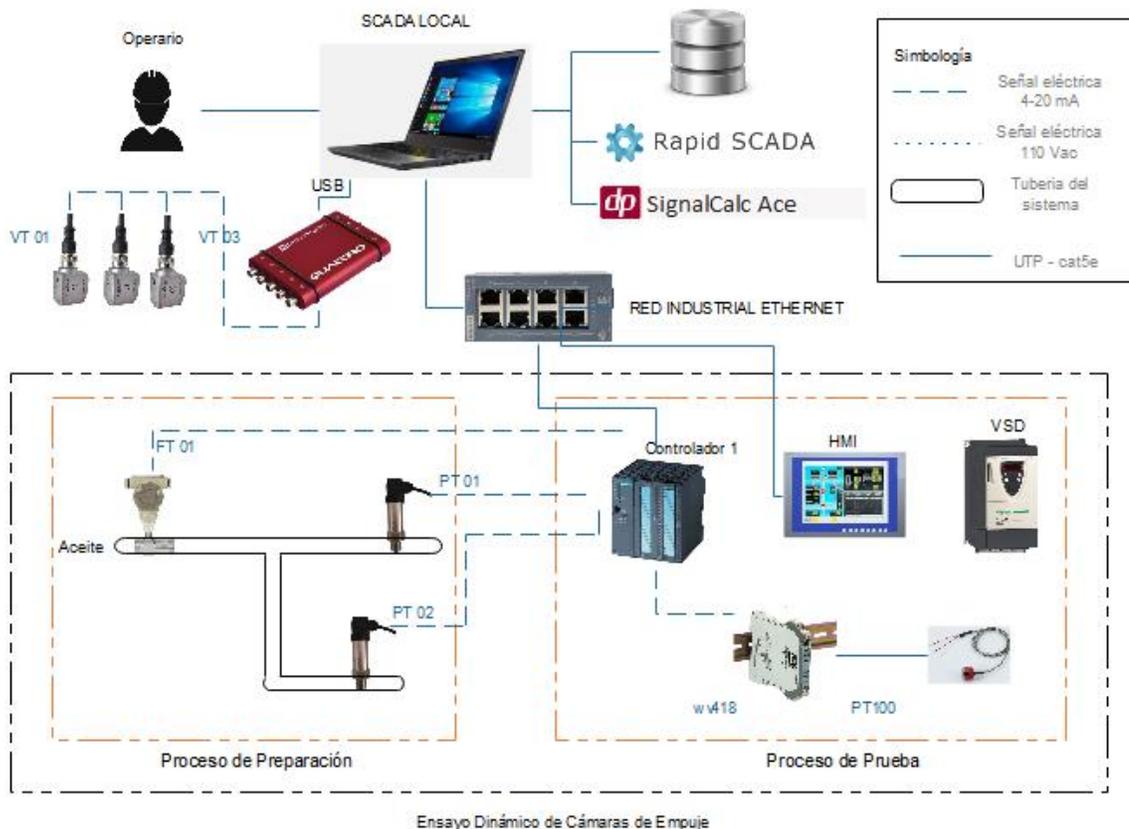


Figura 18. Solución final de la automatización del proceso

Las características técnicas de los acelerómetros piezoeléctricos industriales utilizados para las pruebas se muestran en la Tabla 31. El cable recomendado por el fabricante y medio del cual se conecta al analizador de vibraciones cuatro es el J9T2A que protege contra ruido externo a la señal.

Tabla 31
Especificaciones técnicas del acelerómetro piezoeléctrico

Especificaciones técnicas	
Sensibilidad	100 mV/g
Rango de aceleración	80 g peak
Amplitud no lineal	1%
Frecuencia de respuesta	+/- 3dB
Frecuencia de resonancia	0.7 – 12.000 Hz
Sensibilidad transversal	-5%
Tensión de alimentación	18-30 Vdc
Impedancia de salida	100 ohms

En cuanto al analizador cuatro se describen algunas de las características más importantes: posee 3 canales, con una resolución ADC de 24 bits, la frecuencia máxima útil es 40kHz o 93kHz opcional. La conectividad se realiza mediante USB 2.0. Para realizar el análisis se utiliza el software SignalCac Ace como se había mencionado. En el que es posible observar gráficas y valores pico de X e Y, véase pruebas en la Figura 54.

CAPÍTULO IV: DISEÑO DE HADWARE Y SOFTWARE

El software que se emplea para realizar los planos es AutoCAD Electrical 2018 versión estudiante, con las normas ISO e IEC, que se configuran dentro de las propiedades para obtener los símbolos bajo norma.

4.1. Diagrama eléctrico y electrónico

Para la propuesta de solución se ha realizado un nuevo plano que contiene, la conexión de potencia y de control, tomando en cuenta las hojas técnicas y recomendaciones del fabricante. En el anexo G1. Se observa un plano de cuatro hojas. La primera y segunda hoja contiene el esquemático de conexión de los equipos de control. En la tercera hoja se encuentra el plano eléctrico de potencia y la cuarta hoja contiene el diagrama de red.

Para realizar estos planos se realizó el dimensionamiento en función del tiempo de entrega y costos. En cuanto al plano eléctrico M1 es el motor de la bomba que da vida al sistema hidráulico. M2 es el motor controlado por el variador de velocidad para el arranque y paro del mismo. M1 tiene conexión estrella controlada por la salida a relé cero del PLC, se realiza este arranque directo por las características del motor que tiene una potencia menor de 5 kW según la norma NEC, capítulo 4. A su vez el motor M2 se ha propuesto controlarlo a través de MODBUS RTU junto con el modo de comunicación del PLC. La conexión del motor M2 es Delta/Y. el VSD (variador de velocidad) realiza un arranque suave del motor acoplado a la cámara de empuje.

Los planos esquemáticos de conexión contienen el tipo y calibre de cable utilizado además de una descripción de cada equipo en la parte superior izquierda. Los sensores se muestran en la hoja dos como debe ir conectado con sus alimentaciones y cables de señal de 4 a 20 mA. El diagrama de Red utiliza protocolo ethernet y modbus RTU.

4.2. Diagrama P&ID

El diagrama P&ID actualizado conserva toda su estructura cambiando únicamente los indicadores de caudal y presión por transductores de 4 a 20 mA conectados a las entradas análogas de PLC. Véase anexo G2.

4.3. Diseño del tablero de control

Para la selección del gabinete se considera los siguientes criterios:

Tensión de motores de carga: la tensión de alimentación de M1 es 220/380V, para el motor M2 es de 230/460V.

Ubicación del tablero: para saber la ubicación del tablero se sigue la norma NEC capítulo 1, artículo 110.26 (2017); el espacio de trabajo para uso interior debe cumplir con un número de gabinete 5, que consiste en contacto eventual con el equipo cerrado, polvo que cae, líquidos que caen y salpicaduras leves. En la Figura 19 se muestra la selección del gabinete.

El ancho del espacio de trabajo debe ser igual al ancho del tablero o 762 mm (30 pulgadas). La puerta debe poder abrirse 90°. La altura del espacio de trabajo debe ser máximo de 200 mm. (NEC, 2017).

Proporciona un grado de protección contra las siguientes condiciones ambientales:	Para uso en interior									
	Número del tipo de gabinete									
	1	2	4	4x	5	6	6P	12	12K	13
Contacto eventual con el equipo encerrado	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Polvo que cae	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Líquidos que caen y salpicadura leve	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Polvo, pelusa, fibras y partículas suspendidas circulares	-	-	x	x	-	x	x	x	x	x
Asentamiento de polvo, pelusa, fibras y partículas suspendidas transportadas por aire	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x
Agua por lavado con manguera y salpicadura	-	-	x	x	-	x	x	-	-	-
Escape de aceite refrigerante	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x
Salpicadura y rociado de aceite o refrigerante	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x
Agentes corrosivos	-	-	-	x	-	-	x	-	-	-
Inmersión temporal	-	-	-	-	-	x	x	-	-	-
Inmersión prolongada	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-

* El mecanismo debe ser operable cuando está cubierto con hielo.

Figura 19. Tabla 110.20 de la norma NEC

Fuente: (NEC, 2017)

Estudio de climatización del tablero: para el estudio de climatización se realiza la sumatoria simultanea de las potencias disipadas por cada equipo. En la Tabla 32 se muestra a detalle los valores de las potencias.

Tabla 32

Potencias disipadas de los dispositivos internos del tablero.

Dispositivo	Potencia disipada
PLC	14 W
Industrial Ethernet Switch	2,76 W
HMI Web OP	7 W
Modulo de EA	1,5 W
Fuente de poder	10,5 W
Communication Board CB 1241	1,5 W
Pau	37,26 W

El cálculo se realiza con la siguiente fórmula:

$$P_{total} = P_{dp} + 0.2P_{dp} + P_{au}$$

Pau= suma de todas las potencias

$P_{dp} = k \times k_e \times P_{dp}$ potencia máxima disponible

$k=0.6$ y $k_e=0.85$

$$P_{total} = 2.04 W + 0.6 W + 37.26 W = 39.9 W$$

La potencia mínima de construcción de los tableros es de 40W.

Servicios auxiliares: los servicios auxiliares a tener en cuenta son iluminación y un punto de tomacorriente. Estos se descartan ya que en el tablero de subalimentación se encuentran varios 2 puntos extra de tomacorriente. Y se descarta la iluminación extra porque el área está bien iluminada y la jornada laboral es de 8 am a 5 pm.

Definir ductos y canaletas: se tiene en cuenta los siguientes criterios: no se mezclan canaletas para salida y entrada, de igual manera no se mezcla cables de potencia mayores a 15 A con cables de control.

La disposición de los cables se ha dividido de la siguiente forma: en la canaleta izquierda se ubican todos los cables de alimentación y en la parte izquierda todos los cables de señal, en la Figura 20 se muestra la conexión interna del tablero de control.



Figura 20. Conexión interna del panel de control

Definir el tamaño y grado de protección del tablero: para el tamaño se realiza el diagrama ubicando cada uno de los dispositivos en escala real en el software AutoCAD, para luego medir su área externa dejando el 25% del área para que sea escalable en el futuro, véase anexo G3.

En cuanto al grado de protección se ha realizado el cálculo del interruptor de corriente o *breaker* tomando en cuenta las sugerencias de la norma NEC (2017), con el 125% de la suma de todas las corrientes. Se hace el cálculo de corriente para los dos niveles de tensión 120Vac y 24 Vdc. En la Tabla 33 y Tabla 34 se muestran los resultados del cálculo de corrientes más su 125%. Con estos valores se puede adquirir el *breaker* de 6 A. Se descarta el breaker en corriente directa ya que la misma fuente cuenta con protección contra corriente de 3.15 A.

