



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
SUBCOMISIÓN DE TRABAJO DE GRADO
MATURÍN/MONAGAS/VENEZUELA**

**IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE VIBRACIONES
PARA LA SALA DE BOMBAS 1 DEL PATIO DE TANQUES TRAVIESO
(PTT) DE LA DIVISIÓN PUNTA DE MATA DE PETRÓLEOS DE
VENEZUELA**

Trabajo de Grado, Modalidad Pasantía, presentado como requisito parcial
para optar al título de Ingeniero de Sistema

**Br: Ambard Flores
C.I: 25 431 330**

**Asesor Académico: Dr. Cristhian Ronceros
C.I: 29 735 626**

**Asesor Laboral: Ing. Daniel Pernía
C.I: 12 777 730**

MATURÍN, NOVIEMBRE DE 2017



ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
SUB-COMISIÓN DE TRABAJO DE GRADO

ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

CTG-EICA-IS-2016

MODALIDAD: PASANTÍAS DE GRADO

ACTA N° 378

En Maturín, siendo las 10:00 am del día 27 de Noviembre del 2017 reunidos en la Sala "Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Campus Guaritos del Núcleo de Monagas de la Universidad de Oriente, los miembros del jurado profesores: HENRY REINOZA, JUDITH DEVIA CRISTHIAN RONCEROS (Asesor Académico). A fin de cumplir con el requisito parcial exigido por el Reglamento de Trabajo de Grado vigente para obtener el Título de Ingeniero de Sistemas, se procedió a la presentación del Trabajo de Grado, titulado: **IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE VIBRACIONES PARA LA SALA DE BOMBAS 1 DEL PATIO DE TANQUES TRAVIESO (PTT) DE LA DIVISIÓN PUNTA DE MATA DE PETRÓLEOS DE VENEZUELA**

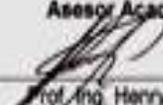
Por la Bachiller: **AMBARD DUBRASKA FLORES TABATA**, C.I: V- 25 431 330. El jurado, luego de la discusión del mismo acuerdan calificarlo como: **APROBADO CON MENCIÓN PUBLICACIÓN**.



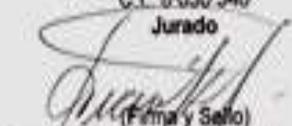
Prof. Dr. Christian Ronceros
C.I.: 29 735 626
Asesor Académico



Prof. Ing. Judith Devia
C.I.: 10 154 323
Jurado



Prof. Ing. Henry Reinoza
C.I.: 8 030 340
Jurado



(Firma y Sello)
Prof. Ldo. Frank Diaz
C.I.: 11 363 348
Sub-Comisión de Trabajo de Grado



(Firma y Sello)
Prof. Ing. Carlos Urdaneta
C.I.: 12 156 381
Jefe de Departamento

DEDICATORIA

A mi Dios todopoderoso por llenarme de fortaleza y paciencia para superar todos los obstáculos que se presentaron en este largo y arduo camino. Gracias infinitas Padre Amado por permitirme alcanzar este logro.

A la Virgencita María por cubrirme con su manto y ayudarme siempre, en especial en los momentos difíciles. Gracias por ayudarme a conseguir este logro tan importante.

A mi mamá **Carmen Tabata** por su apoyo incondicional y sus palabras de aliento. Por cada esfuerzos que hizo para ayudarme a cumplir esta meta. ¡Este logro es por ti! ¡Mami te amo con mi corazón, gracias eternas!

A mi papá **Alberto Flores** por darme la vida, por sus consejos y por confiar en mí.

A mi hermana **Kicsy Flores** mi compañera de aventuras y mi ejemplo a seguir, gracias manita por ayudarme tanto y sin medida. Somos el orgullo de nuestros padres. ¡Te amo!

A mis tías **Lauri Martínez** y **Jicsy Martinez** por su apoyo, protección y su amor infinito. Las quiero.

A mis amigos con los que comencé esta carrera y los que fueron anexando en el camino un millón de gracias.

A **Carlos Alfonso** mi gran apoyo en todo, gracias por creer en mí. Este triunfo también es para ti. ¡Dios te bendiga!

A **Lourdes Salazar**, con quien compartí tantos momentos gratos de estudio y diversión, gracias por siempre estar ahí y gracias también a tu familia, y a la **Sra. Carmen Salazar** que me adopto como una hija más, así me hizo sentir en su casa.

A mis amigos **Meivis Canchila, Joselyn Rivas, Andres Alfonso, Eduardo Hidalgo, Luis Planche**, tengo muy buenos recuerdos de nuestra época de estudiantes, aprendí mucho de ustedes, gracias por cada momento. Los quiero.

A toda mi familia y demás personas que me brindaron su apoyo y su sabiduría.

Gracias a todos
Ambard Dubraska Flores Tabata

AGRADECIMIENTOS

A Dios y la Virgen María por iluminarme siempre y llevarme por el camino del bien.

A mi padres, muchas gracias por todo su apoyo y valoro cada esfuerzo que hicieron por mí. ¡Gracias!

A mi hermana por estar siempre conmigo y en todo momento. Eres fundamental en este logro.

A mi asesor laboral Ing. Daniel Pernía por su apoyo en el trayecto de mis pasantías.

Al Ing. George Bermúdez por todos sus conocimientos y por ayudarme en la elaboración de mi proyecto.

A mi asesor académico Dr. Cristhian Ronceros por aceptarme como su pupila, por toda su colaboración y apoyo.

A mis amigos y mis compañeros de pasantías, gracias por cada conocimiento brindado desinteresadamente.

A la casa más Alta la casa que vierte su Orinoco de luz torrencial, a la Universidad de Oriente por ser mi casa de estudio y por concederme obtener este título, a todos mis queridos profesores, en especial a los Profes: Deivis Placencio, Luis Marquez, Judith Devia, Edgar Goncalves.

A la Gerencia AIT de la División Punta de Mata-PDVSA por permitirme hacer mis pasantías de grado y gracias a cada una de las personas que ahí laboran.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE DIAGRAMAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
RESUMEN.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	4
CONTEXTO ORGANIZACIONAL	4
1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE PETRÓLEOS DE VENEZUELA, S.A.....	4
1.2 OBJETIVOS DE LA EMPRESA.....	5
1.3 FILOSOFÍA DE LA EMPRESA	6
1.3.1 Misión	6
1.3.2 Visión.....	6
1.3.3 Valores	7
1.4 ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DE PDVSA.....	7
1.5 GERENCIA DE AUTOMATIZACIÓN, INFORMÁTICA Y TELECOMUNICACIONES (AIT)	8
1.5.1 Misión	9
1.5.2 Visión.....	9
1.5.3 Objetivos.....	10
1.6 ESTRUCTURA ORGANIZATIVA AIT	10
CAPÍTULO II.....	12
EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES	12
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
2.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	15
2.2.1 Objetivo general	15
2.2.2 Objetivos específicos.....	15
2.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
2.4 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	16
CAPÍTULO III.....	18
MARCO REFERENCIAL	18
3.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	18
3.2 BASES TEÓRICAS	19
3.2.1 Patio de tanques.....	20
3.2.2 Sala de bombas.....	20
3.2.3 Sistema de monitoreo de vibración	20
3.2.4 Sistema de control distribuido (DCS).....	21

3.2.4.1 Secciones y niveles que forman un control distribuido.....	22
3.2.5 SCADA	23
3.2.6 SCADA- GALBA	24
3.2.8 Controlador Lógico Programable (PLC)	27
3.2.7 Lenguaje de escalera	28
3.2.8 Redes	28
3.2.8.1 DeviceNet.....	29
3.2.8.2 ControlNet	29
3.2.8.3 Ethernet.....	29
3.2.9 Protocolo	30
3.2.10 Automatización industrial.....	30
3.2.10.1 Razones para la Automatización.....	31
CAPITULO IV	33
MARCO METODOLÓGICO.....	33
4.1 BASE METODOLÓGICA.....	33
4.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	34
4.2.1 Nivel de la investigación	34
4.2.2 Diseño de la investigación	34
4.3 POBLACIÓN.....	35
4.4 MUESTRA	36
4.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	36
4.5.1 Observación directa.....	36
4.5.2 La entrevista	37
4.5.3 Revisión documental	37
4.6 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS	38
4.7 DISEÑO OPERATIVO	38
4.7.1 Fase I: Visualizar	39
4.7.2 Fase II: Conceptualizar.....	40
4.7.3 Fase III: definir.....	40
4.7.4 Fase IV: Implantar	41
4.8 CUADRO OPERATIVO	41
CAPITULO V	43
RESULTADOS	43
5.1 ETAPA I: VISUALIZACIÓN.....	43
5.1.1 Recopilación de la información relacionada al tratamiento, manejo y transporte del crudo.....	44
5.1.2 Determinación del proceso de arranque y parada de las bombas.	44
5.1.2.1 Arranque	45
5.1.2.2 Parada.....	46
5.1.3 Descripción del proceso del bombeo de crudo en el PTT	46
5.1.3.1 Diseño de la sala de bomba 1	49

5.1.4	Identificación de la plataforma tecnológica actual mediante reuniones y entrevistas no estructuradas	51
5.2	ETAPA II: CONCEPTUALIZACIÓN	53
5.2.1	Requerimientos mínimos que debe poseer el sistema de monitoreo de vibraciones	53
5.2.2	Tecnologías disponibles en el mercado para llevar a cabo la implantación del sistema de monitoreo de vibraciones	56
5.2.3	Evaluación técnica preliminar del sistema de monitoreo de vibraciones, en base a ciertos parámetros	59
5.2.3.1	Análisis de los valores obtenidos por la matriz	62
5.2.4	Descripción arquitectura de comunicación de la propuesta tecnológica del sistema de monitoreo de vibraciones	63
5.2.4.1	Características de los componentes que conforman el sistema	64
5.3	ETAPA III: DEFINICIÓN	70
5.3.1	Elaboración del diagrama de flujo del sistema.	71
5.3.2	Propuesta del diagrama de conexión del sistema	75
5.3.3	Pruebas realizadas a los dispositivos (en laboratorio).....	78
5.3.4	Obtención de la lista de señales del sistema.....	81
5.4	ETAPA IV: IMPLANTACIÓN	82
5.4.1	Construcción de la lógica de control en el PLC.	82
5.4.1.1	Iniciando comunicación con el software RSlinx.....	82
5.4.1.2	Creación de un nuevo proyecto.....	83
5.4.1.3	Instalación de las tarjetas de entrada y salida necesarias para trabajar en este proyecto.....	84
5.4.1.4	Creación de tareas y sub tareas.....	87
5.4.1.5	Desarrollo de la lógica de control en RsLogix 5000	88
5.4.2	Elaboración de los despliegues estáticos SCADA.....	92
5.4.3	Conexión de la base de datos al sistema GALBA	95
5.4.4	Integración de las señales analógicas y digitales correspondientes a cada uno de los despliegues.....	97
5.4.5	Puesta en marcha en fase de prueba del sistema de supervisión y control.....	99
	CONCLUSIONES	102
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	104
	HOJAS METADATOS	106

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1: Niveles de paro y alarma del Proximito	74
Diagrama 2: Niveles de paro y alarma del Acelerómetro	74
Diagrama 3: Niveles de paro y alarma del Key Phasor	74
Diagrama 4: Conexión del sistema	75
Diagrama 5: Conexión del sistema	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura Organizacional DEPO-PDSVA	8
Figura 2: Estructura Organizacional AIT-PDM	11
Figura 3: Elementos que Intervienen en un (DCS)	22
Figura 4: Ambiente JCONFIG, configuración PTT	25
Figura 5: Fases de la Metodología GGPIIC	39
Figura 6: Ubicación del PTT	44
Figura 7: Sala de bomba 1	49
Figura 8: Conjunto Motor-bomba P105 de la sala 1 de PTT	51
Figura 9: Gabinete y PLC-5 ubicados en sala de control	52
Figura 10: Despliegue usando SCADA-GALBA	53
Figura 11: Medidor Pen Plus SKF	57
Figura 12: Unidades Enwatch-Entek	58
Figura 13: XM modulo de medición dinámica	58
Figura 14: Arquitectura de comunicación de la propuesta seleccionada	64
Figura 15: Proximitor conectado al transductor	65
Figura 16: Acelerómetro medidor de vibraciones	66
Figura 17: Módulo de medición dinámica XM-120	68
Figura 18: Convertidor de señales DeviceNet a ControlNet	70
Figura 20: Sensor conectado al transductor y al modulo XM	78
Figura 21: Módulos XM conectado al convertidor 1788-CN2DN	78
Figura 22: Red DeviceNet	79
Figura 23: Parámetros de la Red DeviceNet	80
Figura 24: Red ControlNet	80
Figura 25: Ubicación de los sensores	81
Figura 26: Árbol del Software Rslinx	83
Figura 27: Proyecto creado	84
Figura 28: Selección del tipo de módulo	85
Figura 29: Agregar la tarjeta ControlNet CNBR-B	86
Figura 30: Agregar la tarjeta de salida 1756-OW16I	86
Figura 31: Creación de la subrutina "ALARMA_VIBRACION_B1"	88
Figura 32: Subrutina LECTURA_VIBRACION	89
Figura 33: Subrutina ALARMA_VIBRACION_B1	91
Figura 34: Subrutina PARO_VIB_B1	91
Figura 35: Software de Modelado en 3D BLENDER	92
Figura 36: Modelado en 3D de la bomba	93
Figura 37: Bomba P-101 renderizada del PTT	94
Figura 38: Bomba P-101 operando	95
Figura 39: Bomba P-101 parada	95
Figura 40: JConfig del sistema de vibración	96

Figura 41: Base de datos, archivo.CSV 97
Figura 42: Configuración en JEDICION para la bomba 1 98
Figura 43: Bomba 1 en estado operativo 99
Figura 44: Bomba 1 indicando una alarma de vibración 100
Figura 45: Bomba 1 indicando un paro por vibración..... 100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cuadro operativo	42
Tabla 2: Bombas Centrifuga de la sala 1	50
Tabla 3: Motores eléctricos de la sala 1	50
Tabla 4: Comparación de cada criterio	59
Tabla 5: Definición de los grados de importancia	60
Tabla 6: Definición de los valores para las opciones	60
Tabla 7: Clasificación de las zonas de severidad, grupo 1.	72
Tabla 8: Variables para cada bomba	82
Tabla 9: Sub rutinas creadas en lenguaje de programación escalera	87
Tabla 10: Distribución de cada variable dentro del 1788-CN2DN.....	90



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
SUBCOMISIÓN DE TRABAJO DE GRADO
MATURÍN/MONAGAS/VENEZUELA**

**IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE VIBRACIONES
PARA LA SALA DE BOMBAS 1 DEL PATIO DE TANQUES TRAVIESO
(PTT) DE LA DIVISIÓN PUNTA DE MATA DE PETRÓLEOS DE
VENEZUELA**

**Autor: Ambard Flores C.I: 25 431 330
Asesor Académico: Dr. Cristhian Ronceros
Asesor Laboral: Ing. Daniel Pernía
Noviembre 2017**

RESUMEN

El objetivo principal de este proyecto es implantar un sistema de monitoreo de parámetros de vibración para la sala de bombas 1 ubicada en Patio de Tanques Travieso de la División Punta de Mata de Petróleos de Venezuela, para lograr esta premisa se siguió la metodología de campo GGPIC, abarcando cuatro de sus cinco etapas; iniciando con él estudió del proceso operacional en el cual se logró conocer el mecanismo de arranque y parada de las bombas, siendo un punto relevante que dicho proceso no contemplaba las variable de vibración de los equipos. Seguidamente se hizo una evaluación técnica de la tecnología a utilizar por medio de una matriz de selección, que arrojó como mejor propuesta la XM de Allen Bradley para su desarrollo se usaron los siguientes dispositivos proximitor, acelerómetro y key phasor, un convertidor de señales 1788-CN2DN, adicionalmente se determino los niveles de paro y alarma de cada sensor, basado en la norma de PDVSA N° PI-12-02-01 "VIBRACIONES EN MAQUINARIAS ROTATIVAS". Los niveles obtenidos fueron fundamentales para la construcción de la lógica de control hecha en lenguaje escalera y desarrollada en un PLC (ControlLogix 5000). El software libre Blender 3D sirvió como herramientas de diseño de los despliegues de la sala de bombas que fueron utilizados en el SCADA-GALBA, de esta manera se pudo realizar pruebas pilotos del sistema de vibración y así comparar su funcionamiento.

Descriptor: Sistema de vibración, bombas, módulos XM, DeviceNet, 1788-CN2DN, SCADA

INTRODUCCIÓN

La industria petrolera está orientada a la automatización de sus procesos, el incremento de la confiabilidad en sus operaciones y minimizar la participación del talento humano en acciones riesgosas; el sistema de transferencia de tareas de producción es realizado habitualmente por los operadores en conjunto con los elementos tecnológicos. La industria es caracterizada por una producción con procesos continuos; necesita el monitoreo y control permanente en la mayoría de sus operaciones, de tal manera de obtener beneficios optimizando dicha producción y evitando la ocurrencia de incidentes y accidentes dentro de las instalaciones.

El proceso de recolección, almacenamiento y transporte del crudo proveniente de las estaciones de flujos, tiene lugar en la industria en espacios denominados patios de tanques son de complejidad media y están compuestos por múltiples de entrada y salidas, tanques de recolección y sala de bombas que se encarga aumentar la presión para que el crudo sea descargado en los terminales de embarque para luego pasar a su refinación.