Tabla 33

Cálculo de interruptor de corriente o breaker en CA

Componentes	Tensión de alimentación	Corriente
Relé térmico de sobrecarga	110 Vac	0,636 A
PLC	110 Vac	0,416 A
Fuente de poder	110 Vac	1,7 A
Luz de inicio	110 Vac	0,021 A
Luz de paro	110 Vac	0,021 A
Luz de PE	110 Vac	0,021 A
	Suma	2,82 A
	125%	3,52 A
	Total	6 A

Tabla 34

Cálculo del interruptor de corriente en CC

Componentes	Tensión de alimentación	Corriente
Industrial Ethernet Switch	24 Vdc	0,215 A
HMI Web OP	24 Vdc	0,3 A
Modulo de EA	24 Vdc	0,36 A
Boton de start rasante verde NO	24 Vdc	0,018 A
Boton de stop rasante rojo NC	24 Vdc	0,018 A
Boton de Paro de Emergencia	24 Vdc	0,018 A

Continúa

WV418 RTD con PT100	24	Vdc	0,00045	A
Transmisor de flujo	24	Vdc	0,004	A
		Suma	0,93	A
		125%	1,17	A
		Total	2	A

Selección de los calibres del cable y estimación de longitudes: para los calibres del cable se toma en cuenta la máxima corriente que pasa, con ello en cuenta se detalla el calibre y color de cable. (NEC, 2017)

Para alimentación AC:

220 Vac: Azul: 6m, Calibre: THHN 12 AWG

Negro: 6m, Calibre: THHN 12 AWG

Rojo: 6m, Calibre: THHN 12 AWG

110Vac: Azul: 6m, Calibre: THHN 14 AWG

NEUTRO: Blanco: 7 m, Calibre: THHN 14 AWG

TIERRA: Verde: 7 m, Calibre: THHN 12 AWG

Para alimentación DC:

Azul: 6 m, TF calibre 18AWG

SENSORES: Azul: 20 m, TFF calibre 18AWG contra ruido.

Para la estimación de longitudes se realiza el cálculo dentro del software AutoCAD Electrical 2018 con el programa “*comandos autocad mediciones.LSP*” que permite sumar longitudes de líneas, este programa es un aporte de la comunidad de *Autodesk*.

Selección de borneras: se toma en cuenta el diámetro y la corriente del calibre de cable para la selección de la bornera. Se ubica las borneras en las entradas y salidas del PLC, además de las alimentaciones de 24V. También se detalla el plano de borneras en el anexo G3 hoja 3.

Listado de componentes: véase anexo H1.

4.4. Diseño del reporte

Dentro del software de *Rapid Scada* existen un *plugin* de comunicación llamado *elastic report*. Con este se puede generar un reporte personalizado, los cálculos posibles de elementos de datos son:

Val: el valor del canal de entrada enlazado en el momento actual.

FirstVal: el valor en el primer punto de tiempo del período de trabajo.

LastVal: el valor en el último momento del período de trabajo.

Diff: la diferencia entre los valores en los puntos de tiempo actual y anterior.

DiffNext: la diferencia entre los valores en los puntos de tiempo siguiente y actual.

Const: el valor constante para insertar en una celda apropiada.

Formula: la fórmula para insertar en una celda apropiada. Compatible solo con el formato de salida de Excel.

Now: el tiempo de creación del informe.

Este plugin tiene un costo de \$20 y la compra se realiza a través de internet. Con este plugin es posible tener la ventana de *report* en el servidor web. La programación del reporte se desarrolla en *.xml* (*extensible markup language*) que codifica documentos en un formato que sea legible por máquina y humanos.

En el anexo I1 se muestra el código del reporte que se encuentra dentro de la carpeta *interface* este código se ejecuta dentro del scada web server. Para obtener un informe adecuado dentro de los requerimientos de la empresa se realiza un macro dentro de Excel para poder obtener solo los valores que se desean, además de conocer si el ensayo pasa o no la prueba, véase anexo I2 para conocer el código de la macro. En la Figura 21 se observa la interfaz del macro final.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									

Figura 21. Reporte en Excel de ensayo dinámico de cámaras de empuje

Dentro del alcance del proyecto se requería el envío del reporte vía correo electrónico, sin embargo, no se implementa esta debido a las políticas de seguridad de la empresa, dentro de las políticas de la empresa están: los puertos USB están bloqueados en todas las computadoras, no se puede adjuntar archivos externos en servicios de correo electrónico que no sean de la empresa, no

hay acceso a nubes de almacenamiento externas a la de la empresa, existen varios niveles de seguridad, no se puede ingresar con puntos de red que no tengan la imagen de Baker.

4.5. Diseño de ventanas HMI

Se usa el software *WebAccess HMI Designer V2.1* complementada con la guía GEDIS (Ponsa & Granollers, 2005) como referencia para la elaboración de las pantallas, tomando en cuenta los siguientes aspectos: se determinan cada elemento del esquema general de la metodología de desarrollo de la interfaz, véase Figura 22.

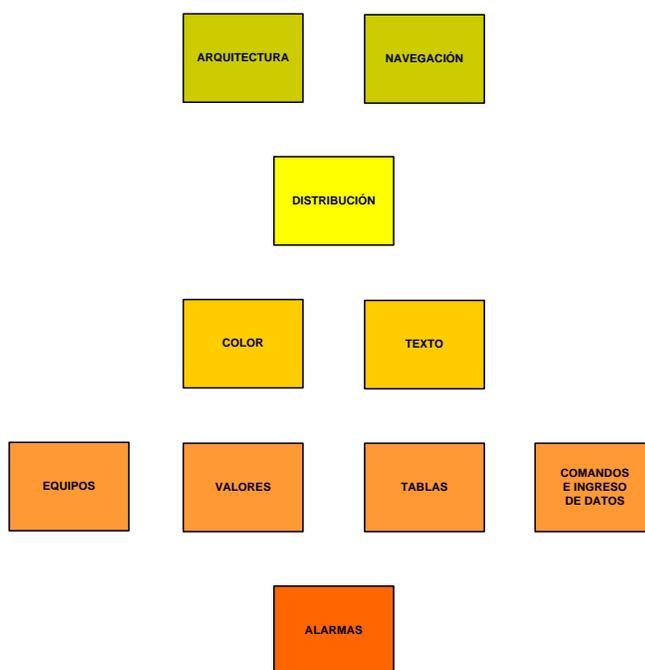


Figura 22. Esquema general de la metodología de desarrollo de la interfaz

Fuente: (Ponsa & Granollers, 2005)

Arquitectura: se detalla el mapa con las pantallas con las que interactúa el operador. Las flechas indican el modo de navegación.

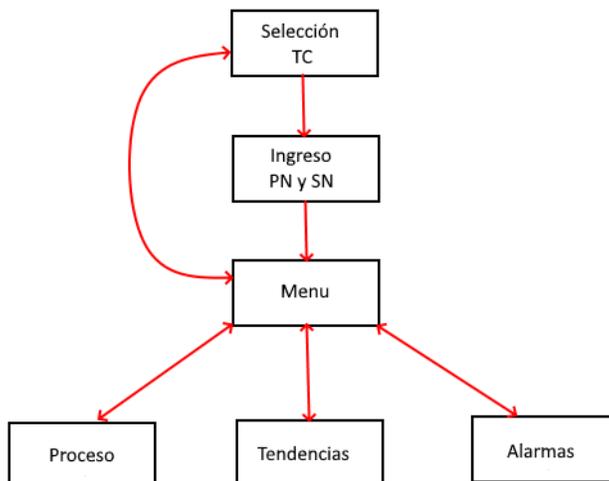


Figura 23. Arquitectura y navegación de las pantallas del HMI

Pantalla de Selección TC: se despliega un menú con los cuatro tipos de cámaras de empuje, además de una extra llamada configurable, en la que se puede configurar los parámetros de presión, caudal, temperatura y vibración, véase Figura 24.

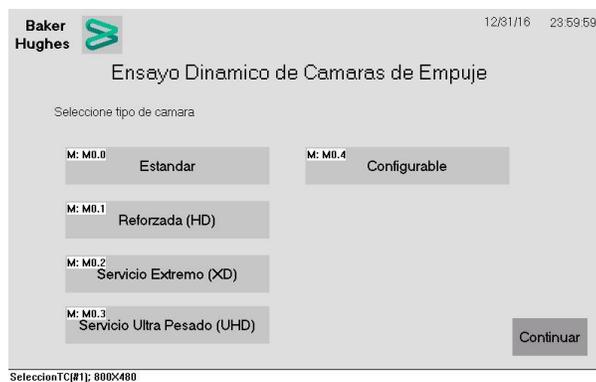


Figura 24. Pantalla de Selección TC

Pantalla de Ingreso de PN y SN: se ingresa los valores del número de parte y número de serie de la cámara a probar.

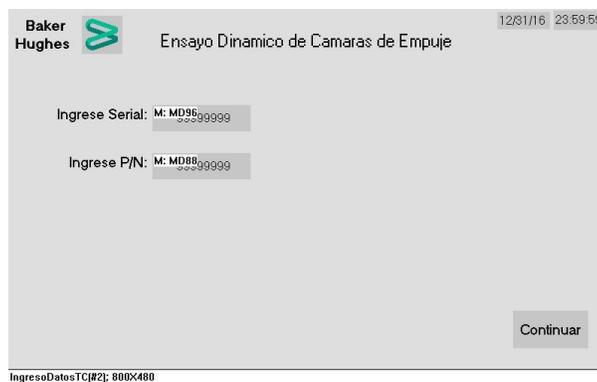


Figura 25. Pantalla de ingreso

Pantalla de Menú: se encuentran la navegación hacia el proceso, las tendencias y el histórico de alarmas.

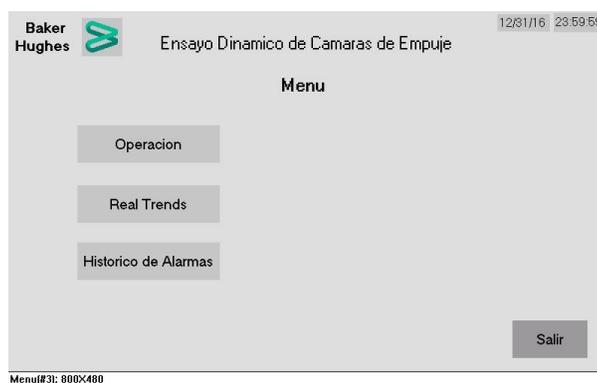


Figura 26. Pantalla de menú

Pantalla de Proceso: en la pantalla de procesos se observan todos los valores medidos.

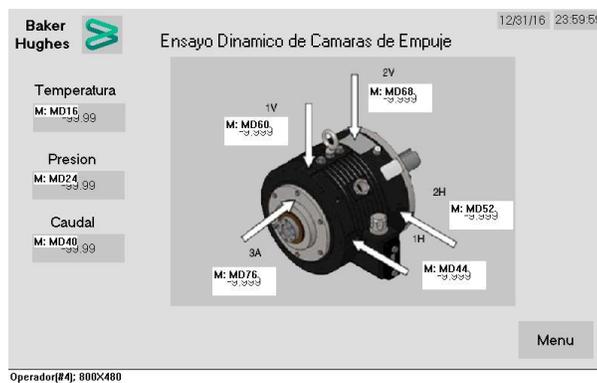


Figura 27. Pantalla del proceso

Pantalla de Tendencias: muestra las variables relevantes de las pruebas.

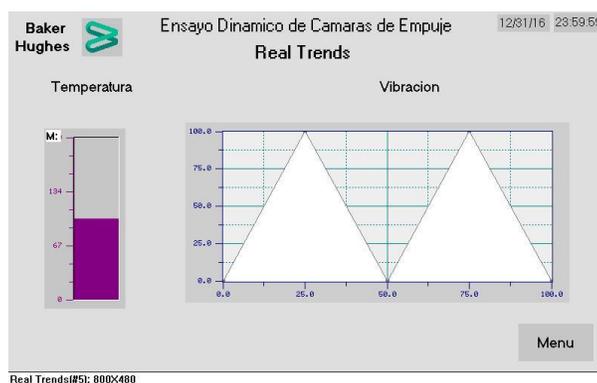


Figura 28. Pantalla de tendencias

Pantalla de alarmas: muestra el histórico de variables, cuando las variables salen de los rangos de control.

Date	Time	Block ID	Level ID	Status	Message
31/12/16	23:59	99	1	AAAAAA	AAA A...
31/12/16	23:59	99	2	AAAAAA	AAA A...
31/12/16	23:59	99	3	AAAAAA	AAA A...
31/12/16	23:59	99	4	AAAAAA	AAA A...

Figura 29. Histórico de alarmas

Distribución de pantallas: en la Figura 30 se observa la distribución de los elementos como hora fecha, logo, título, etc. dentro de la pantalla. La ubicación del mímico y los valores visibles de las variables de la prueba. Se ha considerado el movimiento de los ojos de arriba abajo y de izquierda a derecha. Los botones de navegación se mantienen en la parte inferior de la pantalla, con orientación horizontal.

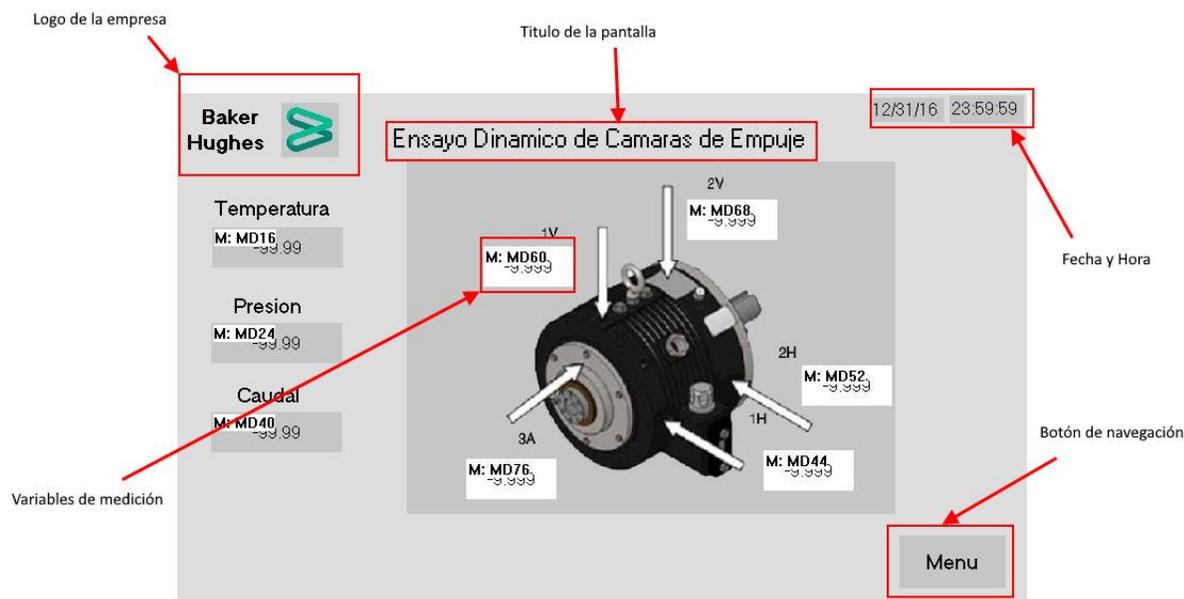


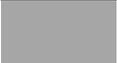
Figura 30. Distribución de la pantalla de Proceso

Navegación: la navegación se hace mediante botones y menú. La navegación es unidireccional en las dos primeras pantallas y bidireccional desde el menú adicional se puede retornar a la pantalla principal. No existe pantalla de control de acceso debido a que todo el personal debe ser capaz de utilizar en cualquier momento la prueba.

Uso de color: se selecciona los siguientes colores. Se escoge estos colores de acuerdo a los requerimientos del cliente de sencillez en las pantallas, véase Tabla 35.

Tabla 35

Uso del color dentro de las pantallas HMI

Item	Color	Descripción	Rojo/Verde/Azul
Fondos de pantalla		Gris Plata	238/238/238
Selección de botones de menu		Verde Oscuro	64/128/128
Menus y botones		Gris	166/166/166

Información textual: se utiliza la fuente Sans Serif para los títulos, subtítulos y texto normal. Esto se configura en el software dentro de la opción *Global>Font*, véase Figura 31. El tamaño es mayor de 8 puntos. No se utiliza letras mayúsculas en todas las letras sino que se usa tipo oración. El color del texto es negro haciendo contraste con los grises de fondo.

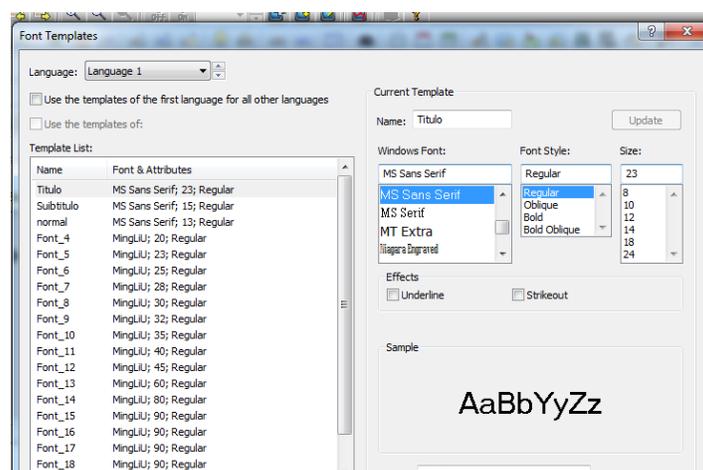


Figura 31. Selección del tipo de fuente para HMI, software WebAccesHMI

4.6. Presupuesto final

En la Tabla 36 se detalla los equipos comprados y sus costos, además de los equipos en stock con el valor de cero, los equipos en stock se detallan en el capítulo 3, sección 3.5. Se obtiene un costo final de \$1,916.85 USD para la implementación del sistema.

Tabla 36

Presupuesto final del proyecto

Equipos solicitados	Cantidad	Costo	Total
Industrial Ethernet Switch	1	213,3	213,3
CPU 1214C AC/DC/Rly en stock	1	0	0
Fuente de poder	1	273,6	273,6
HMI	1	512,8	512,8
Módulo de entradas analógicas de 8EA	1	483,71	483,71
Módulo acondicionador de temperatura	1	0	0
transmisor de presión	1	0	0
Transmisor de caudal	1	0	0
Sensor de vibración	1	0	0

Continúa

Computadora repotenciada	1	0	0
Gabinete 80/60/25 cm	1	156,53	156,53
Canaleta ranurada 80x60	2	17,02	34,04
Riel din	2	2,5	5
Cable thhn flex #12 AWG colores	25	0,58	14,5
Cable thhn flex #14 AWG colores	25	0,38	9,5
Cable thhn flex #18 AWG colores	50	0,21	10,5
Bornera leg riel 2,5 mm 20 A 12 AWG	30	1,51	45,3
Breaker 1p 6AMP P/riel	1	7,25	7,25
PT100C /resorte	1	62,3	62,3
Pulsador metalico verde	1	12,31	12,31
Pulsador de emergencia	1	21,01	21,01
Luz piloto amarilla, verde, roja	3	15,5	46,5
Bornera tierra	5	1,74	8,7
		TOTAL	1916,85

CAPÍTULO V. IMPLEMENTACIÓN

5.1. Acondicionamiento de sensores.

El sensor de temperatura es el único que necesita acondicionamiento, se utiliza para ello un módulo WV418. Este tiene varias funciones como se muestra en la Figura 32. Además de ello se encuentra subrayado en amarillo la configuración utilizada en este proyecto.

SWITCH SETTINGS

FUNCTION	SW1							FUNCTION	SW2						
	1	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4	5	6	7
INPUT RANGE PT100								RTD TYPE							
-200 to 600 C								PT100							
-200 to 260 C								CU10							
-200 to -100 C								OUTPUT REVERSE							
-50 to 100 C								REMOTE CAL.							
-18 to 300 C								OUTPUT RANGE							
INPUT RANGE Cu10								0 - 10 V							
-200 to 260 C								0 - 20 mA							
-200 to 100 C								4 - 20 mA							
-200 to -100 C															
-50 to 100 C															
-18 to 260 C															
RTD CONFIG. 4 WIRE															
3 WIRE															
2 WIRE															
RTD ALPHA (α) PT 0.00385															
PT 0.00392															

KEY: ■ = ON = Closed

Figura 32. Configuración de los interruptores del acondicionador de temperatura

Fuente: (*Instruments, 2003*)

Para tener acceso a los interruptores de configuración se presiona las lengüetas de la carcasa simultáneamente hacia abajo, estas se ubican en la parte superior e inferior de la tapa frontal de la

carcasa. Para cerrar la caja se desliza dentro de la carcasa hasta que las pestañas emitan un sonido de clic.

5.2. Configuración del HMI con PLC

Para la configuración de la pantalla HMI se realizan algunas configuraciones adicionales tanto en la pantalla como en el programa TIA Portal. A continuación, se detalla las direcciones IP utilizadas dentro de la red: PLC: 192.168.0.1, HMI: 192.168.0.33

Dentro del software *WebOP Designer General* se configura el tipo de enlace que se va a realizar, véase la Figura 33 y Figura 34.