En la División Ejecutiva de Producción Oriente de Petróleos de Venezuela, existen varios infraestructura dedicadas a la recolección y almacenamiento del crudo, la más relevantes es el Patio de Tanques Travieso (PTT), que inicia sus operaciones en junio de 1.945 con un total de cinco tanques, actualmente posee trece (13) tanques, con una capacidad instalada de 2,095 millones de barriles (MMBD), para bombear hasta los terminales, la producción de la División Punta de Mata y la proveniente de Patio de Tanques Jusepín, los cuales en conjunto aportan un tercio de la producción total del país.

Para lograr esta premisa, se cuenta con tres salas de bombas: 1, 2 y reforzadora; estas dos últimas totalmente automatizadas, quedando en desventaja la sala de bombas 1, en la cual se encuentran diez bombas enumeradas desde la P-101 hasta la P-110; donde la principal debilidad es el sistema de arranque y parada de las mismas, debido a que las variables causantes de fallas no se encuentran monitoreadas en tiempo real, sino que es necesario un personal en campo que haga pruebas para obtenerlas; especialmente la vibración, factor primordial a controlar para el buen funcionamiento de los equipos rotativos.

El presente proyecto se basará en implantar un sistema de monitoreo de los parámetros de vibración para la sala de bombas 1 del Patio de Tanques Travieso (PTT) de la División Punta de Mata de Petróleos de Venezuela, así como también la definición de una arquitectura de control, la construcción de la lógica basada en las variables de vibración. En el desarrollo de este proyecto los capítulos se encuentran estructurados de la siguiente forma:

Capítulo I: Contexto Organizacional, En este capítulo se realiza una breve reseña histórica sobre la empresa objeto a ser estudiada enfocando de forma general su estructura organizacional y sus áreas de trabajo para un mejor entendimiento sobre el estudio de este proyecto.

Capítulo II: El Problema y sus Generalidades, se expone de manera clara y explícita la problemática que origina esta investigación así como también el objetivo general y los objetivos específicos que permitieron desarrollar este proyecto de manera ordenada y sistemática.

Capítulo III: Marco Referencial, se referencian algunos proyectos similares al que se está desarrollando así como también algunos conceptos de gran importancia para la realización de la investigación, se desglosan todas las bases teóricas necesarias para entender el contenido del proyecto, junto con la descripción del procedimiento para el desarrollo de cada uno de los objetivos que se deben cumplir.

Capítulo IV: Marco Metodológico, se plantean las generalidades de las metodologías empleadas para el desarrollo del proyecto, como también cuál es el tipo de investigación utilizada y las técnicas empleadas.

Capítulo V: Resultados, en este capítulo se desarrollan cada uno de los objetivos específicos expuestos anteriormente que permitirán cumplir con el objetivo general propuesto.

CAPÍTULO I

CONTEXTO ORGANIZACIONAL

1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE PETRÓLEOS DE VENEZUELA, S.A

Petróleos de Venezuela tiene entre sus objetivos planificar, coordinar y supervisar la acción de las sociedades de su propiedad, empresas menores absorbidas por empresas más grandes para al final, conformar la gran PDVSA. Dedicada a la exploración, explotación, transporte, manufactura, refinación, almacenamiento, comercialización del petróleo.

Fue creada por decreto presidencial N° 1123 el 30 de agosto de 1975 para concluir con el proceso de reducción de las concesiones de hidrocarburos, para 1976 Petróleos de Venezuela inicia sus operaciones con 14 filiales: Palmaven, Bariven, Llanoven, Boscaven, CVP, Deltaven, Taloven, Vistaven, Meneven, Guariven, Lagoven, Amoven, Maraven, Roqueven.

Luego en 1986 Lagoven, Maraven y Corpoven absorbieron las actividades de las concesionarias que estaban en Venezuela. Estas cumplían con todas las acciones relacionadas con la industria de los hidrocarburos, exploración, refinación, transporte y comercialización nacional e internacional de crudos y sus derivados, así como también la producción, procesamiento y distribución del gas natural para los sectores domésticos e industriales. Es para 1997 cuando se aprueba la reestructuración y eliminaron las filiales para crear así a: PDVSA Exploración y Producción, PDVSA Manufactura y Mercadeo, y PDVSA Servicios, responsables de ejecutar la actividad operativa, sin embargo éstas entran en acción desde el 1 ° de enero de 1998.

Desde su creación en 1976, PDVSA lleva adelante actividades en materia de exploración y producción para el desarrollo de petróleo, gas y crudo pesado de Faja del Orinoco; producción y manufactura de Orimulsión, así como explotación de yacimientos de carbón. Luego del paro petrolero en diciembre del 2002 nace la nueva PDVSA aportando al desarrollo nacional con una serie de nuevas estructuras, como el Plan Siembra Petrolera y promoción al desarrollo social.

1.2 OBJETIVOS DE LA EMPRESA

Petróleos de Venezuela, es la corporación estatal de la República Bolivariana de Venezuela que se encarga de la exploración, producción, manufactura, transporte y mercadeo de los hidrocarburos, de manera eficiente, rentable, segura, transparente y comprometida con la protección ambiental; con el fin último de motorizar el desarrollo armónico del país, afianzar el uso soberano de los recursos, potenciar el desarrollo endógeno y propiciar una existencia digna y provechosa para el pueblo venezolano, propietario de la riqueza del subsuelo nacional y único dueño de esta empresa operadora.

Los Objetivos de PDVSA son los siguientes:

- 1.** Incrementar las reservas de crudo, liviano y optimizar la explotación.
- 2.** Asegurar la disposición económica de volúmenes de crudo producido con especial atención a los crudos pesados.
- 3.** Elaborar los productos con la calidad requerida por los mercados.
- 4.** Operar y ejecutar los proyectos de desembolso en forma eficiente, asegurando los mejores resultados financieros.

5. Asegurar que la organización desarrolle y disponga de un personal altamente calificado y mantenga los más altos estándares de calidad, protección integral y tecnológica.

6. Desarrollar una cultura con un fuerte enfoque de negocio que utiliza la calidad de gestión como instrumento normal de trabajo.

1.3 FILOSOFÍA DE LA EMPRESA

Actualmente la empresa tiene claramente definida su misión, visión y valores los cuales enmarcan su camino a seguir, estos se enuncian a continuación:

1.3.1 Misión

“Crear valor para el accionista explotando integralmente todas las fases del negocio de los hidrocarburos e interactuando constructivamente con las estructuras productivas del país, utilizando los recursos en forma eficaz, tácticamente productiva y operacionalmente segura, preservando el ambiente y asegurando la rentabilidad que garantice la continuidad de su razón comercial”.

1.3.2 Visión

“Ser la organización modelo de la industria petrolera nacional e internacional en creación de valor, mediante la explotación segura, ecológica, óptima y rentable de los yacimientos, caracterizada por la excelencia y competencia de su personal”.

1.3.3 Valores

PDVSA, se fundamenta en una serie de valores que rigen su actitud y comportamiento. Valores que la realzan como empresa de renombre en su rama, entre estos se encuentran los siguientes:

1. Integridad.
2. Respeto por la gente.
3. Equidad.
4. Responsabilidad social.
5. Seguridad.
6. Competitividad.

1.4 ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DE PDVSA

La presencia del negocio de Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA) se distribuye en cuatro divisiones: Occidente, Oriente, Centro Sur y Costa Afuera; las cuales a su vez están conformadas por 9 Distritos: 4 en Occidente; 3 en Oriente; y 2 en Centro Sur. Cada una de estas divisiones a su vez está integrada por diversas empresas y unidades de negocio, ubicadas tanto en Venezuela como en el Exterior.

En la siguiente figura se muestra como está conformada la Dirección Ejecutiva de Producción Oriente (DEPO) de PDVSA a través de su estructura organizacional, donde se observa claramente la Gerencia de Automatización, Informática y Telecomunicaciones (AIT), lugar donde se llevaron a cabo las pasantías y se realizó la investigación.

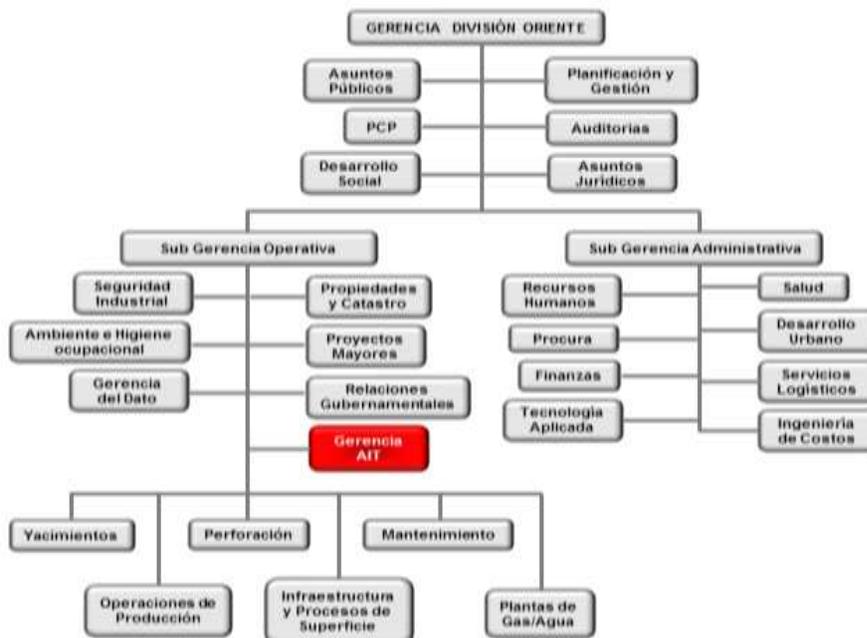


Figura 1: Estructura Organizacional DEPO-PDSVA

Fuente: Gerencia de AIT

1.5 GERENCIA DE AUTOMATIZACIÓN, INFORMÁTICA Y TELECOMUNICACIONES (AIT)

La Gerencia de Automatización, Informática y Telecomunicaciones de Petróleos de Venezuela, conocida como AIT se conformó después del paro petrolero de Venezuela en el 2002, anteriormente llamada INTESA, se encarga de proveer soporte tecnológico en todas las áreas a fin de garantizar la seguridad de los procesos en la industria petrolera venezolana, de una forma oportuna, integral, eficiente e innovadora. Por lo cual es difícil su ubicación en la organización, en algunos casos se considera como una gerencia habilitadora que se encarga de mantener las demás gerencias funcionando.

Los procesos tecnológicos están regidos por la Gerencia Corporativa AIT encargada de proveer soluciones tecnológicas que garantizan la seguridad a los procesos de la industria petrolera venezolana, de una forma integral, oportuna, eficiente e innovadora. Esto permite valorizar la transformación del recurso natural, a través de las mejores prácticas de implantación tecnológica, lo que redundará en mayores recursos para el estado venezolano y un nivel superior de beneficios a la población, garantizando una línea sostenida de desarrollo en todos los ámbitos.

1.5.1 Misión

“Somos la organización que rige, provee y mantiene los servicios y soluciones integrales de tecnologías de automatización, información y comunicaciones de la corporación; contribuimos a mantener su continuidad operativa y a ejecutar sus planes; innovamos y actuamos como agentes de transformación en PDVSA y en la sociedad venezolana con corresponsabilidad con la sociedad en materia social, económica y ambiental; potenciamos un ecosistema tecnológico que impulsa los poderes creadores del pueblo, el conocimiento libre, el desarrollo endógeno sustentable y la economía social productiva para lograr la soberanía tecnológica; alineados con la CRBV y en coordinación con nuestros organismos rectores.”

1.5.2 Visión

“Soberanía plena en soluciones AIT para el sector energético aportando valor social.”

1.5.3 Objetivos

Dentro de los objetivos estratégicos de la gerencia de AIT se encuentran:

1. Garantizar una plataforma de automatización, tecnología de información y comunicaciones, única, integrada y coherente, que asegure el desempeño eficiente de las actividades medulares de la corporación y apalanque la tecnología en el estado y la nación.

2. Apalancar con tecnología de AIT el desarrollo eficiente de las actividades de los distintos negocios de la cadena de valor.

3. Habilitar la implantación de los sistemas corporativos que soportan la transparencia y rendición de cuenta de la corporación.

4. Promover con investigación tecnológica la innovación y afianzamiento de la soberanía tecnológica.

5. Impulsar el desarrollo y estabilización de un ecosistema tecnológico que provea productos y servicios a la corporación y que genere a la vez nuevas fuentes de riqueza para la nación.

1.6 ESTRUCTURA ORGANIZATIVA AIT

AIT Región Sur Oriente transforma su estructura Organizativa descentralizando la operación con una nueva distribución apegada al negocio y a la integración de sus disciplinas, de los niveles de Gerencia, Superintendencia y Supervisores.

Esta pasantía fue realizada prestando servicios a la Gerencia de AIT en la localidad Punta de Mata, en el Departamento de Soporte técnico especializado, específicamente en el área de Automatización, atendiendo las

necesidades del Patio de Tanques Travieso (PTT). Como se muestra en la siguiente figura

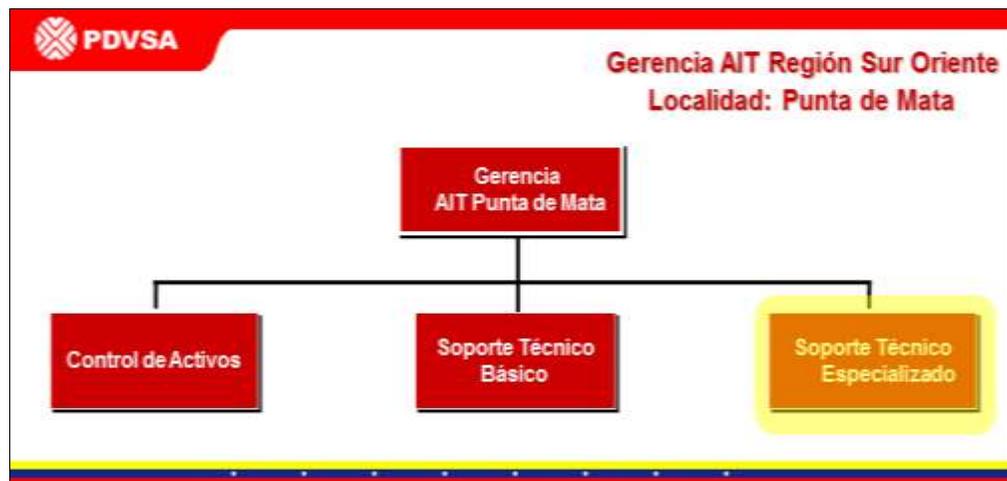


Figura 2: Estructura Organizacional AIT-PDM
Fuente: Gerencia de AIT

CAPÍTULO II

EL PROBLEMA Y SUS GENERALIDADES

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La automatización de procesos ha sido uno de los factores más importantes para el crecimiento organizacional y tecnológico de las industrias a nivel mundial, y cada vez es más implementado por la mayoría de las empresas, garantizando eficiencia en sus procesos, decisiones acertadas y el mejoramiento continuo a través del tiempo. El uso de sistemas automatizados genera en las industrias competitividad en el mercado y la habilidad de maximizar su rentabilidad, teniendo presente la importancia de controlar en tiempo real sus recursos y los procesos productivos, invirtiendo también en la capacitación del personal para el crecimiento tecnológico.

Países de Latinoamérica (Argentina, México, Chile, Colombia, etc.) a partir de la revolución industrial vienen implementando la automatización en los procesos industriales, que se ha convertido en una herramienta clave para garantizar el éxito de las grandes empresas productoras a nivel mundial. El mercado petrolero nacional es manejado por Petróleos de Venezuela, S.A (PDVSA), siendo esta la empresa más grande del país dedicada a la exploración y producción de hidrocarburos, poseyendo las mayores reservas de petróleo del mundo.

El factor tecnológico hoy en día es uno de los mayores retos que presenta la industria, siendo su principal objetivo la automatización de sus procesos, optimizar sus sistemas de control y supervisión de recursos para garantizar su producción, teniendo en cuenta la formación de sus

trabajadores en el sector petrolero como recurso más importante para su crecimiento organizacional y el mejoramiento continuo en el tiempo.

Dentro de PDVSA existen diversas gerencias las cuales trabajan en conjunto para el desarrollo de la industria petrolera, entre ellas se encuentra la Gerencia de Automatización, Informática y Telecomunicaciones (AIT). La industria está conformada por diversas instalaciones en varias regiones del país, siendo el estado Monagas una de las regiones de mayor importancia por su abundancia en yacimientos petrolíferos y gasíferos, generan grandes ingresos al estado venezolano.

La Dirección Ejecutiva de Producción Oriente a su vez ha establecido divisiones en el estado Monagas, entre ellos la División Punta de Mata. Dentro se encuentra el Patio de Tanques Travieso (PTT) que está ubicado en la carretera nacional vía Puerto la Cruz, en el Tejero, municipio Ezequiel Zamora, estado Monagas. Este Patio de Tanques recibe la producción total de 283.000 Barriles de crudo por día aproximadamente, correspondiente a la producción de las estaciones de flujo Amana, Carito, Musipán, Muri, El Tejero y Santa Bárbara, así como también lo bombeado por el Patio de Tanque Jusepín (PTJ).

El total de esta producción es manejada por la sala de bombas 1 y sala de bombas 2 encargadas de la succión y descarga de crudo hacia los Terminales de Almacenamiento y Embarque de Puerto La Cruz y José Antonio Anzoátegui y del bombeo hacia la División Faja.

Dentro de la ejecución de la actividades de almacenamiento y transporte de crudo antes mencionado, la sala de bombas 1 cuenta con diez (10) bombas enumeradas desde P-101 al P-110, divididas en subsistemas,

uno sencillo y otro dual, estos se encargan de bombear crudo específicamente de Mesa 30 y Santa Bárbara desde PTT hasta la descarga en la estación de rebombeo 1, ubicada en la carretera Nacional, en la entrada a la población de Úrica.

Debido al volumen de crudo manejado, en la sala de bombas 1 el buen funcionamiento de los equipos rotativos, es vital para alcanzar la meta de producción diaria, sin embargo ésta sala no posee un sistema de monitoreo, para los parámetros de vibración de las bombas que allí se encuentran, trayendo como consecuencia el desgaste mecánico las mismas.

Las condiciones de operación, inestabilidad de fluidos, trazas de sedimentos y/o gas, acumulación de sólidos sobre los equipos rotativos causan vibraciones dentro del proceso que en el tiempo ocasionan daños mecánicos impredecibles que afectan el desempeño de los equipos rotativos que conforman el sistema. Ocasionando el retraso con el compromiso de la producción diaria, incrementos en los costos por mantenimientos y reparación de las bombas, afectaciones en generales en el sistema de manejo almacenamiento y transporte de crudo.

Es por ello que surge la necesidad del presente proyecto que abarcó la implementación de un sistema de monitoreo continuo de vibraciones en tiempo real, con el propósito de tener tanto la capacidad de proteger las bombas del elevado nivel de vibración como realizar seguimiento al estado actual y predecir el comportamiento futuro de estos sistemas de bombeo.

El sistema de supervisión de los parámetros de vibración de las bombas comprendió el monitoreo, análisis y acciones de control ante cualquier evento no deseado por medio de las diferentes señales de los sensores de

vibración. Con la implantación de un sistema de monitoreo de los parámetros de vibración de la sala de bombas 1 ayudará a reducir fallas en los equipos rotativos y predecir el comportamiento operativo de dichas máquinas, esto va a permitir minimizar los riesgos e inconvenientes que implican paradas imprevistas de planta, además de que conlleva principalmente a un ahorro tanto de tiempo como de dinero en cuanto a mantenimiento de los equipos rotativos se refiere. La realización de este proyecto contó con la Gerencia de Automatización, Informática y Telecomunicaciones (AIT) y estuvo bajo sus requerimientos.

2.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.2.1 Objetivo general

Implantar un sistema de monitoreo de vibraciones que permita la predicción y reducción de fallas en la sala de bombas 1 Patio de Tanques Travieso (PTT) de la División Punta de Mata de Petróleos de Venezuela.

2.2.2 Objetivos específicos

1. Estudiar el proceso operacional con el propósito del conocimiento de la situación actual de la sala de bombas 1 de Patio Tanques Travieso.
2. Realizar la propuesta tecnológica del sistema para el establecimiento de las limitaciones y alcances del proyecto.
3. Diseñar la estructura del sistema monitoreo de vibración para la iniciación de las pruebas de funcionamiento de los dispositivos.
4. Desarrollar la lógica en el sistema de adquisición control y supervisión de datos de campos (SCADA - GALBA) para la puesta en marcha del sistema.

5. Implantar el sistema de monitoreo de vibraciones para la sala de bombas 1.

2.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El proceso de bombeo de crudo es la actividad neurálgica del Patio de Tanques Travieso, siendo esta su actividad principal, la cual consiste en llevar el crudo proveniente de las estaciones de flujo hasta los Terminales de Almacenamiento y Embarque de Crudo José (TAEJ), Terminales de Almacenamiento y Transporte de Crudo Anaco (CATCA), debido a su gran importancia es preciso implantar el sistema de monitoreo de los parámetros de vibración para la sala de bombas 1 del Patio de Tanques Travieso.

El sistema de monitoreo ofrece una visión compartida para los operadores a la hora de la toma de decisiones ya sean operacionales o predictivas, reduce el índice de paradas de bombas no programadas, todo esto con el fin de trabajar bajo normas y estándares que garanticen el buen funcionamiento de los equipos rotativos que realizan estas operaciones y evitar el daño acelerado de los mismos, de esta forma se logró ahorrar a la empresa grandes costos en el mantenimiento de estos equipos y de igual forma disminuir la presencia de los operadores a lugares donde las condiciones de seguridad son muy riesgosas debido a la cantidad de decibeles existente en el sitio y la fuerte carga de corriente eléctrica que circula en el área de las salas de bombas.

2.4 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

La finalidad de este proyecto es la implantación de un sistema de monitoreo de los parámetros de vibración para la sala de bombas 1 del Patio

de Tanques Travieso (PTT) de la División Punta de Mata de Petróleos de Venezuela, en el presente trabajo se estudió el proceso operacional de la planta, dicho estudio está relacionado con el área de automatización de procesos, esto se hizo con el propósito de conocer la situación actual de PTT.

Para la construcción del sistema de monitoreo continua, se identificó cada uno de los elementos concernientes al sistema donde comprender las características y funcionamiento de cada uno de los dispositivos era el objetivo. Este estudio abarcó el diseño del despliegue de la sala de bombas 1, la construcción de la lógica de control en el PLC y el desarrollo de dicha lógica en el sistema de control adquisición y supervisión de datos de campos (SCADA- GALBA) para así poner el sistema en marcha. En esta investigación se tomó en cuenta la misión de AIT y la alineación que posee con PDVSA, con el Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo y con el Estado Venezolano.

CAPÍTULO III

MARCO REFERENCIAL

3.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Tamayo y Tamayo, (2004) Expone lo siguiente acerca de los antecedentes de una investigación: “Todo hecho anterior a la formulación del problema que sirve para aclarar, juzgar e interpretar el problema planteado, constituye los antecedentes. En los antecedentes se trata de hacer una síntesis conceptual de las investigaciones o trabajos realizados sobre el problema formulado con el fin de determinar el enfoque metodológico de la misma investigación. El antecedente puede indicar conclusiones existentes en torno al problema planteado. En la presentación del antecedente se busca aprovechar las teorías existentes sobre el problema. Consultando antecedentes nos libramos del riesgo de investigar lo que ya está hecho. (pág. 146)” En este sentido se citarán los siguientes antecedentes:

Lima, A (2009) *“Implementación de un plan de mantenimiento predictivo de equipos rotativos basado en el análisis de vibraciones en una planta embotelladora”*, este trabajo fue presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico de la Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui. Se desarrolló diagramas de secuencial funcional de alarmas y pre alarmas basados en el análisis de los parámetros de vibración de los equipos rotativo. Esta investigación sirvió para el levantamiento de información de los equipos rotativos susceptibles al análisis de vibración, el cómo planificar desmontajes y revisiones a los equipos para prevenir la ocurrencia de alguna falla inesperada.

Gutiérrez & Serna, (2014) *“Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de vibraciones en un equipo rotativo de Buencafé liofilizado de Colombia”* este trabajo fue presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Mecatrónica de la Universidad Tecnológica de Pereira-Colombia. Este proyecto se basa en el aprovechamiento de un sensor-transmisor de vibración, el cual se instala en un equipo rotativo, la señal medida en velocidad de vibración (mm/seg^2) es transmitida a un PLC de control. Este trabajo aportó el cómo, la información generada en el controlador es registrada y graficada en un sistema de supervisión SCADA.

Navarro, A (2011) *“Estudio para implementación de alarmas en el sistema de monitoreo continuo de celulosa Arauco Planta Valdivia”* este trabajo fue presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico de la Universidad Austral de Chile. Aquí se muestran los pasos a seguir y las consideraciones a la hora de programar la parada o arranque de un equipo tomando en cuenta los parámetros de vibración. El importante precedente de este trabajo es el sistema de monitoreo continuo (ENTEK) el cual conserva un historial de los registros de vibración.

3.2 BASES TEÓRICAS

Arias, F (1999) define las bases teóricas como: “Las bases teóricas comprenden el conjunto de proposiciones que constituyen un punto de vista el cual va dirigido a explicar el fenómeno o problema planteado, por ello se pueden dividir las bases teóricas en función de los tópicos que integran la temática tratada a las variables que serán analizadas.”(pág. 41)

3.2.1 Patio de tanques

Para Reyes, M (2009) Un patio de tanque es definido como un estructuras de complejidad media dado que su función es el almacenamiento y transporte del crudo proveniente de las estaciones de flujo, comprendido por los tanques de almacenamiento que es donde reposa el crudo que se recolecta, este pasa por varios procesos de separación y asentamiento, también dentro de un patio de tanque se encuentran los múltiples de recibo y múltiples de despacho y por las salas de bombas encargadas de aumentar el nivel de presión del crudo para así ser enviado a los terminales de embarque y refinerías para su posterior tratamiento de refinación y exportación.

3.2.2 Sala de bombas

Según McNaughton, (2000), el sistema de bombeo se encarga de succionar el crudo que se encuentra en los tanques de almacenamiento a través de los múltiples de succión, para luego ser descargado a través de los múltiples de descarga, siendo éste en donde convergen todas las tuberías de descarga de cada una de las bombas (pág. 33). Una sala de bombas tiene una serie de precauciones y procedimientos que busca garantizar la seguridad de su entorno esto es debido a peligros de incendios o explosión y toxicidad, que representan el manejo de hidrocarburos.

3.2.3 Sistema de monitoreo de vibración

Es aquel que brinda la facilidad de la supervisión de las condiciones de operaciones, desde el punto de vista vibratorio para maquinas rotatorias, mediante representaciones graficas de tendencias de los niveles de energía de vibración y despliegues del menú de alarmas indicadoras.

Para Allen Bradley (1999) el Software Odyssey Emonitor permite evitar fallas imprevistas en los equipos, trabaja con información en tiempo real, lo que permite detectar de manera oportuna niveles de vibraciones más altas de lo normal. Esta información es desplegada al analista permitiéndole realizar oportunos movimientos operativos y anticiparse a una falla catastrófica.

3.2.4 Sistema de control distribuido (DCS)

Un DCS (Sistema de Control Distribuido, por sus siglas en ingles) consiste en una distribución de las tareas de control entre un grupo de microprocesadores en diferentes ubicaciones dentro de la planta y que se encuentran interconectados a través de una red de comunicación industrial, involucran entre cincuenta y cien o incluso más, lazos de control.

El primer sistema de control distribuido, el TDC-2000, fue desarrollado por la firma Honeywell, Aunque otras compañías como Bristol y ProcessSystems Inc., Desarrollaron controladores digitales basados en microprocesadores previos al TDC-2000, dichos dispositivos eran autónomos. La introducción de la computadora al control de procesos implicó el desarrollo de convertidores de señales, transductores AD (analógico-digital) y DA (digital-analógico), que permitieran la comunicación con los dispositivos de campo (sensores, transmisores y actuadores).

Los DCS han sido un componente básico en las aplicaciones de automatización de procesos. Ejecutan escaneos de E/S y calculan algoritmos de manera constante y por lo tanto, están clasificados como dispositivos basados en tiempo real. Estos sistemas son implementados cuando un alto porcentaje de la aplicación requiere cálculos matemáticos complejos.

3.2.4.1 Secciones y niveles que forman un control distribuido

Un sistema de control distribuido consta de uno o más niveles de control estos están vinculados con fin de ejecutar tareas complejas con un máximo de efectividad al mismo tiempo que se optimizan sus recursos. En la figura 3, se muestra la relación entre los distintos niveles de un DCS, los niveles uno (1), dos (2) y tres (3) relacionadas directamente con la instrumentación y control del sistema y un cuarto (4) nivel vinculado más al sistema de gestión de la empresa.

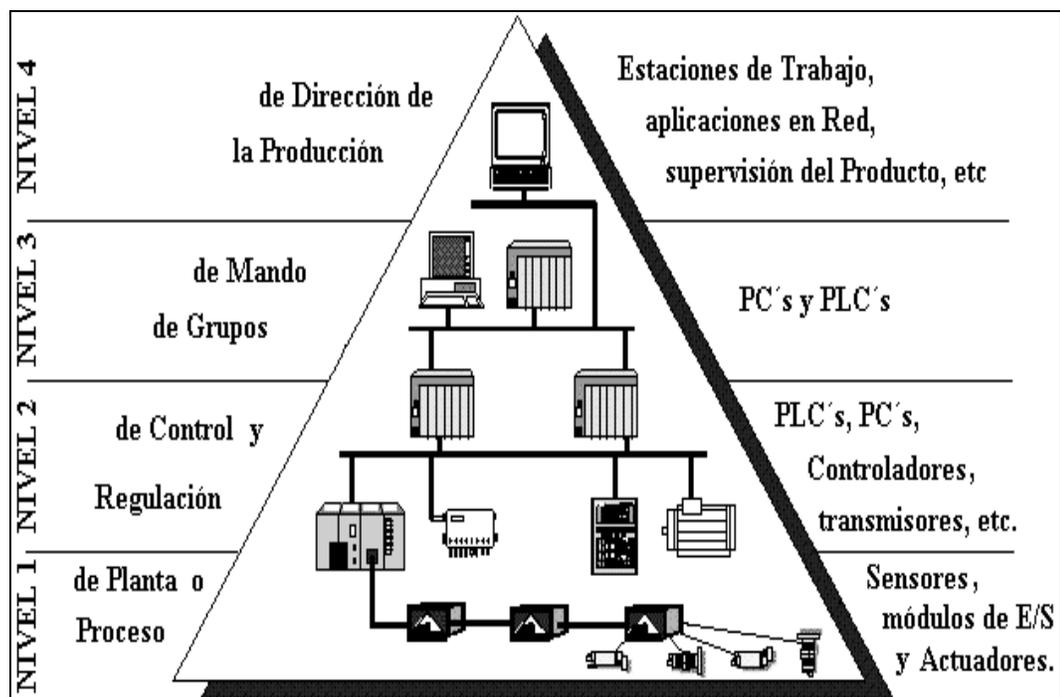


Figura 3:Elementos que Intervienen en un (DCS)

Fuente:<http://www.depeca.uah.es/depeca/repositorio/asignaturas/30387/Tema4.pdf>

En los niveles inferiores de un control distribuido estarán aquellos elementos que están en contacto con el proceso y, por tanto, ajustados a los parámetros y variables que el proceso suministra y que el DCS debe

controlar. En los niveles superiores, los ordenadores, estaciones de trabajo e incluso los autómatas pueden llevar a cabo funciones adicionales tales como: concentración de datos, análisis y optimización de unidades (plantas o divisiones corporativas con cierto grado de autonomía) del proceso. La adición de algún otro nivel al DCS puede también ayudar a integrar actividades relacionadas con una división o una planta, tal como compras, recepción de material, control de inventario, facturación, control de calidad y servicios al cliente o usuario

3.2.5 SCADA

Según Bullón, O. (2009), “El término SCADA es el acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition Supervisión, Control y Adquisición de Datos, incluye un hardware de señal de entrada y salida, controladores, interfaz hombre-máquina (HMI), redes, comunicaciones, base de datos y software. Un SCADA es un sistema basado en computadores capaz de monitorizar y controla un sitio completo o un sistema que se extiende sobre una gran distancia (kilómetros / millas). La mayor parte del control del sitio es en realidad realizada automáticamente por una Unidad Terminal Remota (RTU) o por un Controlador Lógico Programable (PLC). Las funciones de control del servidor están casi siempre restringidas a reajustes básicos del sitio o capacidades de nivel de supervisión.” (P. 363)

Tomando en cuenta lo citado anteriormente se puede decir que es un sistema que comprende el registro de información en tiempo de un proceso o planta industrial, mostrar los históricos y tendencias de cualquier variable que se esté monitoreando. Permite que el operador tenga y ejerza una retroalimentación sobre el proceso, tales como:

- Estado actual del proceso. Valores instantáneos.
- Desviación o deriva del proceso. Evolución histórica y acumulada.
- Indicadores con retroalimentación inherente (afectan al proceso, después al operador).
- Generación de alarmas.
- Toma de decisiones mediante operatoria humana y automática (mediante la utilización de sistemas basados en el conocimiento o algoritmos avanzados de control).
- Reportes de proceso y gerenciales, entre otros

3.2.6 SCADA- GALBA

Chan D (2015) expresa que es un servidor monolítico encargado de la adquisición supervisión y control de datos de campo, las siglas GALBA significan Guardián del ALBA y posee tres entornos necesarios para cumplir su función.

- **JConfig:** Este módulo le permite al operador estar en contacto directo con el sistema y realizar la supervisión y el control del proceso en general. Permitiendo la representación de los procesos que ocurren en el campo en tiempo real, además muestra los componentes implicados como las estaciones remotas, los sensores y el sistema de comunicación, ofreciéndole al operador distintos niveles de control en base de los niveles de privilegios.