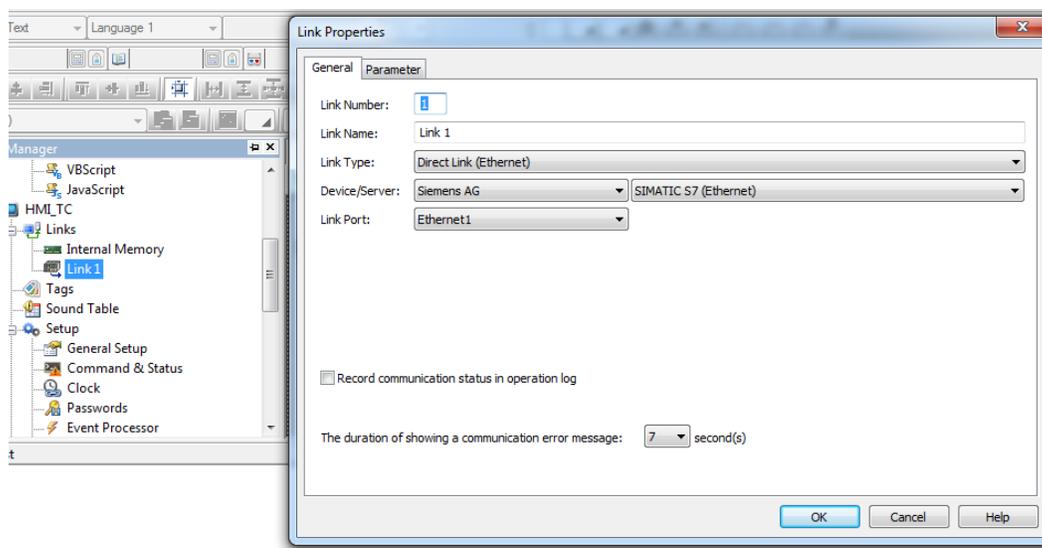


Figura 33. Propiedades generales del enlace de comunicación en WebOP Designer

En este link se coloca el tipo de conexión, también se selecciona el tipo y la marca de PLC y el protocolo de comunicación, en este caso ethernet.

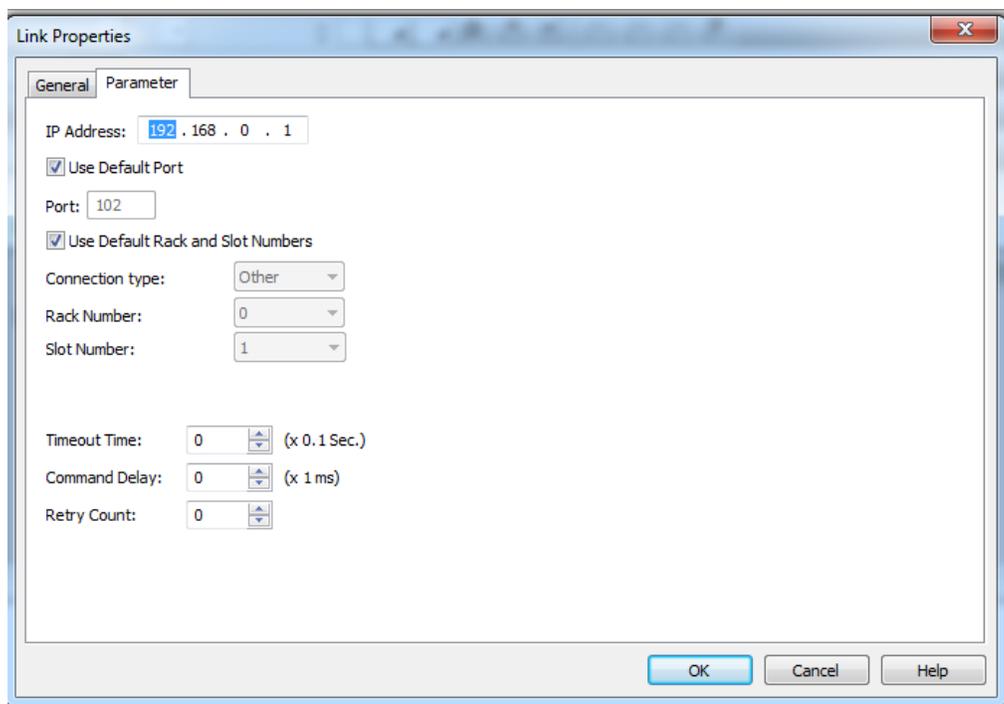


Figura 34. Parametros de comunicación en WebOP Designer

En la configuración de parámetros se coloca la dirección IP del PLC y el puerto con el cual se comunica con el PLC. En el dispositivo 3070T WebOP también se realiza la configuración de estos parámetros, véase la Figura 35.

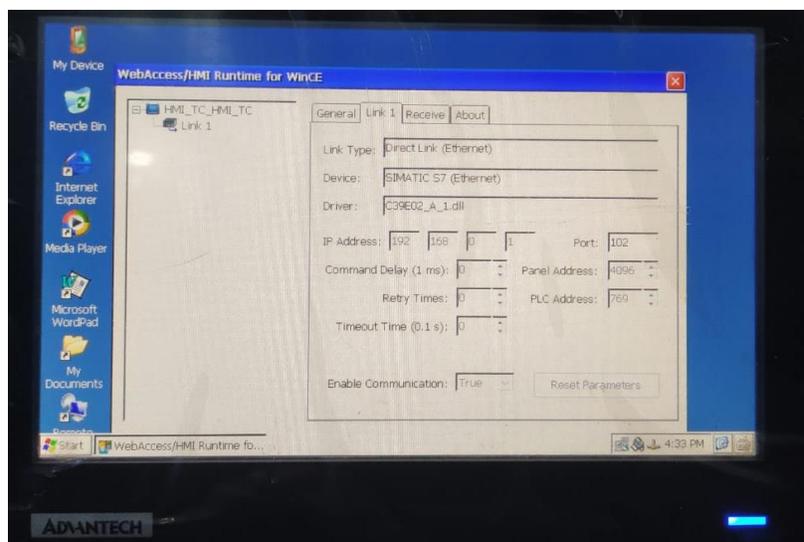


Figura 35. Configuración de la pantalla HMI

Para conocer el puerto o los puertos que están abiertos en la dirección del PLC se utiliza el software *Zenmap*.

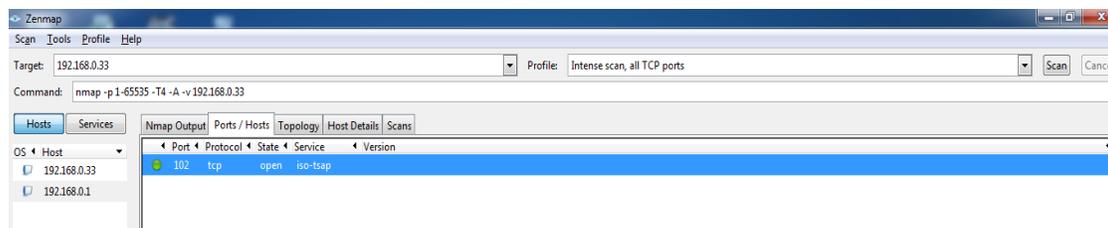


Figura 36. Puertos abiertos dentro de la dirección IP PLC

Solo existe un puerto abierto en la dirección IP 192.168.0.1 y es el puerto 102. Para verificar los puertos abiertos de la pantalla y lograr la comunicación se busca los puertos de la dirección IP 192.168.0.33 correspondiente al HMI, véase la Figura 37.

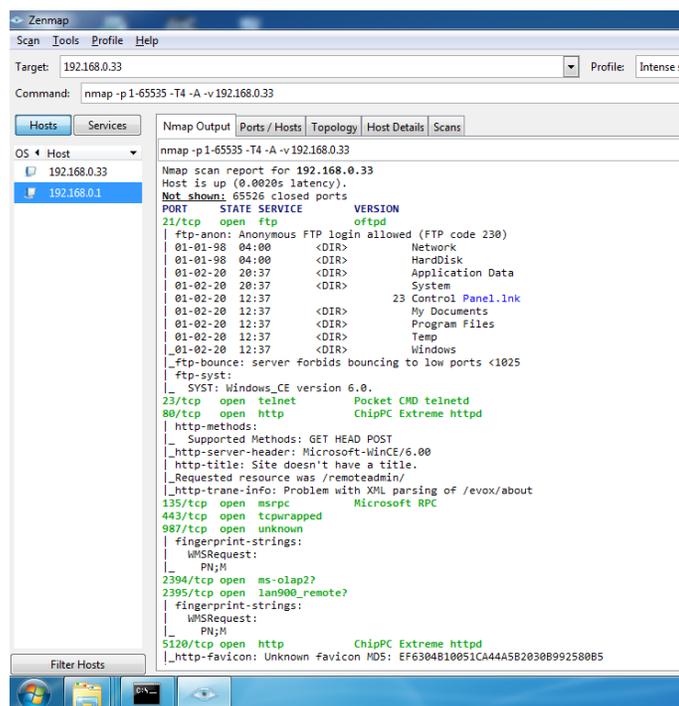


Figura 37. Puertos abiertos en la dirección IP 192.168.0.33

Con respecto al PLC se configuran dos puntos. Se hace clic derecho sobre la carpeta del PLC, se hace clic en propiedades si se verifica protección y seguridad y el permiso de *put and get*, estas configuraciones se las observa en la Figura 38, Figura 39 y Figura 40.

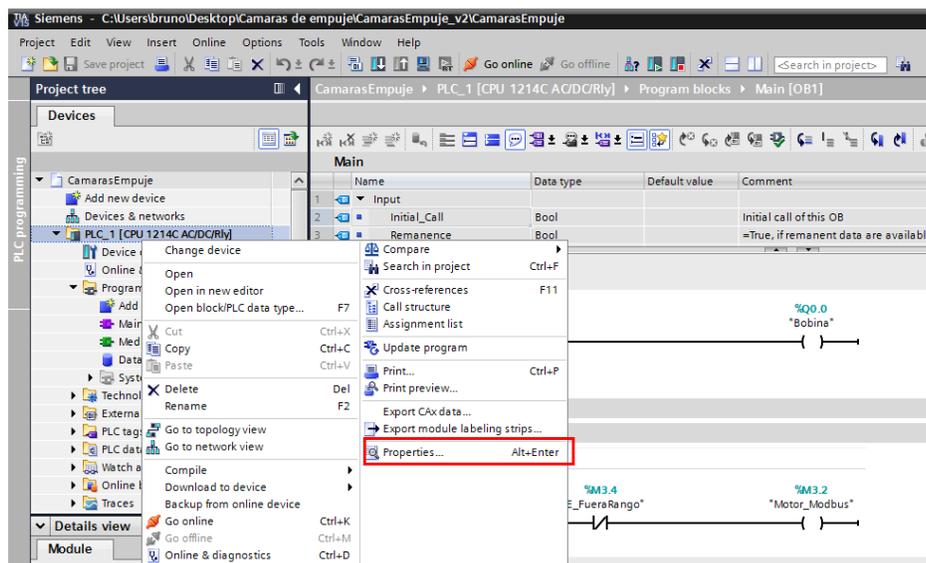


Figura 38. Configuración TIA Portal.