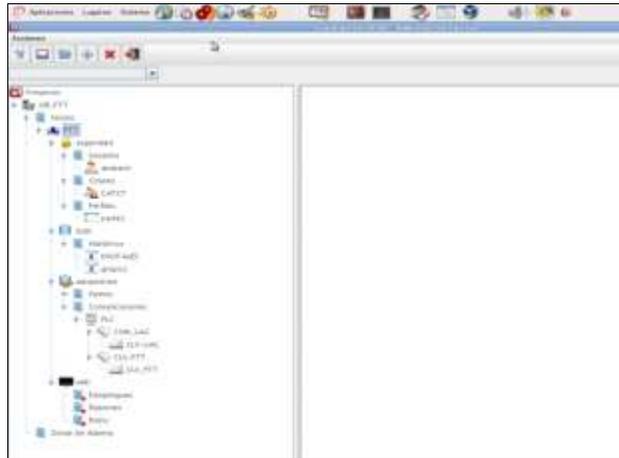


Figura 4: Ambiente JCONFIG, configuración PTT
Fuente: Autor (2017)

Algunos parámetros que se pueden configurar en el JConfig:

- **Nodos:** Los nodos permiten representar las entidades (consolas y/o servidores) que se alojan en los módulos GALBA, según el requerimiento el nodo puede ajustarse para uno o varios módulos.
- **Perfiles:** Son las unidades lógicas donde se configuran los privilegios asociados a uno o varios grupos operacionales; de modo que los usuarios pertenecientes a respectivos grupos puedan tener los privilegios que le sean asignados.
- **Grupos operacionales:** Definen las áreas operacionales a las cuales pertenecen las señales, dispositivos, canales y sub-canales de manera tal que se pueda garantizar el acceso a los usuarios asociados a los módulos de Seguridad, BDH, BDTR y HMI.
- **Grupo de transferencia a históricos:** Contempla los nombres de los módulos del GALBA que almacenarán los datos históricos de las variables de procesos.

- **Canales de Comunicación:** El canal de comunicación, es el conjunto de dispositivos interconectados entre sí, a través de algún medio físico y cuyo acceso desde el sistema es independiente de la interacción con el resto de los dispositivos. El medio puede ser compartido por otros protocolos de comunicación (MODBUS/TCP, AB-ETHERNET, ETHERNET/IP) o no compartido (Comunicaciones seriales BSAP, Modbus). También posee subcanales de comunicación, los cuales hacen referencia al protocolo de comunicación mediante el cual se comunican los dispositivos con el SCADA.
- **JEdicion:** El módulo JEdicion del Guardián del ALBA, el cual utiliza NetBeansPlatform 6.8, que es un framework con una amplia variedad de API's (interfaz de programación de aplicaciones); a continuación se nombran algunas de las opciones para configurar los despliegues:
 - **Mimic:** Es un contenedor de objetos gráficos. Permite la comunicación con el servidor y administra los objetos gráficos que tiene incorporados.
 - **Picture:** Permite agregar una imagen al despliegue. Es muy utilizado para agregar el fondo del despliegue o las imágenes del despliegue.
 - **Meter:** Mediante este objeto se permite visualizar el estado de la variable lo cual se logra asociando el punto que le corresponde. Este objeto gráfico debe visualizar tres campos: El campo que describe el punto asociado a la variable, El campo para visualizar la unidad de medida de la variable, y el campo para visualizar el estado de la variable.
 - **Label:** Se utiliza para colocar textos en los despliegues, los cuales son muy utilizados para colocar los nombres de los equipos en los esquemáticos, las entradas y salidas.

- **JDesktop:** Es la Interfaz Hombre-Máquina (IHM) para monitorear y supervisar los procesos del sistema que fueron configurados en el entorno de JConfig y JEdicion, algunas de las funciones de este módulo se describen a continuación:
 - **Barra de título:** Se refiere a la barra horizontal situada debajo de la barra de título, siempre visible para el usuario en el ambiente de ejecución, siempre y cuando se hayan abierto algún despliegue.
 - **Zona de navegación de despliegues:** Se trata del conjunto de elementos de tamaño definido y no modificable, ubicado al lado izquierdo del escritorio del sistema e inferior a la barra de título, acceso a las distintas funcionalidades del sistema para acceder a las tendencias, los sumarios de alarmas, eventos, estado de comunicación de sub-canales y dispositivos, sumarios de puntos o variables, estadísticas de sub-canal y dispositivo.
 - **Sumarios:** entre los sumarios más utilizados se encuentran el de Alarmas y el de Puntos, tanto analógicos como digitales. También se encuentran los sumarios de históricos de eventos, Estado de comunicación (sub-canales y dispositivos) y Estadísticas (sub-canales y dispositivos)

3.2.8 Controlador Lógico Programable (PLC)

Serrano, G (2014) expone que es un computador especialmente diseñado para automatización industrial de tipo robusto, el cual controla los procesos de una planta. A diferencia de un computador tradicional, un PLC no tiene teclado, pantalla ni ratón, tampoco tienen disco duro ni Windows. Pero internamente si es un computador, con su hardware: procesadores, memoria, puertos de comunicación, etc. y con su software: un sistema

operativo que le llaman Firmware, y una programación, específica para la aplicación o el caso particular en que se está usando.

3.2.7 Lenguaje de escalera

Según Moreno, M. (2004), “Tradicionalmente los diagramas de lógica de escalera están compuestos por dos líneas verticales que representan las líneas de alimentación, mientras que los renglones contienen los cableados, los arreglos de contactos y las bobinas de relés. En los PLC, los diagramas de Lógica de Escalera o LadderLogic son una manera fácil de dibujar los programas. Una ventaja importante es que los símbolos básicos están normalizados según NEMA y son empleados por todos los fabricantes.” (pág. 43).

El lenguaje escalera es el típicamente usado para la programación en los PLC's, este permite representar gráficamente el circuito de control de un proceso dado mediante el uso simbólico de contactos N.A. y N.C., temporizadores, contadores, registros de desplazamiento, relés, entre otros. Este tipo de lenguaje debe su nombre a su similitud con los diagramas eléctricos de escalera.

3.2.8 Redes

El autor Murillo, M. (2000), Expresa “En el ámbito de la Informática, llamamos red aun conjunto de Computadoras o PC, más o menos potentes unidos por algún medio, en principio y más extendido el cable, o bien mediante ondas electromagnéticas” (pág.10). Una red en general es un conjunto de dispositivos interconectados físicamente ya sea vía alámbrica o vía inalámbrica que comparten recursos y que se comunican entre sí a través de reglas o protocolos de comunicación.

3.2.8.1 DeviceNet

Sobre la red DeviceNet el fabricante Allen Bradley (2000) expresa que DeviceNet es un protocolo de comunicación usado en la industria de la automatización para interconectar dispositivos de control con el fin del intercambio de datos. Admite la comunicación entre sensores, actuadores y dispositivos de más alto nivel tales como controladores programables y computadoras. Con alimentación eléctrica y señal en un solo cable, ofrece opciones de cableado simples y ajustables a dispositivos de campo.

3.2.8.2 ControlNet

Allen Bradley (2000) expresa que la red ControlNet es una red de control abierta que satisface las demandas de aplicaciones en tiempo real de alto rendimiento efectivo, dedicada al automatismo industrial. También proporciona conexiones en red de control en aplicaciones discretas y de proceso, incluidas aplicaciones de alta disponibilidad además que presenta una única capa física basada en cable coaxial.

3.2.8.3 Ethernet

Según la Guía de primer año CCNA de Cisco Systems (2004) Las redes Ethernet es la arquitectura estándar IEEE 802.3 más popular de LAN se conoce como 802.3. Emplea una topología lógica de bus y una topología física de estrella o de bus utilizan CSMA / CD y funcionan con varios tipos de cables a 10, 100, 1000 Mbps.

3.2.9 Protocolo

Para Serrano, G (2014), un protocolo es la formalización de la comunicación de datos, que se rige por normas y convenciones entre los dispositivos en el arreglo o red. El protocolo se asegura mediante esta normalización una comunicación bilateral entre los componentes, identificándolos a cada uno. Los protocolos responden a diferentes tipos de intereses de diseño, en su mayoría establecidos por el fabricante, para su respectivo hardware. Por ejemplo Profibus, perteneciente a Siemens, Modbus de Schneider o DeviceNet de Allen Bradley. También existen protocolos abiertos a los usuarios, para una determinada adecuación o mejora. Los protocolos abiertos son accesibles al público con tan solo solicitarlos. (pág. 58)

3.2.10 Automatización industrial

Proaño, E (2009). Es el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales substituyendo a operadores humanos. El alcance va más allá que la simple mecanización de los procesos ya que ésta provee a operadores humanos mecanismos para asistirlos en los esfuerzos físicos del trabajo, la automatización reduce ampliamente la necesidad sensorial y mental del humano. La automatización como una disciplina de la ingeniería es más amplia que un mero sistema de control, abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores y transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistema de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales. (pág. 16).

Automatización es el uso de sistemas de control y de tecnología informática para reducir la necesidad de la intervención humana en un proceso. En el enfoque de la industria, automatización es el paso más allá de la mecanización en donde los procesos industriales son asistidos por maquinas o sistemas mecánicos que remplazan las funciones que antes eran realizada por animales. Mientras en la mecanización los operadores son asistidos con maquinaria a través de su propia fuerza y de su intervención directa, en la automatización se reduce de gran manera la necesidad mental y sensorial del operador. De esta forma presenta grandes ventajas en cuanto a producción más eficiente y disminución de riesgos al operador. Las principales ventajas de aplicar automatización a un proceso son:

Remplazo de operadores humanos en tareas repetitivas o de alto riesgo.

Remplazo de operador humano en tareas que están fuera del alcance de sus capacidades como levantar cargas pesadas, trabajos en ambientes extremos o tareas que necesiten manejo de una alta precisión

Incremento de la producción. Al mantener la línea de producción automatizada, las demoras del proceso son mínimas, no hay agotamiento o desconcentración en las tareas repetitivas, el tiempo de ejecución se disminuye considerablemente según el proceso.

3.2.10.1 Razones para la Automatización

Dentro del campo de la producción industrial, la automatización ha pasado de ser una herramienta de trabajo deseable a una herramienta indispensable para competir en el mercado globalizado. Los aspectos más

importantes que se deben tomar en cuenta para realizar una automatización industrial de cualquier proceso se detallan a continuación:

- Reduce los gastos de mano de obra directos en un porcentaje alto según el grado de automatización.
- Puesto que los productos son más competitivos aumentan los beneficios; es decir, se reduce costes se puede fabricar más barato y por lo tanto aumentar las ventas.
- Aumenta la capacidad de producción de la instalación utilizando las mismas máquinas y los trabajadores.
- Aumenta la calidad de producción ya que las máquinas automáticas son más precisas.
- Mejora el control de la producción ya que pueden introducir sistemas automáticos de verificación.
- Permite programar la producción.
- A mediano y a largo plazo, y gracias a la constancia y a la uniformidad de la producción se garantizan plazos de entrega más fiables.

CAPITULO IV

MARCO METODOLÓGICO

Una vez precisada la situación del Patio de Tanques Travieso, concretado los objetivos y consultado la base teórica asociada a la investigación, adicionalmente se tiene que indicar el tipo de datos que se requiere indagar; seleccionar entre los diferentes métodos y técnicas que permitieron alcanzar la información requerida con la finalidad de efectuar uno de los aspectos esenciales relacionados a todo proceso de investigación, de esta manera se presenta a continuación el marco metodológico

4.1 BASE METODOLÓGICA

Arias, F (2004) define: “la metodología del proyecto influye el tipo o tipos de investigación, las técnicas y los instrumentos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación. Es sobre cómo se realizara el estudio para responder al problema planteado”. (pág. 98). La base metodológica para desarrollar el presente proyecto se fundamenta, en la metodología PDVSA de ingeniería de proyectos, llamada, Guías de Gerencia para Proyectos de Inversión Capital (GGPIC) provista por el Comite de operación de PDVSA última revisión en 1999.

La metodología GGPIC en su primera fase de visualización establece los objetivos y propósitos del proyecto y la alineación del mismo con las estrategias corporativas, así mismo, en su fase de conceptualización se elige la mejor opción y luego en la fase de definición se detalla toda la disponibilidad tecnológica existente en el mercado, evaluando todos los aspectos técnicos y selección de la solución más adecuada. Para

posteriormente ir a la cuarta fase la implantación es donde se prueba y se comprueba el buen funcionamiento del sistema.

4.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Es importante resaltar que el método científico es uno, sin embargo existen las diversas formas de identificar sus prácticas o la aplicación de su investigación. Entre los tipos de investigación existen muchos modelos y diversas clasificaciones.

4.2.1 Nivel de la investigación

El nivel de este proyecto se clasifica como intermedio tipo descriptivo a lo que el autor Arias, F (2012), define así: “una investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere.” (pág. 24). Es descriptivo por que comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual del Patio de Tanques Travieso.

4.2.2 Diseño de la investigación

El carácter de este proyecto es una investigación de campo con apoyo de una investigación documental, ya que se necesitó la consulta de información libros, manuales, tesis, normativas y consultas en páginas Web con la finalidad de dar fundamentos teóricos a este proyecto. Siguiendo con este orden de ideas estar en contacto directo con el fenómeno de estudio hace que sea una investigación de campo y que la obtención de datos se

haga directamente de la experiencia empírica, son llamados primarios, denominación que refiere al hecho de que son datos de primera mano, originales, producto de la investigación en curso sin intermediación de ninguna naturaleza.

El autor Arias, F (2012), define: La investigación de campo como aquella que consiste en la recolección de todos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variables alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental. Claro está, en una investigación de campo también se emplea datos secundarios, sobre todo los provenientes de fuentes bibliográficas, a partir de los cuales se elabora el marco teórico. (pág. 31).

4.3 POBLACIÓN

Según Arias, F (2006). Se entiende por población el "conjunto finito o infinito de elementos con características comunes, para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda limitada por el problema y por los objetivos del estudio". (pág. 81). Este proyecto fue aplicado a una población finita, es decir, es cuantificable dentro del Patio de Tanques Travieso la población relacionada al objeto de estudio estuvo conformada por el Superintendente Mayor de Operaciones del PTT, los cuatro operadores de la sala de control, los dos operadores encargados de realizar las operaciones manuales y el personal de la gerencia de AIT, específicamente las personas del área de mantenimiento a la plataforma encargada del PTT.

4.4 MUESTRA

La muestra al ser una porción de la población también resulta finita para Arias, F (2006). La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible. (pág. 83). En este sentido toda investigación, requiere que el investigador seleccione en su estudio, una muestra representativa ya que si trabaja con toda la población, resultaría difícil la obtención de la información. Considerando que la muestra debe ser una unidad representativa, y debido a que la población en estudio hace un total de 10 personas que es una cantidad bastante pequeña y que se puede abarcar en su totalidad, entonces la muestra es igual a la población.

4.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

En todo proyecto es necesario tener estrategias con las cuales se recopila la información para determinar los pasos necesarios para realizar el proyecto, las técnicas de recolección de datos empleadas en el presente proyecto fueron la observación directa, la entrevista y la revisión documental. Arias, F (2006), sostiene que son: ejemplos de técnicas de recolección de datos la observación directa, la encuesta en sus diferentes modalidades, (entrevista o cuestionario) el análisis documental, análisis de contenido entre otras. (pág. 78).

4.5.1 Observación directa

Lo primero que un investigador debe realizar es apreciar la situación actual, caracterizar el sistema en estudio, la observación directa es el punto de partida para interactuar con el área de interés, entender su naturaleza; y

estudiar cada una de sus actividades, procesos y participantes para una mejor comprensión y ubicación de donde se va a trabajar.

En la presente investigación se aplicó observación directa cuando se visitó el Patio de Tanques Travieso y se constató la situación actual de la sala de bombas 1, al respecto el autor Arias, F (2006), establece que: La Observación Directa es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos. (pág. 69)

4.5.2 La entrevista

Balestrini (2002) expresa que “La entrevista, es considerada un proceso de comunicación verbal recíproca, con el fin último de recoger información a partir de una finalidad previamente establecida” (pág. 154). Esta técnica permite consultar e investigar con el personal que labora en el Centro de Almacenamiento y Transporte de Crudo (CATC) Patio de Tanques Travieso, como ingenieros, operadores, técnicos u otras personas que conozcan a cerca del proceso de bombeo de crudo en este centro, así como también a personal de la Gerencia de AIT perteneciente en las áreas de automatización y control que puedan aportar conocimientos al respecto a las salas de bombas, comunicación con el PLC, entre otros, esto con el propósito de facilitar la elaboración del proyecto.

4.5.3 Revisión documental

Para Hurtado, J. (2007). “es un proceso mediante el cual un investigador recopila, revisa, analiza, selecciona y extrae información de

diversas fuentes, acerca de un tema en particular, con el propósito de llegar al conocimiento y comprensión más profundos del mismo” (pág. 90). Esto se realizó para conocer el funcionamiento interno de los procedimientos y las normativas por las que se rige el Patio de Tanques Travieso, al igual que para obtener la información necesaria que permitiera el correcto desarrollo de este proyecto, se recurrió a la revisión documental.

4.6 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS

Para Hurtado, J. (2007): “El análisis de contenido puede ser utilizado en investigaciones descriptivas, cuando se pretende hacer un diagnóstico y agrupar contenidos significativos de una serie de entrevistas, conversaciones u observaciones.” (pág. 57). Los datos obtenidos por sobre el Patio de Tanques Travieso a través de las técnicas de recolección de datos, fueron agrupados según su tendencia, analizados y sirvieron de fundamento en la investigación, a esta técnica se conoce como análisis de contenido.

4.7 DISEÑO OPERATIVO

Los parámetros que rigieron éste proyecto fueron basados en la metodología "Guías de Gerencias para Proyectos de Inversión de Capital (GGPIC)" para garantizar un proyecto estandarizado. Las actividades y sus tareas asociadas se realizaron de forma ordenada sin evadirse ninguna y así obtener un alto grado de confianza, para lograr la implantación de un sistema de monitoreo de vibraciones para la sala de bombas 1 del Patio de Tanques Travieso (PTT). Se abarcaron sólo cuatro de las cinco fases del ciclo de vida la metodología. (Ver figura 5)



Figura 5: Fases de la Metodología GGPIC
Fuente: PDVSA (2003)

A continuación se muestra la descripción de las actividades que se agrupan en cada una de las fases ejecutadas.

4.7.1 Fase I: Visualizar

En ésta primera fase se establecieron los objetivos y propósitos del proyecto y se recopiló la información requerida a fin de conocer a fondo la filosofía de procesos de la planta; de igual modo sirvió para identificar los requerimientos de infraestructura, servicios y determinar la factibilidad técnica del proyecto. Fue necesaria la formación de mesas de trabajo para recopilar la información que permitió determinar el alcance del proyecto y verificar que esté alineado con las estrategias corporativas.

Dentro de las actividades que se realizaron en esta fase se tienen:

1. Recopilación de información relacionada al tratamiento, manejo y transporte del crudo.
2. Determinación del proceso de parada y arranque de las bombas, si manual o automático.
3. Descripción del proceso de bombeo de crudo en el PTT.
4. Identificación de la plataforma tecnológica actual.

4.7.2 Fase II: Conceptualizar

Se estudió el comportamiento de cada uno de los dispositivos, también se realizó una evaluación de las tecnologías implementadas para monitorear los parámetros de vibración de la sala de bombas 1 del Patio de Tanques Travieso (PTT).

Entre las actividades que se realizaron en esta fase se tienen:

1. Identificación los requerimientos mínimos que debe poseer el sistema de monitoreo de vibraciones.
2. Conocer las tecnologías disponibles en el mercado para llevar a cabo la implantación del sistema de monitoreo de vibraciones.
3. Evaluación técnica al sistema de monitoreo de vibraciones, en base a ciertos parámetros.
4. Descripción la propuesta tecnológica seleccionada.

4.7.3 Fase III: definir

Se diseñó la estructura del sistema de monitoreo de vibraciones, ya una vez definidos los equipos que van a intervenir en su elaboración.

Las actividades que se realizarán en esta fase fueron:

1. Elaboración del diagrama de flujo del sistema.
2. Propuesta de la arquitectura de conexión.
3. Realización de pruebas de funcionamiento a los dispositivos (en laboratorio)
4. Obtención de la lista de señales del sistema.

4.7.4 Fase IV: Implantar

Una vez realizadas las pruebas de laboratorios, se comenzó con la integración de los dispositivos con el Controlador Lógico Programable PLC y a la construcción de los despliegues para luego enlazarlos con el SCADA GALBA

Las actividades que se realizaron en esta fase fueron:

1. Construcción de la lógica de control en el PLC.
2. Elaboración de los despliegues estáticos y fuentes que se utilizara en el SCADA
3. Conexión de la base de datos al sistema GALBA.
4. Integración de las señales analógicas y digitales correspondientes a cada uno de los despliegues.
5. Puesta en marcha en fase de prueba del sistema de supervisión y control.

4.8 CUADRO OPERATIVO

El cuadro operativo tiene como objetivo, presentar de forma tabular las actividades que se realizarán, mediante la metodología propuesta y los objetivos que estarán directamente ligados al proyecto.

Tabla 1: Cuadro operativo

METODOLOGIA (GGPIC)	OBJETIVO ESPECIFICO	ACTIVIDADES
<p>Fase I Visualizar</p>	<p>1. Estudiar el proceso operacional con el propósito del conocimiento de la situación actual de la sala de bombas 1 de Patio Tanques Travieso</p>	<p>1. Recopilación de la información relacionada al tratamiento, manejo y transporte del crudo. 2. Determinación del proceso de parada y arranque de las bombas, si manual o automático. 3. Descripción del proceso de bombeo de crudo en el PTT. 4. Identificación de la plataforma tecnológica actual.</p>
<p>Fase II Conceptualizar</p>	<p>2. Realizar la propuesta tecnológica del sistema para el establecimiento de las limitaciones y alcances del proyecto</p>	<p>1. Identificación de los requerimientos mínimos que debe poseer el sistema de monitoreo de vibraciones. 2. Conocer las tecnologías disponibles en el mercado para llevar a cabo la implantación del sistema. 3. Evaluación técnica del sistema. 4. Descripción arquitectura de comunicación de la propuesta seleccionada.</p>
<p>Fase III Definir</p>	<p>3. Diseñar la estructura del sistema de monitoreo de vibración con el fin de la iniciación de las pruebas de funcionamiento de los dispositivos</p>	<p>1. Elaboración del diagrama de flujo del sistema. 2. Propuesta de la arquitectura de conexión. 3. Realización de las pruebas de funcionamiento a los dispositivos (en laboratorio). 4. Obtención de la lista de señales del sistema.</p>
<p>Fase IV Implantar</p>	<p>4. Desarrollar la lógica en el sistema de control adquisición y supervisión de datos de campos (SCADA - GALBA) para la puesta en marcha del sistema</p> <p>5. Implantar el sistema de monitoreo de vibraciones para la sala de bombas 1</p>	<p>1. Construcción la lógica de control en el PLC. 2. Elaboración de los despliegues estáticos y fuentes que se utilizaron en el SCADA. 3. Conexión de la base datos con el sistema GALBA 4. Integración de las señales analógicas y digitales correspondientes a cada uno de los despliegues. 5. Puesta en marcha en fase de prueba del sistema de supervisión y control</p>

CAPITULO V

RESULTADOS

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos basándose en el desarrollo sistemático de los objetivos específicos. Estos resultados se definieron de la siguiente manera: en primera instancia se estudió la situación actual de la planta, prestando especial atención a las variables operativas que participan en el bombeo de crudo, luego se estudió la tecnología disponible y su arquitectura para el proyecto, luego se presentó la propuesta tecnológica ante la Gerencia de Automatización, Informática y Telecomunicaciones para el sistema de monitoreo de vibración, luego se armó el sistema, y finalmente desarrolló e implantó la lógica de control del sistema de monitoreo de vibraciones para la sala de bombas 1 del Patio de Tanques Travieso (PTT).

5.1 ETAPA I: VISUALIZACIÓN

Se enfocó en la obtención de información concerniente a la filosofía de operación del Patio de Tanques Travieso, mediante el empleo de herramientas tales como: entrevistas no estructuradas y observación directa. Se procedió a la identificación, análisis, verificación y validación de los requisitos operacionales y tecnológicos para identificar la problemática a solventar y de esta forma se estableció el alcance general del proyecto.

5.1.1 Recopilación de la información relacionada al tratamiento, manejo y transporte del crudo

El Patio de Tanques Travieso (PTT) fue constituido en el año 1.945 con el objetivo de establecer un Centro de Almacenamiento, Medición y Transporte de Crudo de las Unidades de Producción de Pirital, Carito y Parte del Furrial, los cuales son campos de extracción de petróleo aledaños a PTT, (Ver figura 6). Recibe la producción total de 283.000 Barriles de crudo por día aproximadamente, correspondiente a la producción de las estaciones de flujo Amana, Carito, Musipán, Muri, El Tejero y Santa Bárbara, así como también lo bombeado por el patio de tanque Jusepín (PTJ).



Figura 6: Ubicación del PTT

Fuente: PDVSA (2003)

5.1.2 Determinación del proceso de arranque y parada de las bombas.

Existe una arquitectura de control para el arranque y parada de la sala de bombas, propuesta desde el año 2007. ésta coteja una cantidad de variables aunque ninguna relacionada con la vibración del conjunto motor

bomba. En entrevistas no estructuradas realizadas en el Patio de Tanques al personal de operaciones básicas se determinó que tienen tres opciones: hacerlo manual local, manual remoto y automático, el modo de operación en un momento determinado depende de las condiciones de campo y de las decisiones del custodio junto con su coordinador de guardia. A continuación se describe el proceso de arranque y parada. El estado manual local se da cuando el proceso implica la presencia de un operador en la sala de bombas, para realizar la operación y verificar que la válvula de succión de la bomba este 100% abierta e informar vía radio al operador en sala de control para que ejecute el comando de encendido de la bomba, posteriormente, debe controlar la presión de descarga estrangulando la válvula de compuerta de la bomba, de esta manera la bomba entra en operación acoplada al resto de las bombas a través del cabezal de descarga, los otros dos estados se activan directamente desde la sala de control.

5.1.2.1 Arranque

En la sala de bombas se cuenta con dos dispositivos por cada bomba, un selector de dos posiciones (automático y manual) y dos botones (arranque y parada) cuya manipulación permiten los siguientes modos de arranque.

- Automático: El selector se encuentra en la posición “Automático” y el arranque se ejecuta por medio de la rutina del PLC. El operador da la orden desde el SCADA.
- Manual Remoto: El selector se encuentra en la posición “Manual” y el operador debe oprimir el botón de arranque ubicado localmente en la sala de bombas

Para ambos modos el operador debe verificar que las válvulas de la succión y descarga correspondientes se encuentren abiertas en un 100%.

5.1.2.2 Parada

En la sala de bombas se cuenta con dos dispositivos, un selector y un botón, cuya manipulación permiten los siguientes modos de apagado.

- Apagado automático: Con el selector de la bomba, en posición “Automático”, es ejecutado a través del sistema de control de acuerdo a la lógica programada en función de condiciones tales como: Muy baja presión en la succión de la línea de crudo activa, muy alta presión en la descarga, falla del ventilador asociado a la bomba.
- Apagado manual remoto: Con el selector de la bomba, en posición “Manual”, se realiza activando el comando de Paro de la bomba, que se encuentra ubicado localmente en la Sala de bombas.

Al igual que las acciones de arranque, las de paro son ejecutadas por medio de los relés de arranque/paro y protección de motores.

5.1.3 Descripción del proceso del bombeo de crudo en el PTT

El bombeo de crudo requiere de un control estricto de la calidad del petróleo bombeado, razón por la cual los operadores realizan análisis cada dos horas, de los diversos crudos (también llamados segregaciones), para verificar si estos cumplen con las especificaciones de Gravedad API y el porcentaje de agua y sedimentos. En PTT se manejan dos tipos de segregaciones: Crudo mediano (Mesa-30) y Crudo liviano (Santa Bárbara). El

crudo mediano, es un hidrocarburo cuyo peso específico está comprendido entre los 22,1 y 30 grados API y es proveniente de las Estaciones de flujo Muri, Musipán, Carito, COA y del Patio de Tanques Jusepín (PTJ). Por otra parte el crudo liviano cuyo peso específico tiene que ser igual o mayor a 30 grados API es proveniente de las estaciones COT, Santa Barbará, COA y del Patio de Tanques Jusepín (PTJ). Los crudos medianos se mezclan en las succiones de las bombas booster y los crudos livianos se mezclan a nivel de tanques para garantizar los compromisos adquiridos con los Clientes en los Terminales de Embarque.

El objetivo operacional del sistema de transmisión de crudo mediano y liviano en PTT, es proporcionar presión suficiente para lograr el envío de crudo hacia el Terminal de Almacenamiento y Embarque de Jose (TAEJ), Guaraguao (TAEG) y al Centro de Almacenamiento y Transporte de Crudo Anaco (CATCA) y de esta forma satisfacer las metas de producción previstas, en los volúmenes, tiempo y calidad requerida por los clientes. Con el fin de conseguir este objetivo el Patio Tanque Travieso (PTT) establece una filosofía de control la cual contiene todos los parámetros por los cuales regirse a la hora del llenado de los tanques para el almacenaje de crudo, y luego para su posterior descarga.

Cada tipo de segregación se recibe de forma independiente en los múltiples de entrada; esto con la finalidad de medir y controlar la cantidad de crudo recibido en los tanques de almacenamiento, y la cantidad de segregación a bombear; si el crudo recibido se encuentra fuera de las especificaciones establecidas, es tratado con demulsificante para acelerar el proceso de separación de la emulsión agua-crudo; el agua es drenada hacia la fosa API para posteriormente ser bombeada hacia la estación MUC-10 de tratamiento/inyección de agua.

En caso de que cada segregación cumpla con los estándares, pasa a los múltiples de bombeo, y luego van a las bombas reforzadoras (5-25 psi de succión y de 25-100 psi descarga) que alimentan a las bombas principales. El caudal proveniente de Mesa 30, llega a la sala de bombas 1 compuesta por bombas centrifugas horizontales acopladas a motores eléctricos, a través del cabezal de succión de bombas de despacho 30"-CRU-S/C y pasa a las diferentes bombas P-101/P110 por líneas de 16 pulgadas, entra con una presión que puede estar en un rango de 16 a 40 psi, luego el caudal se distribuye para que mantenga equitativamente para cada una, posteriormente es descargada a un cabezal de 30 pulgadas a través de líneas de 10 pulgadas con una presión de 750 a 900 psi, y luego hacia la estación de rebombeo 1.

Las bombas P-106/P-110, además de recoger el caudal proveniente de Mesa 30, poseen un sistema dual, que les permite coleccionar del cabezal de descarga 20"-CRU-S/C, crudo de Santa Bárbara, mediante una línea 16"-VC-S/C y que posteriormente es descargada en un cabezal de 16 pulgadas a través de líneas de 10 pulgadas, hacia la estación de rebombeo. Todas las bombas P-101/P-110 poseen un sistema de válvulas de compuertas a la succión y descarga, utilizadas como válvulas de control para graduar la cantidad de fluido manejado por cada bomba, y la cantidad de bombas que trabajarán con crudo liviano proveniente de Santa Bárbara.

En la sala de bomba 2 el proceso es similar presenta: 16-40 psi de succión y de 850-1000 psi descarga, ambas salas de bombas descargan y rebomban el crudo al múltiple de salida y luego hacia los oleoductos de 16" 26" y 30" (Troncal 54), estaciones de Rebombeo 1 y 2 (RB1 Y RB2), hasta ser recibido por los Terminales de Embarque Jose (TAEJ), Puerto la Cruz (Guaragua) y el Patio de Tanques Anaco (PTA)

5.1.3.1 Diseño de la sala de bomba 1

Dentro de la sala de bombas 1 se ubican 10 unidades motor-bomba, estas poseen la capacidad de bombeo de 3.5 Mil barriles por hora (MBH) cada bomba posee un ventilador para mantener en temperatura normal el motor de dicha bomba, y una bomba prelubricadora con la función de lubricar el motor a la hora del arranque y paro de la misma, así mismo posee una cantidad de instrumentos asociados, como se muestra en la figura 7. En la tabla 2 y 3 se puede observar las características de las bombas centrífugas y de los motores eléctricos respectivamente

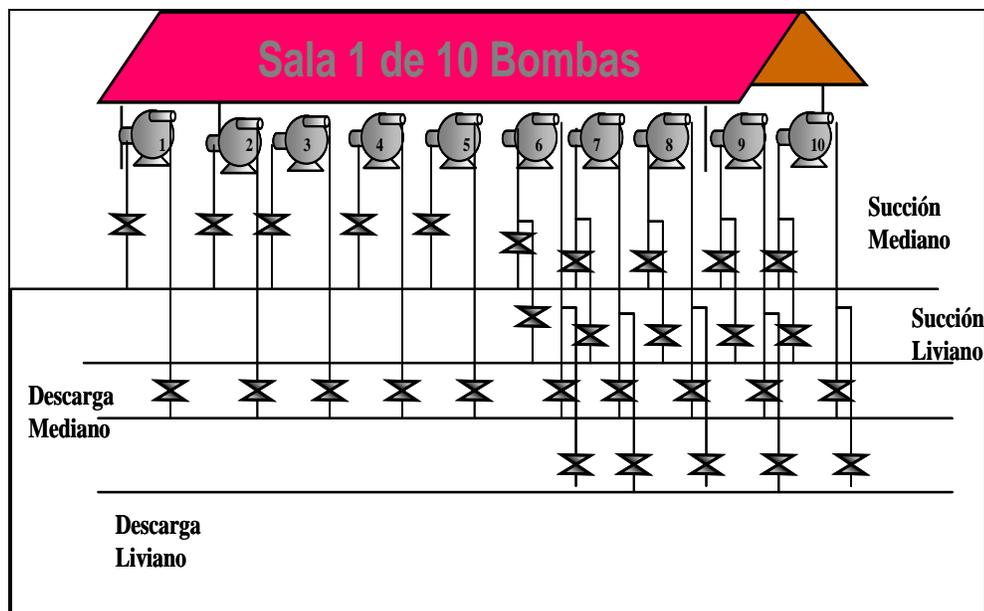


Figura 7: Sala de bomba 1
Fuente: PDVSA (2003)

Tabla 2: Bombas Centrifuga de la sala 1

BOMBA CENTRIFUGA DE LA SALA 1						
Tap	Pos	Marca	Nro Etapa	Capacidad (GPM)	Velocidad (RPM)	Modelo
1	Horizontal	Ingresoll Dresser	4	2332	3560	6X13DAD-4
2	Horizontal	Ingresoll Dresser	4	2332	3560	6X13DAD-4
3	Horizontal	Ingresoll Dresser	4	2332	3560	6X13DAD-4
4	Horizontal	Ingresoll Dresser	4	2332	3560	6X13DAD-4
5	Horizontal	Ingresoll Dresser	4	2332	3560	6X13DAD-4
6	Horizontal	Ingresoll Dresser	4	2332	3560	6X13DAD-4
7	Horizontal	Ingresoll Dresser	4	2332	3560	6X13DAD-4
8	Horizontal	Ingresoll Dresser	4	2332	3560	6X13DAD-4
9	Horizontal	Ingresoll Dresser	4	2332	3560	6X13DAD-4
10	Horizontal	Ingresoll Dresser	4	2332	3560	6X13DAD-4