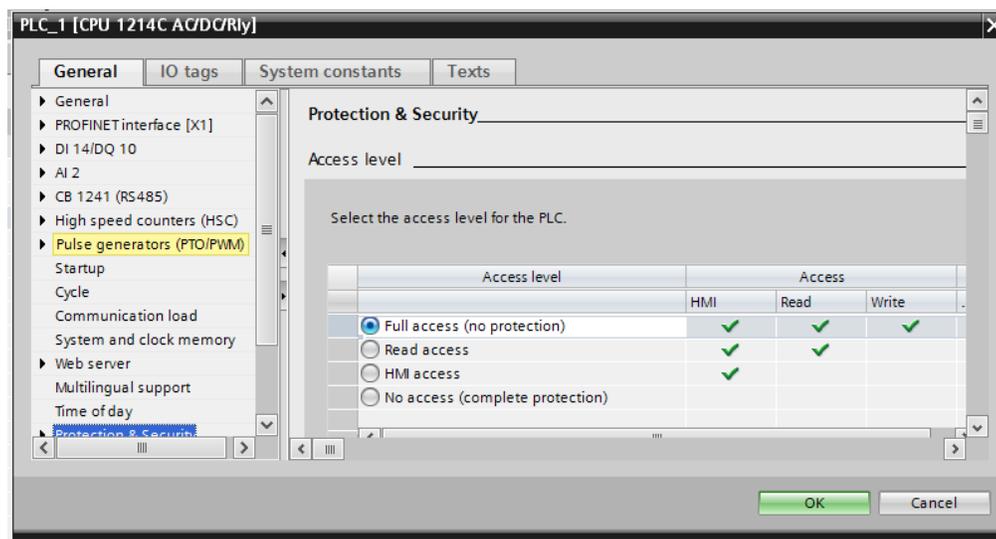


Figura 39. Configuración de protección y seguridad

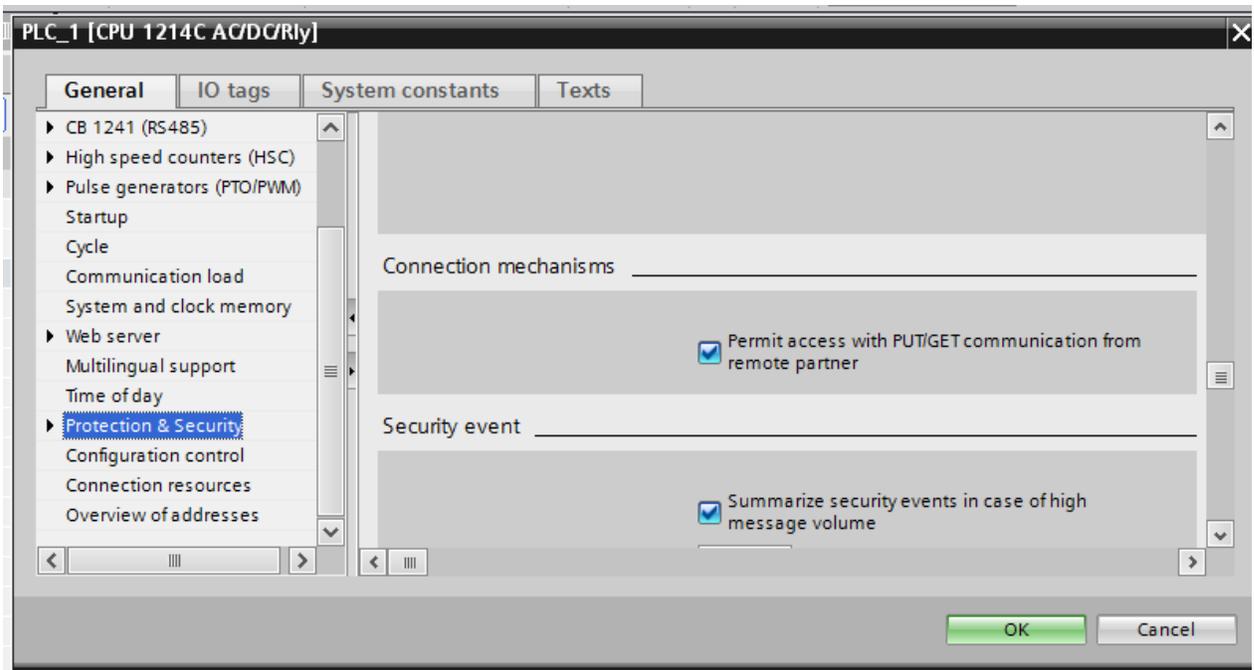


Figura 40. Activación del mecanismo de conexión

5.3. Configuración del sistema SCADA

Después de realizar la instalación se observan las diferentes aplicaciones que se pueden utilizar.

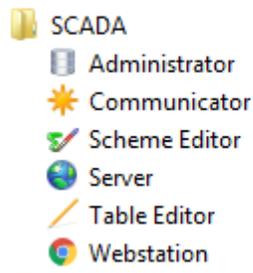


Figura 41. Aplicaciones dentro del software *Rapid Scada*

Para la configuración del sistema SCADA se necesita tener la computadora dentro de la misma red por lo que la IP fija que se coloca es 192.168.0.29, para la configuración del sistema SCADA se debe realizar la primera ejecución para comprobar que todos los parámetros estén correctamente instalados y comunicados con la simulación de demostración que proporciona *Rapid Scada*. En la Figura 42 se puede ver establecida la comunicación con la ejecución con el demo.

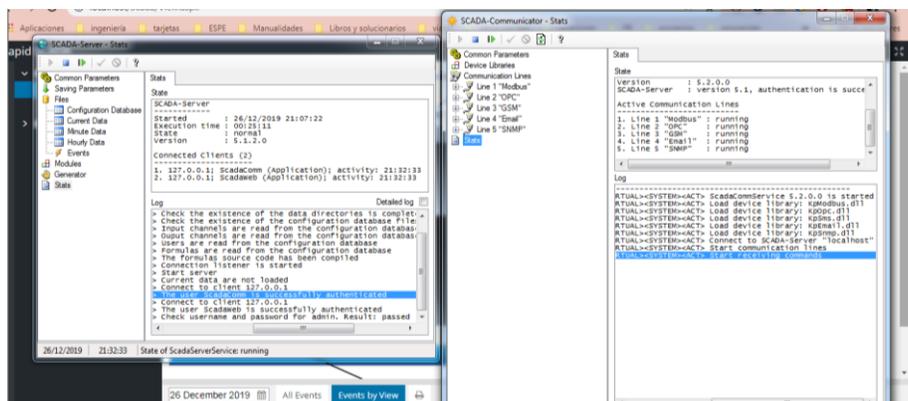


Figura 42. Rapid SCADA estado de server y comunicator

Configuración de la línea de comunicación

Para realizar la comunicación propia se abre la aplicación Administrator, se crea una línea de comunicación con el número 12 y nombre OPC_BH, véase Figura 43.

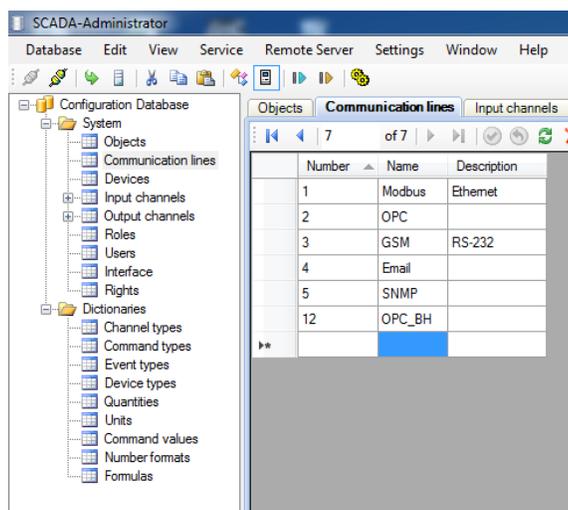


Figura 43. Línea de comunicación aplicación administrador de Rapid Scada

Configuración del dispositivo y reinicio del servidor

Se crea un dispositivo y se lo enlaza con la línea de comunicación OPC_BH, véase Figura 44. Con esta línea se crea el enlace entre el dispositivo externo (PLC) y el sistema SCADA.

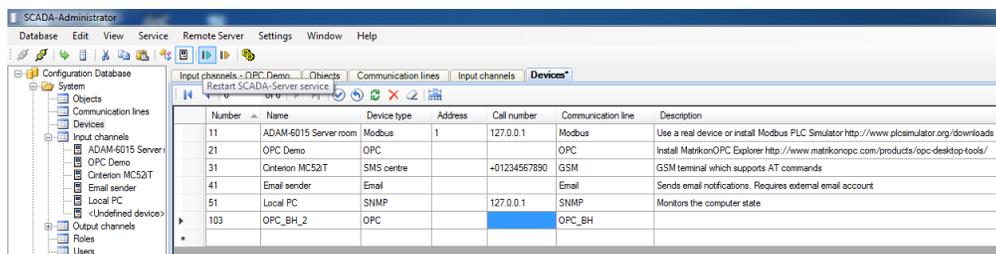


Figura 44. Configuración de dispositivo Rapid SCADA

Importar línea de comunicación

En la aplicación Communicator se importa la línea de comunicación creada, véase Figura 45.

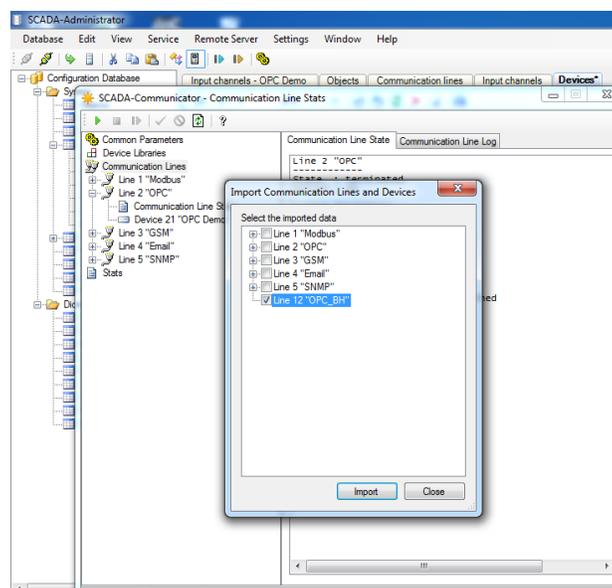


Figura 45. Importación de línea de comunicación

El OPC utilizado es Kepserver v6, para establecer la comunicación con los canales del administrador de Rapid Scada, véase la conexión en la Figura 46.

Item ID	Data Type	Value	Timestamp	Quality	Update Cour
Channel1.Device1._Rack	Byte	0	20:05:53.627	Good	1
Channel1.Device1._Slot	Byte	1	20:05:53.627	Good	1
Channel1.Device1.F_ajustada	Float	6,5	20:06:04.765	Good	3
Channel1.Device1.P1_ajustada	Float	490	20:06:10.865	Good	13
Channel1.Device1.T_ajustada	Float	23.6955	20:06:10.865	Good	18

Figura 46. Comunicación de valores de medición PLC y Kepserver.

Se realiza la comunicación en la Figura 47 y Figura 48 con la aplicación SCADA-Communicator, obteniendo los mismos valores del OPC.