Fuente: PDVSA (2003)

Tabla 3: Motores eléctricos de la sala 1

MOTOR ELECTRICO DE LA SALA DE BOMBA 1						
Tap	Pos	Marca	Velocidad (RPM)	Potencia	Volts	Amps
1	Horizontal	Siemens	3573	1500	4160	212
2	Horizontal	Louis Allis	3585	1750	4160	215
3	Horizontal	Louis Allis	3585	1500	4160	182
4	Horizontal	Louis Allis	3585	1500	4160	182
5	Horizontal	Louis Allis	3585	1500	4160	182
6	Horizontal	Louis Allis	3585	1750	4160	213
7	Horizontal	Louis Allis	3585	1500	4160	182
8	Horizontal	Louis Allis	3585	1500	4160	182
9	Horizontal	Louis Allis	3585	1750	4160	213
10	Horizontal	Louis Allis	3585	1750	4160	213

Fuente: PDVSA (2003)

5.1.4 Identificación de la plataforma tecnológica actual mediante reuniones y entrevistas no estructuradas

Para llevar a cabo esta actividad se realizaron recorridos por la planta para conocer el proceso de bombeo de crudo además de esto se planificaron reuniones con los instrumentistas y con los operadores, donde se facilitó la información necesaria acerca de la plataforma tecnológica. La información obtenida se dividió en tres niveles que están relacionados, el primer nivel está conformado por el conjunto motor-bomba de la sala 1, el segundo se encuentra el sistema de control (PLC-5 del fabricante Allen Bradley). Y el último nivel por esta representado por el sistema de supervisión SCADA-GALBA. A continuación se detalla la arquitectura por nivel:

- **Nivel 1: Instrumentación:**

Este nivel está representado por cada conjunto motor bomba de la sala 1 y todos los instrumentos analógicos que tienen alimentación de lazo y envían señal de 4-20Ma, así como los instrumentos digitales. En la figura 8 se muestra el conjunto motor-bomba P-105 de la sala número 1



Figura 8: Conjunto Motor-bomba P105 de la sala 1 de PTT

Fuente: Autor (2017)

- **Nivel 2: Sistema de control:**

El sistema de Control es centralizado el cual se encarga del control de todas las señales asociadas a los procesos llevados a cabo en el PTT y está conformado actualmente por dos (2) controladores lógicos programables (PLC) redundantes, marca Allen Bradley, modelo PLC-5 protocolo Ethernet de topología estrella, donde el PLC primario ejecuta la aplicación y controla las entradas/salidas, mientras que el equipo de respaldo (Stand-by) permanece en un segundo plano, preparado para tomar el control en caso de ser necesario. (Ver figura 9)



Figura 9: Gabinete y PLC-5 ubicados en sala de control

Fuente: Autor (2017)

- **Nivel 3: Sistema de supervisión:**

Este nivel está conformado de la siguiente manera, la sala de control ubicada dentro del Patio de Tanques Travieso (PTT) cuenta con un sistema de supervisión, monitoreo y control basado en el sistema SCADA-GALBA. En

Figura 10 se muestran a modo de ejemplo el despliegue del Patio de Tanques Travieso en general, que es usado actualmente en sala de control.

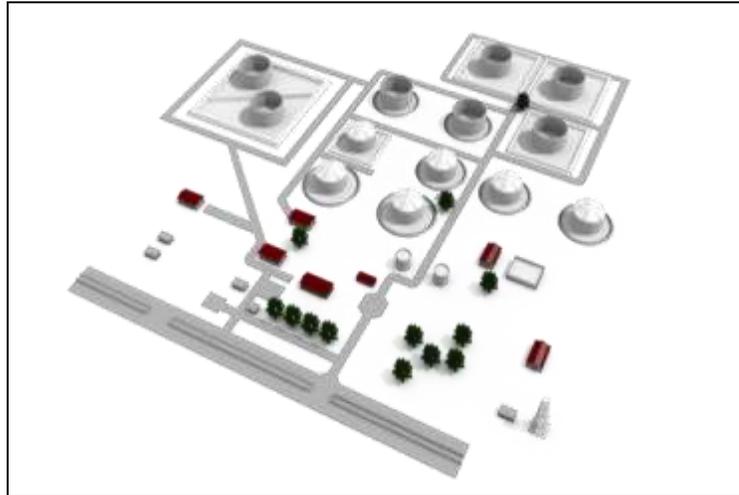


Figura 10:Despliegue usando SCADA-GALBA
Fuente: PDVSA (2015)

5.2 ETAPA II: CONCEPTUALIZACIÓN

Una vez obtenida la información necesaria acerca del sistema de control, del proceso de bombeo de crudo y la arquitectura de la sala de bombas 1, se tiene suficiente conocimiento para realizar la propuesta tecnológica del sistema de monitoreo de vibraciones. En esta etapa se describe las bases que fundamentan el proyecto:

5.2.1 Requerimientos mínimos que debe poseer el sistema de monitoreo de vibraciones

Para dar inicio a esta actividad de selección de equipos que conformaran el sistema de vibración, es necesario conocer todos los

sistemas con los cuales interactuara y conocer los requerimientos y especificaciones que debe poseer el nuevo sistema con fin de satisfacer las carencias y cumplir con el componente tecnológico de AIT sobre la actualización tecnológica a todas a las plantas de control. En este sentido, los requerimientos mínimos que debe poseer el sistema de control a proponer son los siguientes:

- **Diseño modular y escalable**

El diseño modular se basa en la colocación de módulos funcionales y universales, que unidos, forman estructuras mayores que pueden ser ensambladas de diferentes maneras o disposiciones y lo más importante independientemente posible del resto de la aplicación, con la finalidad de no afectar el funcionamiento del sistema de control, permitiendo al sistema ser autónomo debido que en el momento de alguna falla solo afectará a un elemento en específico sin afectar el resto del funcionamiento de otros dispositivos relacionados con el dispositivo.

- **Programación y control multidisciplinario**

El control multidisciplinario se refiere que sea compatible con la diversidad de lenguajes para programar que existen, hacer un sistema susceptible al servicio adherible a las disciplinas básicas o avanzadas de programación manejadas por el personal de AIT.

- **El sistema debe brindar la posibilidad de ser incorporado al sistema SCADA Guardián del Alba**

El Guardián del ALBA es un software que integra las funcionalidades de alto nivel que permiten la solución de aplicaciones de supervisión y control de procesos, utilizando para ello una arquitectura distribuida de módulos que permite escalar a aplicaciones de gran envergadura. Este sistema se comunica mediante Protocolos tales como: DF1, DNP3, Modbus (IP y Serial) y preferiblemente el protocolo Ethernet/IP, por lo cual se requiere que el Controlador (PLC) a proponer para la actualización tecnológica de la arquitectura de control, sea compatible con dichos protocolos, para garantizar la comunicación con el sistema de supervisión, satisfaciendo así el aspecto mencionado en el Componente Tecnológico de AIT.

- **Soporte técnico**

Este punto hace referencia a la asistencia que brinda algún fabricante seleccionado para que sus clientes puedan hacer uso de sus productos o servicios. La finalidad del soporte técnico es ayudar a los usuarios a resolver ciertos problemas. Para esto el fabricante debe tener la disponibilidad y facilidad de brindar asesoría técnica y opciones de adiestramiento al personal, razón por la cual se consideró que los módulos de medición dinámicas tuvieran soporte a nivel nacional, es decir oficinas dentro del país.

- **Costos**

Es importante mencionar la estructura de costos que debe poseer la nueva arquitectura tecnológica a proponer, en referencia a estos los equipos seleccionados deben ser económicamente accesibles y a su vez debe ser tecnología actualizada de calidad, para mantener en los estándares el buen funcionamiento del Patio de Tanques Travieso.

5.2.2 Tecnologías disponibles en el mercado para llevar a cabo la implantación del sistema de monitoreo de vibraciones

Una vez que se conocieron los requerimientos que debe poseer el sistema. Se procedió a la realización de un estudio técnico para analizar las diferentes tecnologías que puedan satisfacer dichas exigencias. Se seleccionaron los sistemas de medición de vibración Pen Plus SKF, Entek IRD International Corporation y XM de Allen Bradley. El sistema medición Pen Plus SKF es usado actualmente en varias estaciones de PDVSA para medir la vibración de los equipos, esta medición solo puede hacerse en carcasa, los módulos Enwatch de la tecnología Entek la cual es usada en varias estaciones de flujo de la División Punta de Mata y los módulos XM de Allen Bradley, se seleccionaron estas tres tecnologías por requerimientos de la Gerencia AIT.

- **Overall vibration Pen Plus SKF**

Ofrece un enfoque de multiparámetros del monitoreo, proporciona dos métodos diferentes para monitorear la condición de la maquinaria. Permite la detección temprana de problemas específicos de las máquinas y proporciona más formas para medir sus cambios de estado. En figura 11, se aprecia que es una herramienta capaz de medir la vibración global (producida por problemas de rotación y estructurales, como desequilibrio, desalineación, aflojamiento, etc.) también capaz de realizar mediciones de la aceleración envolvente que midan la vibración en frecuencias más altas (vibración causada por problemas con los elementos rodantes de los rodamientos o con

los engranajes). La medición de estos dispositivos es directamente en carcasa y está enfocado eventos repetitivos que van en el rango de 10kHz a 30kHz.



Figura 11: Medidor Pen Plus SKF
Fuente: Svenska Kullagerfabriken AB (SKF)

- **Entek IRD**

Es un sistema de adquisición de datos de vibraciones en monitoreo continuo, su elemento sensor es el acelerómetro, es decir, tiene una medición lineal en el tiempo, solo considera una variable. Este sistema es compatible con el software Odyssey Emonitor, el cual es un sistema de mantenimiento predictivo, que permite el hacer uso de gráficos y tendencias con los datos recolectados por las tarjetas de adquisición que dispone los Enwatch, es importante aclarar que la recolección de datos es vaciada manualmente. La figura 12, muestra las unidades Enwatch-Entek

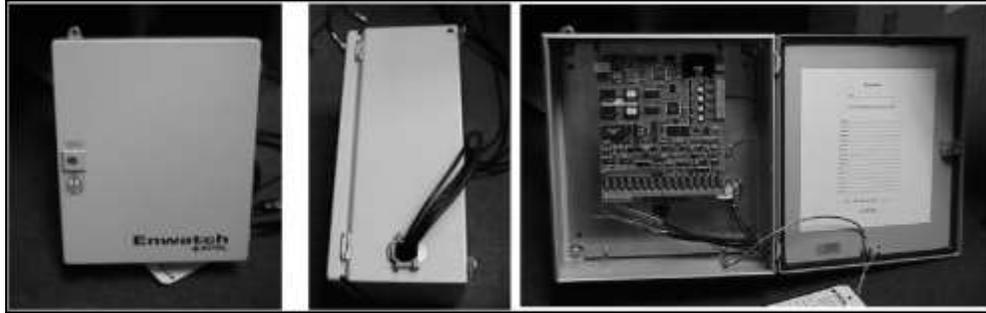


Figura 12: Unidades Enwatch-Entek
Fuente: Valdivia (2011)

- **XM de Allen Bradley**

Son módulos de medición dinámica con la particularidad que admiten dos canales por cada sensor, canales que conectan sensores de vibración (por ejemplo, sondas de corrientes parásitas). Es versátil puesto que integra un canal de tacómetro, este permite aumentar la entrada de sensores de medición de velocidad. El procesamiento de señales puede ser sincrónica o asincrónica, es decir integrar varias señales y dar un solo resultado o brindar por separado el resultado de cada señal.

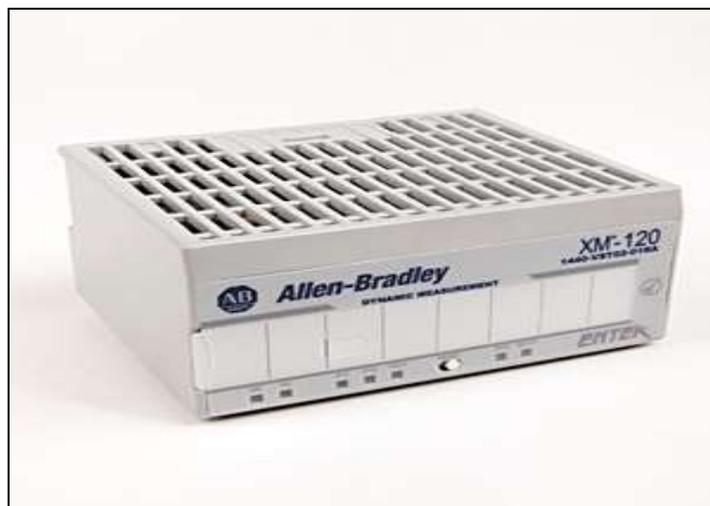


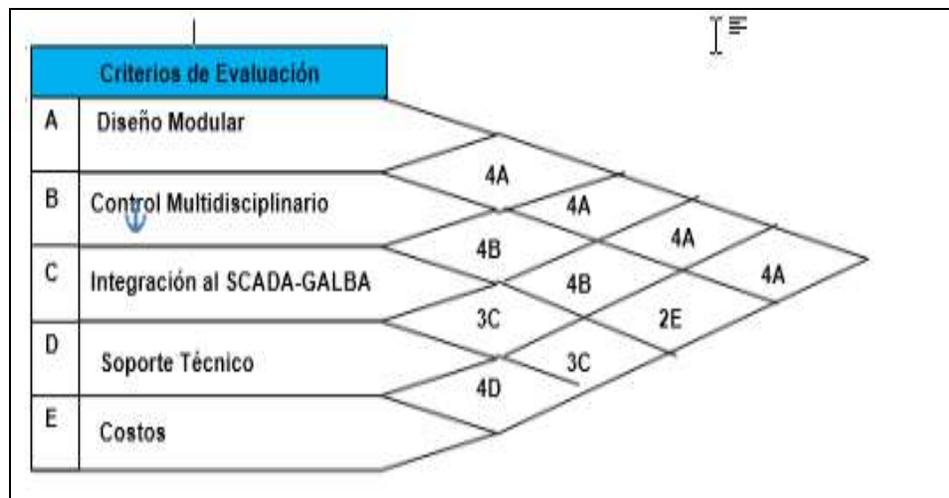
Figura 13: XM modulo de medición dinámica
Fuente: Autor (2017)

5.2.3 Evaluación técnica preliminar del sistema de monitoreo de vibraciones, en base a ciertos parámetros

Una vez conocidos los sistemas que cumplen con los requerimientos mínimos, el siguiente paso fue realizar la evaluación técnica de los mismos en base a ciertos parámetros. Para ello fue necesario realizar una matriz comparativa de tecnologías o matriz de selección. Los pasos para la realización de la misma fueron los siguientes:

- En primera instancia se seleccionaron los criterios de evaluación, que constituyen los requerimientos que debe cumplir el sistema a seleccionar y se vaciaron en la parte superior-izquierda de la matriz. Cada criterio se asoció a la letra correspondiente, es decir, el correspondiente a la fila A, representa el criterio A, el de la fila B corresponde al criterio B, y así sucesivamente, en la tabla 4 se observa.

Tabla 4: Comparación de cada criterio



Autor: Fuente (2017)

- Luego se procedió a ponderar cada criterio, seleccionando el grado de importancia correspondiente (Ver tabla 5), y se colocó en la casilla respectiva el valor de la comparación.

Tabla 5: Definición de los grados de importancia

Grado de Importancia			
Alto	Mediano	Bajo	Ninguno
4	3	2	1

Fuente: Autor (2017)

- Una vez realizadas y vaciadas en la matriz todas las comparaciones, se sumaron los puntos de cada criterio y se procedió a realizar la ponderación de cada uno de ellos con un peso del 1 al 10, logrando así la linealidad de los mismos, es decir, se convierten en puntos de una recta en la que el valor 1 representa el mínimo y el 10 el máximo del eje de las abscisas.
- En la parte inferior de la matriz, se procedió a colocar a la derecha de cada una de las opciones estudiadas, un número del 1 al 5 para indicar si la tecnología es apropiada o no para satisfacer los criterios de evaluación seleccionados (Ver tabla 6).

Tabla 6: Definición de los valores para las opciones

Opciones	
No Apropiado	1
Suficiente	2
Bueno	3
Muy Bueno	4
Excelente	5

Fuente: Autor (2017)

5.2.3.1 Análisis de los valores obtenidos por la matriz

Tomando como base la comparación realizada en la tabla 7, queda demostrado que el sistema de vibración XM de Allen Bradley, es el que se ajusta a las exigencias de lo planteadas, obteniendo 100 puntos sobre el sistema de Entek de IRD con un total de 77 puntos y el Pen Plus SKF obtuvo 43 puntos. Con relación a la puntuación de los criterios tomados en cuenta para la evaluación, el sistema XM obtuvo lo siguiente: el criterio relacionado con el diseño modular y escalable, obtuvo un puntaje de 50; teniendo una ventaja de 10 puntos sobre el Entek IRD y de 20 puntos sobre el sistema Pen Plus de SKF.

El criterio correspondiente a la programación lineal y control multidisciplinario obtuvo una puntuación de 15 debido a que su lenguaje de comunicación es DeviceNet, es decir, un lenguaje ya estandarizado es importante mencionar que la arquitectura permite convertir la señal primaria en una señal ControlNet y posteriormente en una señal Ethernet cumpliendo así con la norma IEC 1131-3 (Lógica de escalera o diagrama de contactos, dando así la facilidad de programar esas señales a juicio del analista. El sistema Entek IRD obtuvo 10 puntos, maneja también un lenguaje estandarizado y programable sin embargo no es tan versátil como lo es el de los módulos XM, por otra parte el sistema SKF es un sistema de recolección de datos manual.

En el ítem de integración al sistema SCADA Guardián del Alba, obtuvo un puntaje de 16; al igual que el sistema Entek IRD ambos sistemas son de sencilla integración al sistema de monitoreo y control. Por su parte en el ámbito de soporte técnico arrojaron puntuaciones distantes, siendo el puntaje

mayor 15 correspondiente al sistema XM de Allen Bradley, seguido del Entek IRD con 9 puntos y por último el sistema Pen Plus con 6 puntos.

Lo cual demuestra que todos equipos poseen manuales de operación, medios de atención al cliente y oficinas dispuestas a brindar soporte técnico en el momento que se requiera, pero en todo lo antes mencionado se destacan los proveedores del sistema Allen Bradley de Rockwell Automation.

Finalmente en criterio de relacionado con los costos obtuvo una puntuación de 8 puntos, haciéndolo más atractivo a la hora de la implementación. El sistema Entek IRD con una puntuación de 2 y el sistema de SKF una puntuación de 1, esto se debe a que son productos de repuestos repuestos son costosos, en relación a la tecnologías del sistema XM.

5.2.4 Descripción arquitectura de comunicación de la propuesta tecnológica del sistema de monitoreo de vibraciones

El sistema de vibración está compuesto por 10 sensores, 8 de no contacto o proximitores que trabajan con corrientes parasitas, 1 acelerómetro que mide la aceleración de una masa y 1 key Phasor el cual su función es enviar un pulso eléctrico o señal, es la derivada del punto radial del eje rotatorio donde se encuentre, son dos tipos de sensores están ubicados en el conjunto motor-bomba para tener más precisión en las señales que se envían. Un extremo de estos sensores va conectado a la bomba y el otro extremo va un transductor de corriente del fabricante Bently Nevada totalmente compatible con los módulos de medición dinámica Allen Bradley, su protocolo de comunicación es DeviceNet, en la arquitectura también existe un convertidor DeviceNet a ControlNet por el cual posteriormente se transmitirán las señales a través de un cable coaxial tipo ControlNet hacia

una de las tarjeta del ControlLogix 5000 dispuesto con un procesador Ethernet, todas las señales recibidas en el PLC serán monitoreadas y controladas por un sistema de supervisión en este caso un SCADA-GALBA. (Ver figura 14)

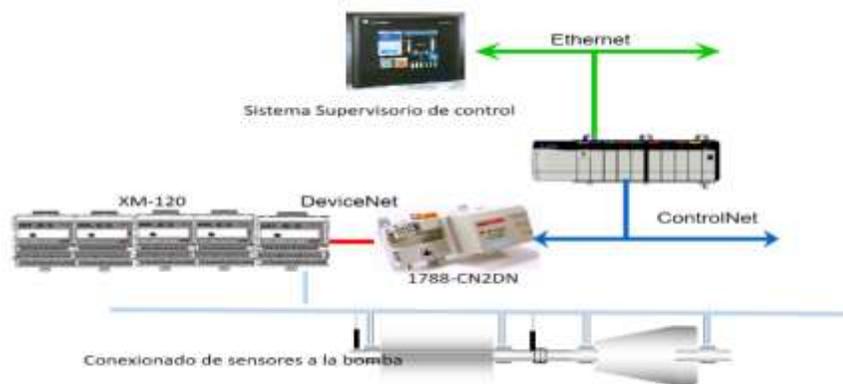


Figura 14: Arquitectura de comunicación de la propuesta seleccionada
Fuente: Autor (2017)

5.2.4.1 Características de los componentes que conforman el sistema

En esta actividad el objetivo es profundizar sobre las características de los elementos que acompañan al sistema.

- **Sensores**

En la actualidad estos sensores se han convertido en dispositivos altamente inteligentes que permiten la comunicación con los niveles superiores por medio de protocolos que posibilitan realizar chequeos de errores y otros tipos de información relativos al estado del sensor, en esta arquitectura se utilizaron los siguientes:

- **Proximito**

Se usa para registrar señales de vibración de baja frecuencia normalmente por debajo de 1000Hz, se puede considerar como un transductor de corrientes, este va instalado en el interior de la máquina y es básicamente una bobina de alambre de extremo plano, que se conjuga con un extremo de punta de cerámica, además de eso la bobina está protegida por una fina capa de vidrio epóxica. Todo el conjunto también está resguardado por un cuerpo de acero inoxidable, en forma roscada para facilitar su implantación en la bomba. Esta sonda de proximidad (Ver figura 15) va directamente conectada a un transductor inductivo el cual se instala en el exterior de la máquina, está formado por un conjunto de tarjetas de circuito impreso, fundidas en un bloque de resina y cubiertas por una caja de metálica, dejando al exterior los conectores para el sensor y los conectores para la alimentación eléctrica y la señal de salida.



Figura 15: Proximito conectado al transductor
Fuente: Autor (2017)

- **Acelerómetro**

Es un dispositivo que mide la aceleración. Trabaja de forma indirecta, es decir llevan una cantidad de masa conocida que se denomina masa sísmica, a una unión mecánica con el objeto que está siendo medido de manera que cualquier aceleración que sufre el objeto medido, la masa sísmica debe experimentar la misma aceleración. Entonces el acelerómetro detectará la fuerza ejercida sobre la masa sísmica. De la misma forma trabaja los sensores que miden la referencia de fase. (Ver figura 16)



Figura 16: Acelerómetro medidor de vibraciones

Fuente: Catalogo Bently Nevada (2012)

- **Módulos de medición dinámicos XM-120**

El módulo XM-120 funciona conectado directamente a una base terminal de 51 canales disponible, se alimenta con 24 voltios y tiene capacidad para admitir un par de señales proveniente de los transductores, una entrada para utilizar tacómetro si se desea, también consta de seis led's indicadores que se describen a continuación:

- **Estatus del módulo (MS):** Indica si el modulo opera, puede presentar tres estados sin color cuando el modulo no está siendo alimentado con voltaje, en verde quiere decir que el modulo está funcionando y en rojo puede ser titilando lo que significa que el Firmware es invalido o rojo solido que tiene alguna avería.
- **Estatus Network (NS):** Es el led de comunicación, también tiene tres estado sin color que quiere decir que se encuentra en falla, en verde titilando es alguna falla con la comunicación DeviceNet o en verde solido que es el estado ideal significa que está en línea y rojo representando la falla de comunicación.
- **Estados del Canal 1, Canal 2 y Tacómetro:** Cada vez que se conecta una señal este led es activado, sus estados son: 1) sin color: que significa que opera en condiciones normales, 2) amarilla solido: cuando la señal proveniente de los sensores está en peligro y 3) amarilla parpadeando: solo aplicable para cuando la señal del transductor no existe.
- **Indicador del setpoint múltiple (SPM):** Se colocará este led en amarillo cuando esta opción sea activada en la red.
- **Relay:** Se activará el led de color rojo cuando se hay conectado un relé de contacto al módulo. Brinda la bondad de poseer dos salidas 4-20mA para el cableado de relay que vayan directamente a la máquina y la salida de comunicación DeviceNet (Ver figura 17).



Figura 17: Módulo de medición dinámica XM-120

Fuente: Autor (2017)

- **Convertidor de señales DeviceNet a ControlNet (1788-CN2DN)**

Como su nombre lo indica convierte la señal DeviceNet a una señal ControlNet, todo esto lo realiza a través de una red DeviceNet para la cual es necesaria una resistencia de 121 ohm, cuenta con un puerto Ethernet para una configuración propia y dos canales de salida ControlNet que viajan a través de un cable coaxial directamente al PLC y una serie de led's indicadores que se describen a continuación:

- **Estatus del módulo:** Indica si el modulo opera, puede presentar tres estados en off cuando el modulo no está siendo alimentado con voltaje, en verde quiere decir que el modulo funcionando y en rojo puede estar titilando lo que significa que el Firmware es invalido o rojo solido que tiene alguna avería.
- **Linking Actividad:** Se activa cuando hay una transmisión o tráfico de datos y solo tiene dos estados en off cuando no hay ninguna transmisión y verde titilando cuando existe un mínimo envío de datos o verde solido si está operando de forma adecuada.

- **Canal A, Canal B:** Indica cuando se está conectado a una red ControlNet, bien sea por el canal A o por el canal B e incluso por los dos canales al mismo tiempo. Sus estados de comunicación son es off cuando no hay comunicación, titilando rojo y verde al tiempo cuando hay una configuración invalida de cableado, titilando solo rojo la configuración es invalida por red, titilando verde si esta temporalmente en error y verde solido cuando esta online.
- **Estatus de la comunicación DeviceNet:** Se activara cuando exista comunicación con la topología DeviceNet y los estados que presenta son sin color si esta fuera de línea, verde cuando la comunicación está establecida y rojo si existe algún error ejemplo duplicación de dirección mac.
- **Estatus de E/S DeviceNet:** Es el indicador de funcionalidad de la red en físico DeviceNet. Los siguientes son sus estados sin color cuando no alimentación de voltaje a la red o no está funcionando, en verde titilando cuando se encuentra en modo de programación y en verde solido cuando operando correctamente o en modo operando.

Es importante definir la razón de uso del convertidor 1788-CN2DN (ver figura 18) la Gerencia AIT busca estar alineada con la estructura de redes abiertas NetLinx de Rockwell Automation es una estrategia que consiste en implementar la tecnología de interconexión en redes abiertas para lograr una integración total, desde la planta hasta la administración gerencial. A demás de esto también se consideró la transmisión de datos de los dispositivos, puesto que la red DeviceNet por si sola tiene limitantes. El mayor tráfico de data es 500Kbits/s a una distancia de 100m y el menor es de 125kbits/s a 500m, por lo tanto cuando se calculó la distancia de las líneas troncales desde sala de bomba a sala de control supera el valor de la

mayor distancia, entonces se hizo necesario el pasar esa red a una más bondadosa como lo es ControlNet.



Figura 18: Convertidor de señales DeviceNet a ControlNet
Fuente: Autor (2017)

En la arquitectura propuesta se dispone del uso de una tarjeta ControlNet 1756-CNBR serie B para Rslogix 5000 que es el medio por el cual los datos llegan al PLC, que posteriormente serán monitoreados a través del SCADA-GALBA.

5.3 ETAPA III: DEFINICIÓN

En esta fase una vez analizados los requerimientos del nuevo sistema de monitoreo de los parámetros de vibración y seleccionada la plataforma de Allen Bradley, se procede a realizar el diagrama de flujo de cómo funciona el sistema así como el diagrama de conexionado. En esta fase se realizaron las pruebas de funcionamiento en el laboratorio y de esta manera se obtuvo la lista de señales que intervendrán en el sistema.

5.3.1 Elaboración del diagrama de flujo del sistema.

El diagrama de flujo se usa como representación gráfica de algún algoritmo o proceso, para este caso indica como el sistema funcionó en la parte lógica y se planteó de la siguiente forma: el módulo 1788-CN2DN funcionó como dispositivo maestro quien preguntaba a sus esclavos cada tres segundos cuál es su nivel de vibración para saber bajo que parámetros estaba operando el equipo.

El valor del nivel de paro y alarma fue dado por la norma de PDVSA N° PI-12-02-01 “VIBRACIONES EN MAQUINARIAS ROTATIVAS”, en su anexo b “Valores permisibles de vibración” expresa que los niveles de paro y alarma pueden variar según el tipo de máquina y normalmente serán seleccionados en base a valores de referencia determinados por el historial de mediciones para una posición o dirección de una maquina en particular, también añade que en caso de carecer registro de vibración y experiencia en la operación del equipo, entonces los niveles fueron obtenidos así:

- **Nivel de paro:** no debe exceder en 1,25 veces el valor del límite de zona C/D.
- **Nivel de alarma:** no debe exceder en 1,25 veces al límite de zona B/C.

Las maquinas rotativas del Patio de Tanques Travieso pertenecen a la zona B Y D. En el anexo A.2.1 “Zonas de evaluación” de la misma norma, define la Zona B: son máquinas con vibración aceptable que pueden operar por largo tiempo sin restricción; la Zona D: los valores pertenecientes a esta zona son considerados normalmente a severidad suficiente a causar daño a la máquina. Las motobombas de la sala 1 están ubicadas en el grupo 1 de la

clasificación de la zona de severidad, es decir máquinas grandes con potencia nominales sobre 300Kw (400 HP) y no más de 50MW (6700 HP) y con una altura del eje horizontal de 315mm. A continuación se muestra la tabla 7 donde se observa la clasificación de las zonas de severidad.

Tabla 7: Clasificación de las zonas de severidad, grupo 1.

Tipo de soporte	Límite de Zona	Desplazamiento μm	Velocidad
Rígido	A/B	29	2,3
	B/C	57	4,5
	C/D	90	7,1
Flexible	A/B	45	3,5
	B/C	90	7,1
	C/D	140	11,0

Fuente: PI-12-02-01

De acuerdo con la revisión de la ubicación de las bombas que están en un soporte rígido, se calculó el nivel de paro y alarma en base a la norma de PDVSA N° PI-12-02-01 "VIBRACIONES EN MAQUINARIAS ROTATIVAS", quedando de la siguiente manera:

- **Nivel de paro:** $1,25 \times 90 \mu\text{m (RMS)} = 112,5 \mu\text{m}$
- **Nivel de Alarma:** $1,25 \times 57 \mu\text{m (RMS)} = 71,25 \mu\text{m}$

Estos valores de paro y de alarma son la referencia por la cuales funcionaran sólo los 8 proximitores, calculado de la misma forma y bajo los mismos parámetros según la norma de inspección PI-12-02-01 los niveles para el acelerómetro son:

- **Nivel de paro:** $1,25 \times 7,1 \text{ mm/seg}^2 = 8,875 \text{ mm/seg}^2$
- **Nivel de Alarma:** $1,25 \times 4,5 \text{ mm/seg}^2 = 5,625 \text{ mm/seg}^2$

Los niveles de referencia del key phasor se obtuvieron mediante entrevistas no estructuradas con el mantenedor del Patio de Tanque, quedando de la siguiente forma:

- **Nivel de paro** = 4000 RPM
- **Nivel de Alarma** = 3500 RPM

El sistema en esencia funcionó con una metodología maestro-esclavo, cuando algún nivel de algún sensor supere el nivel de paro inmediatamente por sistema habrá un paro de la bomba donde se registro la falla, esta falla será atendida por el personal calificado, de este valor encontrarse por debajo del nivel paro, se vuelve a verificar el nivel de vibración, para descartar la existencia de alguna anomalía menor, que podría causar una alarma y el procedimiento a seguir será el mismo. Nuevamente existe una tercera consulta por el sistema, si el valor no se encuentra ni entre los niveles de paro ni en los de alarma, significa que el sistema está operando la bomba de forma correcta. A continuación se muestran los diagramas del funcionamiento de la bomba con los distintos sensores: Proximitor, acelerómetro y key phasor.

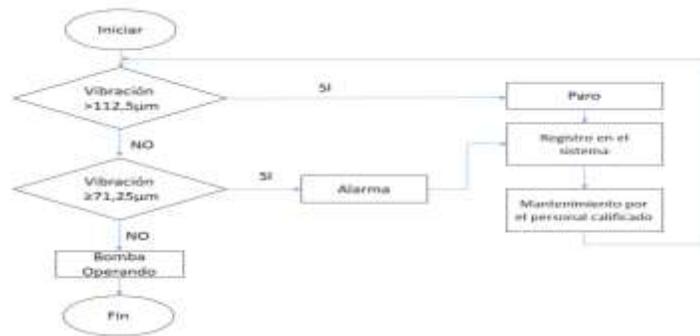


Diagrama 1: Niveles de paro y alarma del Proximitor
Fuente: Autor (2017)

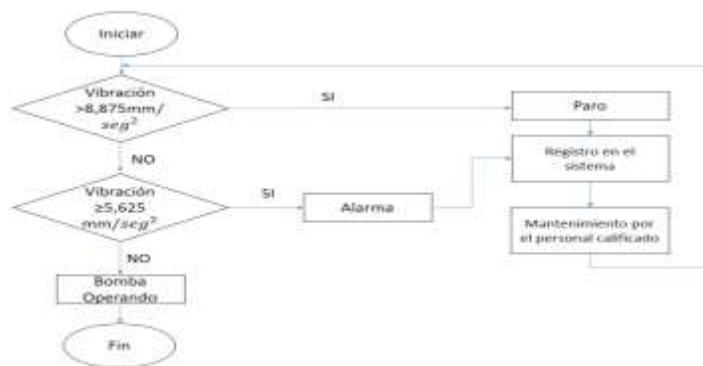


Diagrama 2: Niveles de paro y alarma del Acelerómetro
Fuente: Autor (2017)

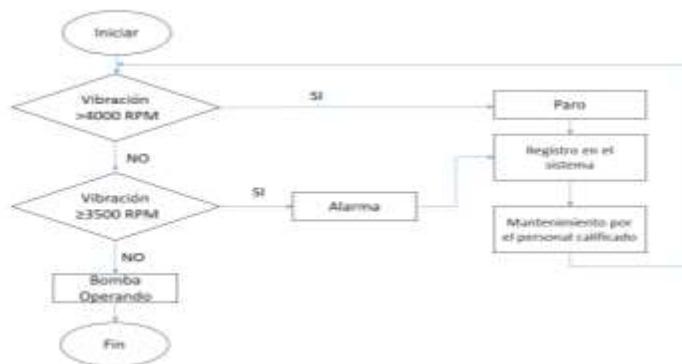


Diagrama 3: Niveles de paro y alarma del Key Phasor
Fuente: Autor (2017)

5.3.2 Propuesta del diagrama de conexionado del sistema

Para realizar esta propuesta se utilizó como herramienta de diseño el software AUTOCAD, este permitió realizar una representación del cableado cada dispositivo. En primer lugar se debe colocar cada modulo XM-120 y XM-320 en su base terminal, las bases terminales son distintas para cada modulo, después colocar los módulos, posteriormente, se deben colocar los módulos uno al lado del otro enlazando los pines de conexión. Se procedió a alimentarlos de voltaje con 24 VDC, al ser una conexión en serie, solo basta con alimentar uno de los módulos para que los demás compartan ese nivel de voltaje. Directamente desde la fuente de alimentación se dispone de un par de cables, uno positivo y el otro negativo, el cable positivo al puerto se conecta al puerto número 44 de la base terminal y el negativo al puerto número 45. Uno de los extremos del sensor se cablea hacia la bomba, ubicado bajo especificaciones y el otro extremo va a un transductor este encargado de transformar o convertir una determinada manifestación de energía de entrada, en otra diferente a la salida, pero de valores muy pequeños en términos relativos con respecto a un generador.