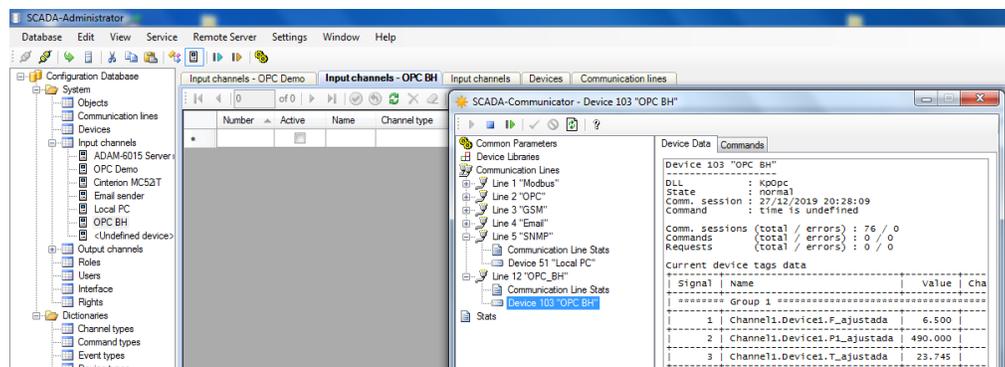


Figura 47. SCADA Communicator establecida la comunicación con OPC_BH

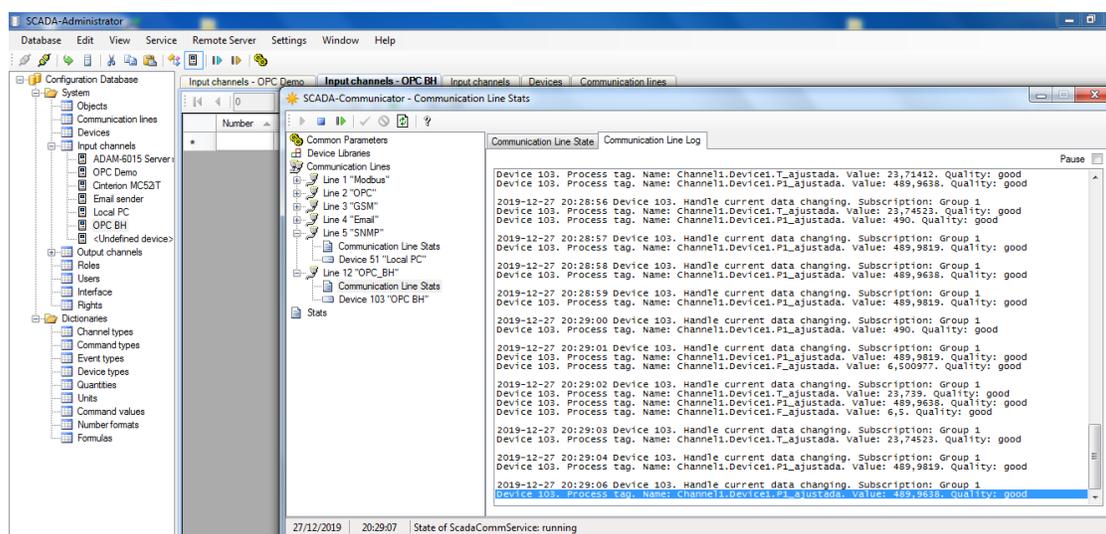


Figura 48. Communicator line log del SCADA Communicator

Para que estos valores puedan ser visibles dentro del WebServer se deben crear canales de comunicación. Para crear canales de comunicación se realiza lo siguiente *Service > Create Channels* se define el número de inicio de los canales, en este proyecto se utiliza como número de inicio el valor 2001, se da clic en crear, la pantalla de configuración se muestra en la Figura 49.

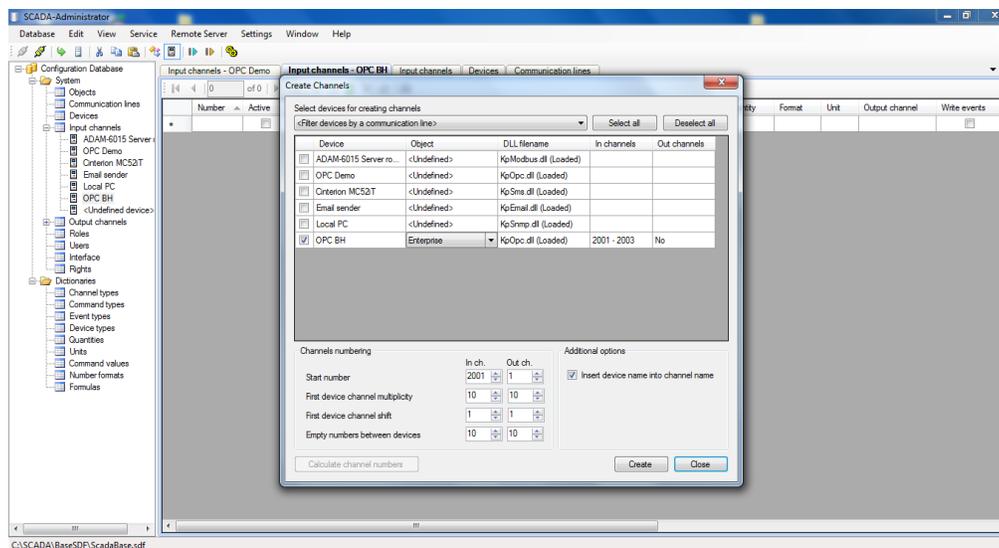


Figura 49. Creación de canales en Rapid Scada

En la Figura 50 se observa la configuración de los canales creados, para su acceso desde el Webserver, además que se configuran en la interface diseñada en *Scheme Editor*.

Number	Active	Name	Channel type	Object	Device	Signal	Formula used	Formula	Averaging	Quantity	Format	Unit	Output
2001	<input checked="" type="checkbox"/>	OPC BH - Channel1.Device1.F_ajustada	Real	Enterprise	OPC BH	1			<input type="checkbox"/>		D.DDD		
2002	<input checked="" type="checkbox"/>	OPC BH - Channel1.Device1.P1_ajustada	Real	Enterprise	OPC BH	2			<input type="checkbox"/>		D.DDD		
2003	<input checked="" type="checkbox"/>	OPC BH - Channel1.Device1.T_ajustada	Real	Enterprise	OPC BH	3			<input type="checkbox"/>		D.DDD		

Figura 50. Canales de comunicación en Administrator

Para la creación de la tabla se abre la aplicación SCADA - Table Editor y se añade cada canal con el signo más.

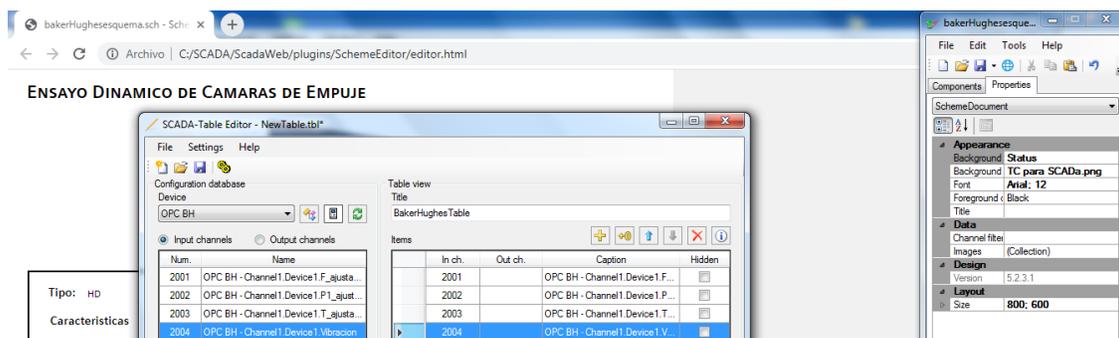
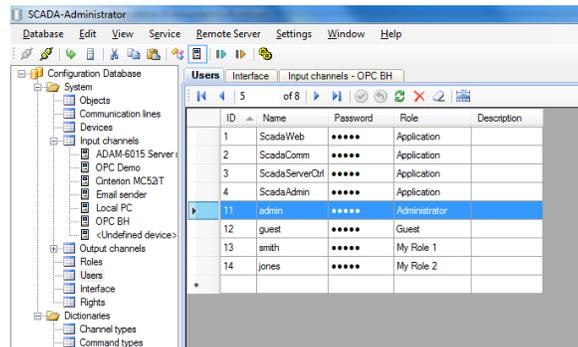


Figura 51. Creación de canales para la tabla en el webserver

En el servidor web se realiza el control de acceso y se añade nuevos usuarios.



CAPÍTULO VI. PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1. Pruebas de funcionamiento y comunicación

Para verificar el funcionamiento de los dispositivos la empresa manda a certificar cada uno de los transmisores y sensores adquiridos. También se realizaron pruebas en el tablero verificando los niveles de tensión. Cada uno de los sensores se conecta de acuerdo a los planos proporcionados en el anexo G1.

Las pruebas de comunicación consisten en establecer comunicación tanto en el HMI como en el sistema SCADA con los valores correspondientes a la medición de las variables. En la Figura 52 se muestran las señales con calidad “good” que significa que se han enlazado correctamente. Además de los valores de las variables mostrando los canales creados en Rapid Scada.

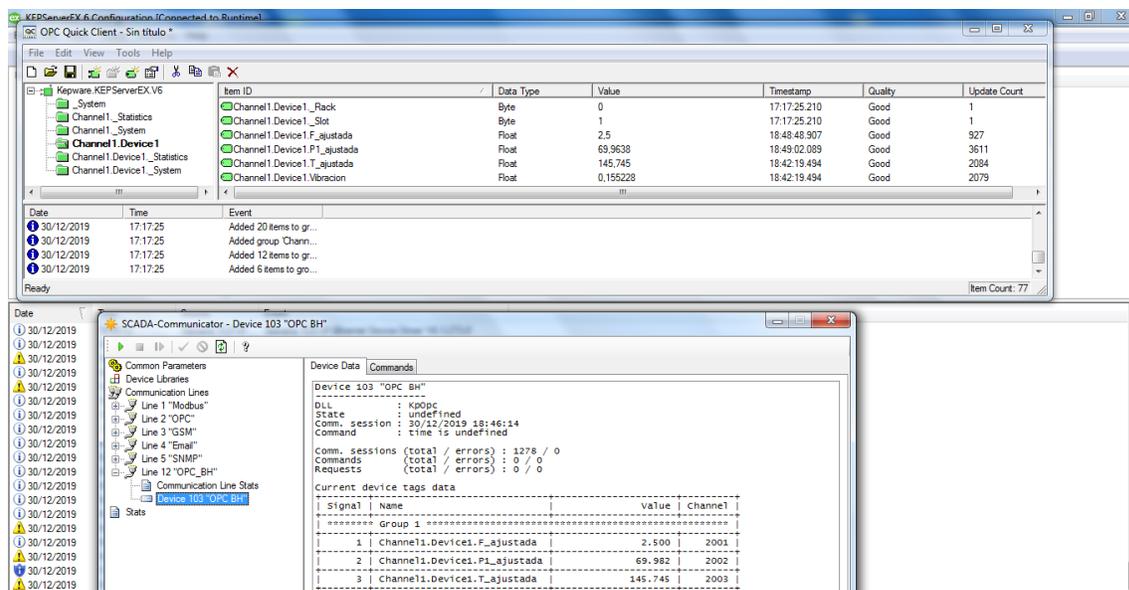


Figura 52. Prueba de comunicación del SCADA

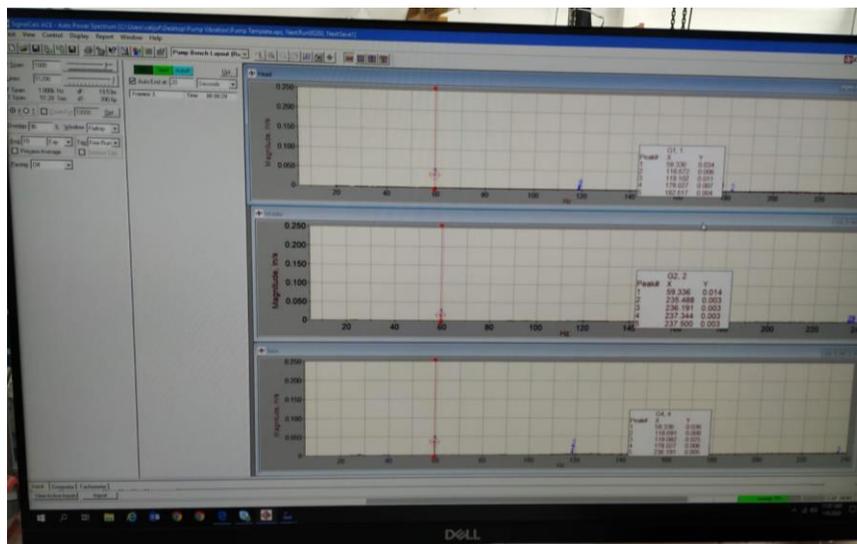
En la Figura 53 se muestra a uno de los operarios utilizando la pantalla corroborando la comunicación entre PLC y HMI, cabe recalcar que, si no existe el enlace entre la pantalla y el PLC

no se permite cargar las interfaces, por ello se realiza la configuración de puertos dentro del hardware HMI.

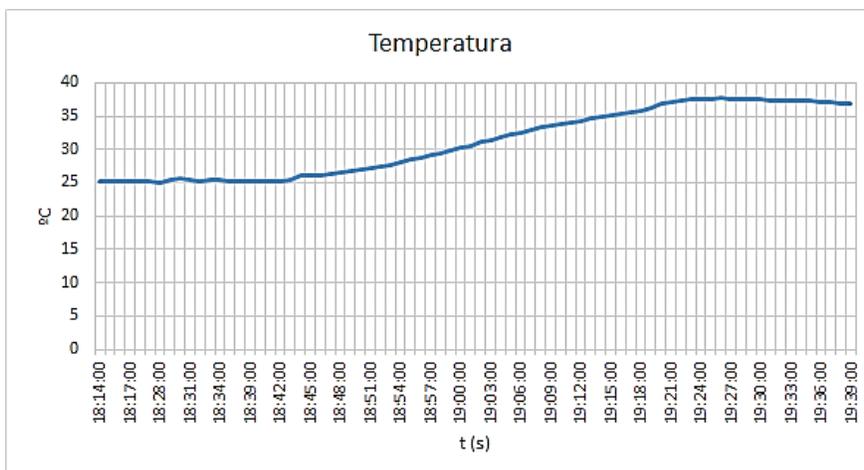


Figura 53. Prueba de comunicación HMI

En cuanto a los valores de vibración véase la Figura 54, donde se muestran las gráficas y los valores de vibración la prueba de cámara de empuje con valores dentro de los límites y grafica de temperatura según la hora.



a)



b)

Figura 54. Curvas de vibración (*SignalCalcACE*) b) curva de temperatura (*Rapid Scada*)

6.2. Resultados y análisis de las pruebas

Como resultado se puede descargar el reporte desde el web server del SCADA, véase Figura 55 que muestra las variables más relevantes del sistema de acuerdo a su canal de comunicación. Desplegando el valor, la hora, y la fecha.

BakerHughesTable, 30/12/2019				
Generated: 30/12/2019 18:36:34				
Input channels:				
2001	OPC BH - Channel1.Device1.F_ajustada			
2002	OPC BH - Channel1.Device1.P1_ajustada			
2003	OPC BH - Channel1.Device1.T_ajustada			
2004	OPC BH - Channel1.Device1.Vibracion			
Time	Channel 2001	Channel 2002	Channel 2003	Channel 2004
16:56:00	2,5	70	145,745	---
16:57:00	2,5	69,982	145,745	---
16:58:00	2,5	69,982	145,745	---
16:59:00	2,5	69,982	145,745	---
17:00:00	2,5	70	145,745	---
17:01:00	2,5	70	145,745	---
17:02:00	2,5	70	145,745	---
17:03:00	2,5	69,982	145,745	---
17:04:00	2,5	70	145,745	---
17:05:00	2,5	70	145,745	---
17:06:00	2,5	69,964	145,745	---
17:07:00	2,5	70	145,745	---
17:08:00	2,5	70	145,745	---
17:09:00	2,5	69,982	145,745	---
17:10:00	2,5	69,982	145,745	---
17:11:00	2,5	69,964	145,745	---
17:12:00	2,5	70	145,745	---
17:13:00	2,5	69,982	145,745	---
17:14:00	2,5	69,982	145,745	---
17:15:00	2,5	70	145,745	---
17:16:00	2,5	70	145,745	---

Figura 55. Reporte generado desde Rapid Scada

También es posible observar los valores dentro de la interface al igual que en la tabla creada. Observe la Figura 56 y Figura 57 donde se muestra la comunicación al ingresa al web server local

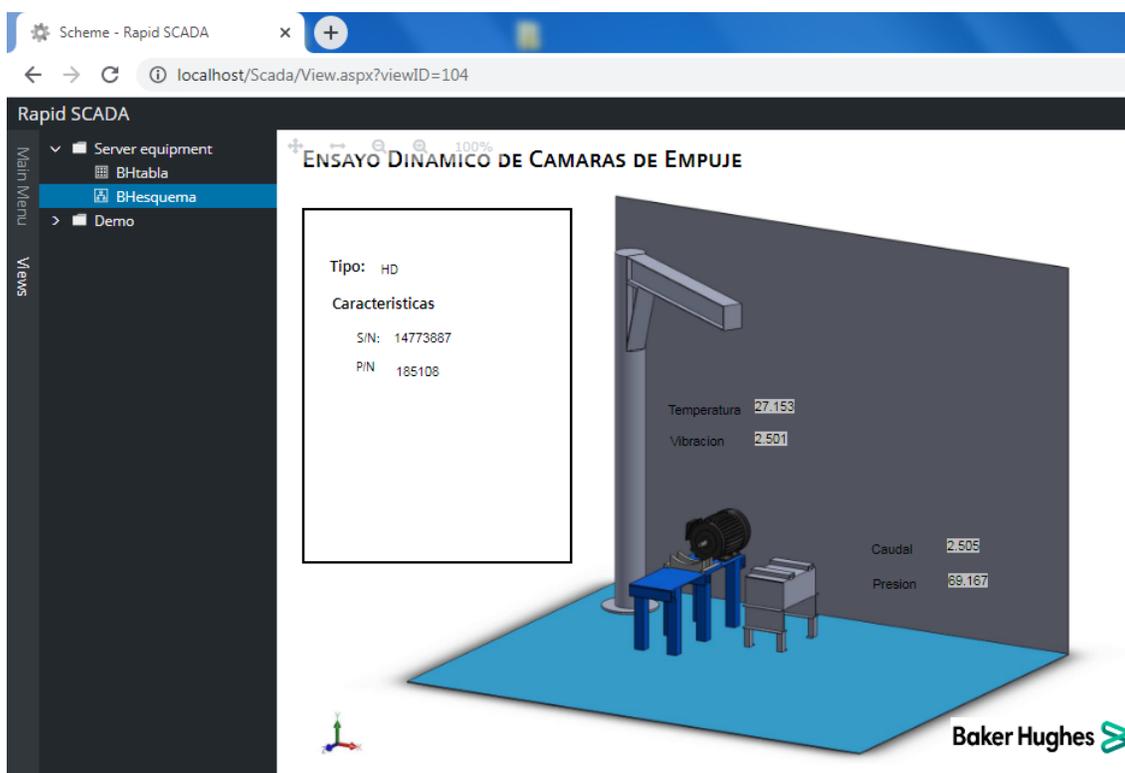


Figura 56. Interface de Usuario en Webserver Rapid Scada

The screenshot shows the Rapid SCADA web interface with a table of variables. The browser address bar indicates the URL is localhost/Scada/View.aspx. The interface title is 'BakerHughesTable - Rapid SCADA'. The sidebar shows a tree view with 'Server equipment', 'BHtabla', 'BHesquema', and 'Demo'. The main content area displays a table with the following data:

Item	Current	0
OPC BH - Channel1.Device1.F_ajustada	2.505	
OPC BH - Channel1.Device1.P1_ajustada	69.167	
OPC BH - Channel1.Device1.T_ajustada	27.258	
OPC BH - Channel1.Device1.Vibracion		

The table is displayed on a date of 03 January 2020, with a time range from 00:00 to 23:00.

Figura 57. Tabla de variables en Rapid Scada

6.3. Evaluación de tiempo de inicio y finalización de la prueba.

Para esta evaluación se toma como referencia los tiempos promedio de 6 meses anteriores de inicio y finalización de la prueba. Este archivo es proporcionado por la empresa Baker Hughes. El tiempo de la prueba como tal es de 1 hora bajo el procedimiento M5013, por tanto, el tiempo de registro de datos no puede ser disminuido; sin embargo, el tiempo en que el operario realiza el informe a mano se reduce de manera significativa con la opción descargar reporte.

El valor promedio del llenado de reportes es de 0.6 horas de acuerdo al archivo: *Macro de Reporte de Armado de Cámaras de Empuje*. Que es un archivo en el que se colocan los tiempos cada paso desde el ensamble hasta la prueba de cámaras de empuje.

Los nuevos reportes se generan de manera inmediata y se puede configurar el tiempo de prueba, este proceso tarda en promedio de 3 minutos (0.05 horas), agilizando el proceso de llenado de reportes. Sumando el tiempo de prueba los resultados son los siguientes:

$$\text{tiempo anterior} = 1.6 \text{ h}$$

$$\text{tiempo actual} = 1.05 \text{ h}$$

$$1.6 \text{ h} - 1.05 \text{ h} = 0.55 \text{ h}$$

0.55h es el tiempo de ahorro con la automatización y corresponde al 34.37% de tiempo anterior de prueba.

6.4. Estimación de ahorro con la automatización

Para la estimación del ahorro se cuenta con los valores del cuánto cuesta realizar la prueba de calidad. A continuación, se muestran las variables que se tomaron en cuenta.

- Alquiler de equipos (acelerómetros) por mes: \$1300 (\$ 43 por día)
- Dos operarios por mes: \$2600 (\$ 87 por día)
- 5 galones de aceite por mes: \$480 (\$16 por día)

Con estas tres variables se obtiene un valor por día de \$146, con la automatización se elimina el alquiler de dispositivos y se requiere solo un operario. Por tanto, el nuevo valor es de \$60 por día. Teniendo una estimación por día del 41%, véase de manera gráfica en la Figura 58.

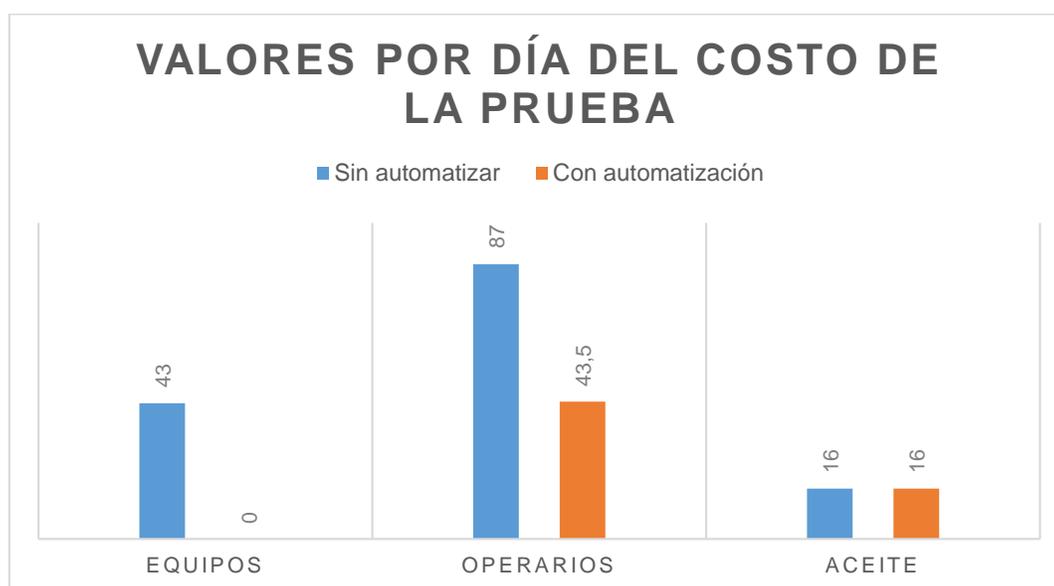


Figura 58. Ahorro en base a las tres variables seleccionadas

6.5. Trabajos Futuros

Esta automatización en las pruebas de calidad de las cámaras de empuje es un prototipo funcional que se mostrará como parte de los aportes de Baker Hughes Ecuador para la estandarización del banco de pruebas. En cuanto a las mejoras que se puede realizar en el proyecto se sugiere que el sistema Scada tenga dentro de sí una descripción de cada equipo, además del almacenamiento de todos los reportes generados, para poder realizar la búsqueda por fecha y PN.

La integración de otras pruebas en el sistema Scada es otro a de las sugerencias para los trabajos futuros. De igual forma se sugiere una casilla donde el operario pueda realizar comentarios de la prueba.

CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

Con el ensayo manual de las cámaras de empuje se dependía del reporte de vibración brindado por la empresa INGELEC, que prestaba el este servicio de medición. Se realizó pruebas de vibración con los sensores de repuestos del banco de prueba de bombas y se obtuvo resultados dentro del rango de control, prescindiendo de los servicios del proveedor.

Con la implementación y pruebas realizadas se reduce de \$1,300 USD a cero los costos del alquiler de los equipos de medición, ahorrando \$15,600 USD al año. También se ha disminuido el personal a un operario dentro de la prueba, mientras que el segundo operario puede realizar otra actividad dentro de la planta Baker Hughes.

Con la automatización del ensayo dinámico de las cámaras de empuje se ha proporcionado seguridad a la empresa y a los empleados, reduciendo el peligro de accidentes dentro del espacio de trabajo, ubicado en la zona uno según el plano de vista de planta que se encuentra en el anexo G4.

Se reduce el tiempo de prueba en un 34.37%, correspondiente al tiempo de llenado del reporte de prueba, tomando en cuenta que el estado anterior de trabajo era entre dos operarios para los procesos de montaje y lubricación de las cámaras, la toma de datos cada 15 min y el llenado de reportes. El tiempo que llevaba realizar todas estas actividades era de 1.06 h siempre y cuando el reporte de vibración se entregase el mismo día.

La ventaja de automatizar las mediciones de las variables de la prueba (temperatura, vibración, caudal y presión) hacen posible conocer en tiempo real las variables de medición de la cámara de empuje, a través del sistema SCADA, diseñado para el monitoreo de los valores obtenidos.

Con la utilización de softwares libres y gratuitos como: Rapid Scada, donde se crea la interfaz para el monitoreo de variables; Zenmap, utilizado para conocer los puertos dentro de una IP; xml, software para el desarrollo de reportes, se economiza el costo de las licencias por uso y diseño.

El tipo de red es local para mantener la seguridad de sus datos y evitar el acceso de terceros. La topología de red utilizada es de tipo estrella, la cual permite agregar nuevos equipos de formas sencilla, también facilita solucionar fallas sin afectar a los demás dispositivos conectados.

Para la medición de las variables (temperatura, vibración, caudal y presión) se reemplazó todos los sensores análogos por transductores de salida de 4-20 mA lineales, con la finalidad de mejorar el control de la activación de la bomba que lubrica los cojinetes de las cámaras de empuje.

Con la implementación del sistema, Baker Hughes pretende estandarizar esta prueba con la finalidad de garantizar la seguridad de sus operarios y la calidad de su servicio, siendo esta la única a nivel nacional que posee el proceso y maquinaria para realizar este ensayo.

7.2. Recomendaciones

La automatización se puede mejorar con la integración de electroválvulas, una tarjeta de comunicación para el motor inversor, con sensores análogos de velocidad, que harían posible la independencia del sistema de pruebas de cámaras de empuje.

BIBLIOGRAFÍA

- Asociados, M. &. (Julio de 2006). *Criterios Básicos para la Selección de Sensores de Temperatura*.
Obtenido de Metas: <http://www.metas.com.mx/guiametras/La-Guia-MetAs-06-07-seleccion-termometros.pdf>
- Automatización Industrial (Neumática, Hidráulica, MicroControladores y Automatas)*. (15 de Junio de 2011). Obtenido de Depositos Hidráulicos: <http://industrial-automatizada.blogspot.com/2011/06/deposito-hidraulicos.html>
- Baker Hughes. (2008). *Propuesta técnica Yac Barranca Balla - Cañadon de La Escondida bloque 30*.
- Baker Hughes. (2013). *Exposición Baker HPump , Institucional*.
- Banco Central del Ecuador. (Octubre-Diciembre de 2018). *Reporte del Sector Petrolero*. Obtenido de Banco Central del Ecuador: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ASP201812.pdf>
- Cáceres, L. E. (febrero de 2008). *Aplicaciones de sellos mecánicos en bombas de la industria petrolera ecuatoriana*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/987>
- Centrilift, B. H. (2008). *Hpump Horizontal Surface Pumping System Installation, Operation and Maintenance Manual*. Baker Hughes Centrilift, 144.
- Creus Solé, A. (2011). *Instrumentación industrial*. Barcelona, Marcombo.
- Fuenmayor, L. E. (s.f.). *Diseño de un Banco de prueba estático para prueba neumática de sellos mecánicos*.
- Instruments, A. (2003). *Manual WV418*. San Diego.
- Jorge, H. (2016). *"Diseño de un banco de pruebas para bombas sumergibles de turbina*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/93797/D-CD88302.pdf>
- José, J. A. (29 de abril de 2016). *Diseño e implementación de un HMI para el monitoreo, almacenamiento y validación de datos en el sistema de pruebas de sellos de motores de*

bombas electro sumergibles de la planta Artificial Lift de la Empresa Baker Hughes Ecuador. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15236>

José, T. (s.f.). *NTP 434: Superficies de trabajo seguras (I)*. Ministerio de trabajo y asuntos sociales España.

Lent, B. (1 de Marzo de 2009). *Simple Steps to Selecting the Right Accelerometer*. Obtenido de <https://www.sensormag.com/components/simple-steps-to-selecting-right-accelerometer>

Luis, A. C. (2008). *Aplicaciones de sellos mecanicos en bombas de la industria petrolera ecuatoriana*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/987>

Matrikon. (2005). *OPC UA*. Obtenido de <https://www.matrikonopc.es/opc-ua/index.aspx>

Metha, B., & Reddy, Y. (2015). *Industrial process automation systems: Design and implementation*. Waltham: Elsevier.

Moncayo Ortega, J. S. (2015). *Análisis Tecno - Económico para los sistemas de bombeo electrosumergible e hidráulico de los pozos de la Estación Shushuqui del Área Libertador*. Obtenido de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/4956>

NEC. (2017). *Código Eléctrico Nacional*.

Patricio, M. V. (21 de agosto de 2018). *Análisis de la matriz energética ecuatoriana*. Obtenido de <https://www.gestiopolis.com/analisis-de-la-matriz-energetica-ecuadoriana/>

Pazmiño, R. (2013). *Plan de mantenimiento del circuito de lubricación en bombas horizontales utilizadas en el proceso de recuperación de crudo del campo CEPHY - 18 SW - 2A*. Obtenido de http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/6073/1/52442_1.pdf

Penin, A. R. (2007). *Sistemas SCADA*. Barcelona, España: Marcombo, ediciones técnicas.

Ponsa, P., & Granollers, A. (2005). *Diseño de pantalla*. MIPO.

Research, G. I. (Febrero de 2019). *Reportsnreports*. Obtenido de Global HPS (Horizontal Surface Pumps) Market 2019 by Manufacturers, Regions, Type and Application, Forecast to 2024: <https://www.reportsnreports.com/reports/1970991-global-hps-horizontal-surface-pumps-market-2019-by-manufacturers-regions-type-and-application-forecast-to-2024.html>

Rodríguez Penin, A. (2007). *Sistemas SCADA*. Barcelona: Marcombo.

Rodríguez, A. (2007). *Sistemas SCADA*. Barcelona, España: Marcombo, ediciones técnicas .

Sánchez, R. (2010). *Diseño de la automatización de los sistemas de medición estática y dinámica de combustible en el proceso de generación de una central termoeléctrica*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/279>

Villajulca, J. (12 de 12 de 2009). *Curso de Sistemas SCADA*. Obtenido de Determinando el intervalo del Scan en sistemas SCADA: <https://instrumentacionycontrol.net/determinando-el-intervalo-del-scan-en-sistemas-scada/>

Westinghouse, T. (s.f.). *Buy teco westinghouse*. Obtenido de https://buy.tecowestinghouse.com/EcommerceFiles/performance/PERF_EPV0402C.pdf

ANEXOS