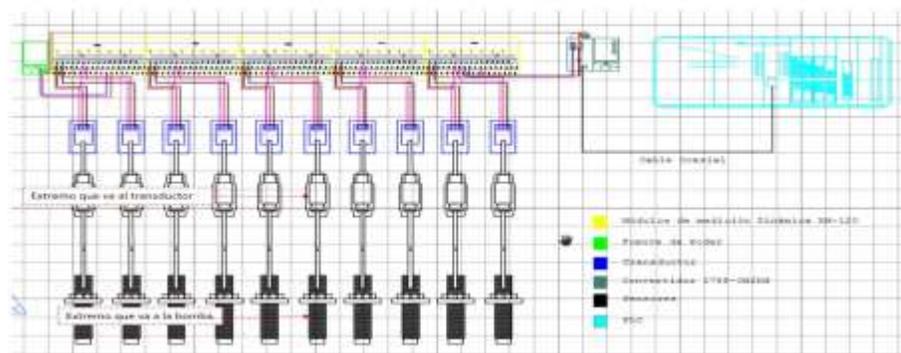


Diagrama 4: Conexionado del sistema

Fuente: Autor (2017)

Las salidas del transductor son tres señales un común, una salida y un voltaje de -24VDC, estas van directamente a los módulos XM, para el caso de los XM-120 hay que definir en canal se quiere canal1 o canal 2 (CH1, CH2). Para el primer sensor se tomó el CH1 y su cableado es el siguiente:

La señal común va al puerto número de 16, la señal de salida (Output) del transductor al llegar al modulo es una entrada (Input), va al puerto número 0 de la base terminal. Y la señal de -24VDC va al puerto número 5, conectándose a su vez con el puerto número 21, esto con el fin de configurarlo con un voltaje de -24v a +9v.

Para un segundo sensor la salida del transductor es la misma y va al modulo XM-120 por el CH2 de la siguiente forma:

La señal común va al puerto número de 17, la señal de salida del transductor al llegar al modulo y es un Input, es decir una entrada, va al puerto número 1 de la base terminal. Y la señal de -24v va al puerto número 22, puenteado después al puerto número 21, esto con el fin de configurarlo con un voltaje de -24v a +9v igual que en el arreglo pasado.

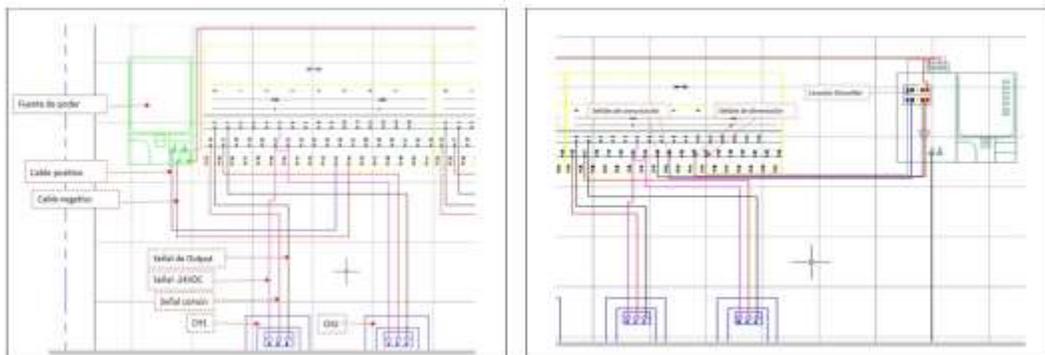


Diagrama 5: Conexión del sistema

Fuente: Autor (2017)

Es necesario hacer la salvedad, que ésta configuración es sólo para los sensores de no contacto o proximitores. Una vez que se tengan todos los sensores conectados a los transductores y éstos a los módulos XM-120. Van cableados hacia el convertidor DeviceNet a ControlNet modelo 1788-CN2DN.

Los sensores de contactos después de ir conectados al transductor van hacia el XM-320 de la siguiente forma, el canal 1 para el acelerómetro y el canal 2 para el key phasor, con la configuración de cableado igual. Todas estas señales van a un convertidor el cual es alimentado directamente de la fuente de volteje de 24v van a él conector de poder, punto positivo en conector rojo y punto negativo en el conector negro.

La comunicación entre módulos XM-120, XM-320 y el convertidor 1788-CN2DN es a través del protocolo DeviceNet, por lo cual su cableado es así salen cuatro señales de la base terminal de los XM, de los puertos 23, 24 las señales de comunicación, cables de color blancos y azul. De los puertos 26, 27 las entradas de alimentación, cable rojo para el positivo y cable negro para el negativo

.

Las cuatro señales van al conector terminal del convertidor, cada una identificada por color. Entre la cavidad terminal azul y blanca va una resistencia de 121ohm.

El convertidor tiene dos canales de comunicación A y B, por el canal A se conecta un extremo del cable coaxial 1786TPR y el otro extremo va a la tarjeta ControlNet 1756-CNBR ubicada en el chasis del ControlLogix 5000, como se puede apreciar el diagrama 4 de conexionado del sistema.

5.3.3 Pruebas realizadas a los dispositivos (en laboratorio)

Con el objetivo de conocer el funcionamiento de los dispositivos y la lectura sobre los datos transmitidos se procedió a realizar el ensamblaje de los equipos en el laboratorio, se conectaron de acuerdo al manual de cada dispositivos y las especificaciones del fabricante, la pruebas arrojaron resultados positivos, logrando la comunicación entre los dispositivos, en las siguientes figuras se muestran los equipos conectados en el laboratorio.



Figura 20: Sensor conectado al transductor y al modulo XM
Fuente: Autor (2017)

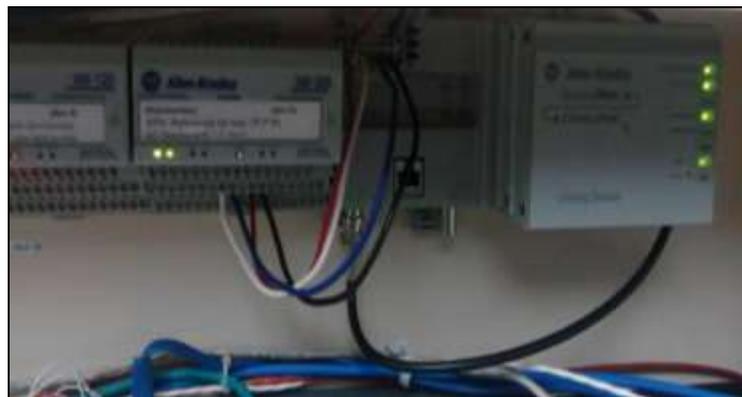


Figura 21: Módulos XM conectado al convertidor 1788-CN2DN
Fuente: Autor (2017)

Una vez instalado y conectado el arreglo de dispositivos, se configuraron la redes que intervienen en el sistema, la primera fue la red DeviceNet, iniciando con la asignación de direcciones físicas a cada dispositivo XM, esto se hizo a través de un conmutador que se encuentra en la parte trasera de los módulos, se enumeraron del 01 al 05, el convertidor 1788-CN2DN posee dos direcciones físicas, es decir la 07 para la red DeviceNet y la 02 para la red ControlNet, en la figura 22 se muestra la configuración de la red DeviceNet.

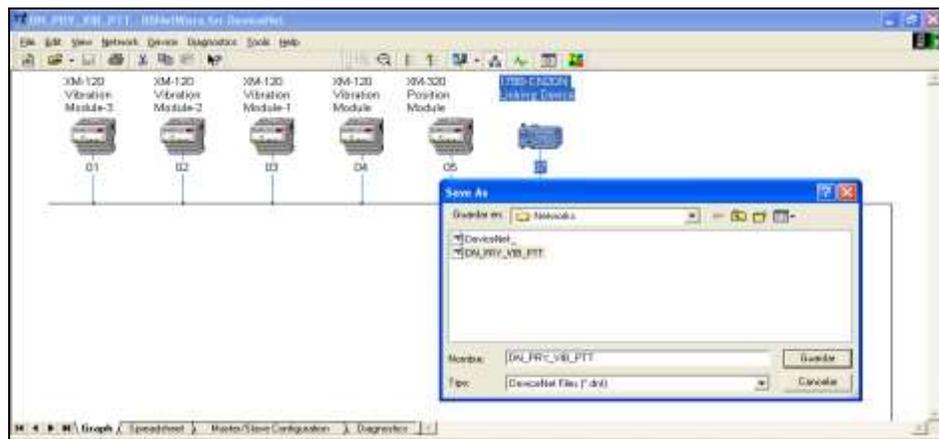


Figura 22: Red DeviceNet
Fuente: Autor (2017)

La configuración de la red DeviceNet se hizo a través del software RsNetworks para DeviceNet, luego del reconocimiento de cada dispositivo en la red se seleccionaron los parámetros que se visualizarán, así como las unidades de medición. En el caso de los proximitores la unidad de ingeniería es el micrón (μm), representa una decima parte de un milímetro (mm). La de acelerómetro es milímetro sobre segundo cuadrado (mm/seg^2) y el sensor de referencia de fase es revoluciones por minutos (RPM). En la figura 23 se

observa la pantalla del programa donde se puede seleccionar los parámetros.

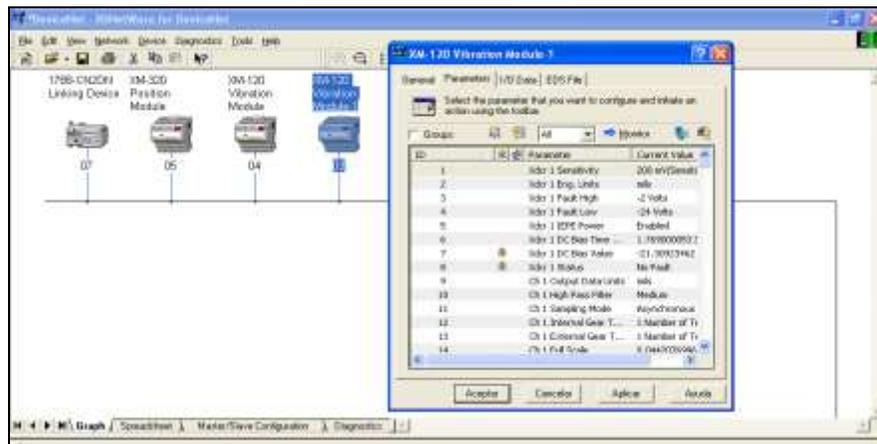


Figura 23: Parámetros de la Red DeviceNet
Fuente: Autor (2017)

La construcción de la red ControlNet fue primordial, puesto que es donde se generó el archivo que luego fue importado para la construcción de la Lógica. (Ver Figura 24)

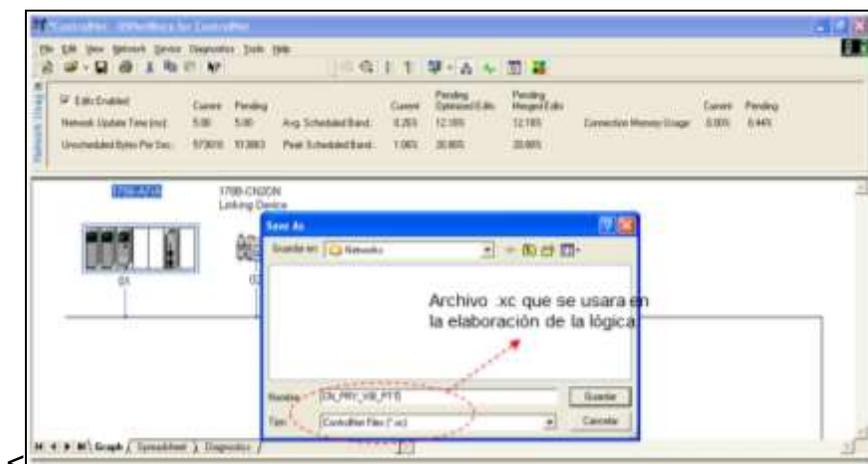


Figura 24: Red ControlNet
Fuente: Autor (2017)

5.3.4 Obtención de la lista de señales del sistema.

Cada sensor se ubicó en un área específica del conjunto motor-bomba y la variable que media se relaciona con la posición que ocupó, se dispusieron en pareja los proximitores, uno para la vibración radial vertical, el otro para la vibración radial horizontal; la primera pareja se encuentra ubicada en el lado libre del motor, la segunda en el lado acople del mismo, la tercera en el lado acople de la bomba y la cuarta en el libre de ésta.

El acelerómetro se ubicó en la parte axial de la bomba y el sensor de referencia de fase en la parte acople del motor.

En la figura 25 se muestra gráficamente la ubicación de los sensores.

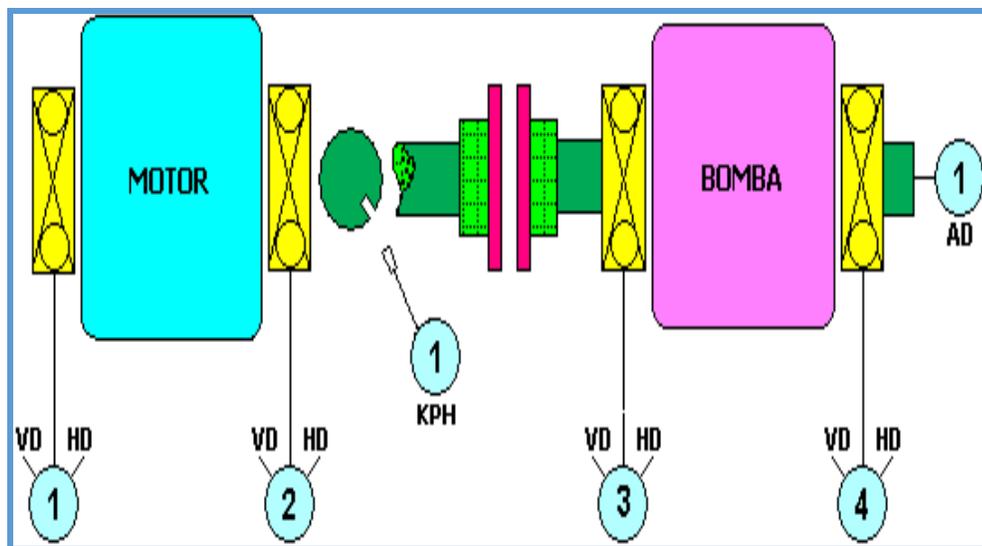


Figura 25: Ubicación de los sensores
Fuente: Autor (2017)

En la tabla 8 se muestra lista de variables para cada bomba, con su descripción y la etiqueta correspondiente

Tabla 8: Variables para cada bomba

	Descripción de la variable	Tag
1	Vib. Radial Vertical Lado Libre Motor	VDRLLM_00
	Vib. Radial Horizontal Lado Libre Motor	VHRLLM_00
2	Vib. Radial Vertical Lado Acople Motor	VDRLAM_00
	Vib. Radial Horizontal Lado Acople Motor	VHRLAM_00
3	Vib. Radial Vertical Lado Libre Bomba	VDRLLB_00
	Vib. Radial Horizontal Lado Libre Bomba	VHRLLB_00
4	Vib. Radial Vertical Lado Acople Bomba	VDRLAB_00
	Vib. Radial Horizontal Lado Acople Bomba	VHRLAB_00
1	Referencia de Fase (RPM)	KPH_00
1	Desplazamiento Axial	AD_00

Fuente: Autor (2017)

5.4 ETAPA IV: IMPLANTACIÓN

En esta fase, después de realizadas las pruebas de laboratorios, se comenzó con la integración de los equipos al Controlador Lógico Programable para la elaboración de la lógica de control y a la construcción de los despliegues que luego se enlazaron con el sistema SCADA-GALBA.

5.4.1 Construcción de la lógica de control en el PLC.

5.4.1.1 Iniciando comunicación con el software RSlinx

El software Rslinx es usado para el reconocimiento de dispositivos y redes, cuando se desplego el árbol de comunicación Ethernet, se observó, el tipo de controlador que se usó en este proyecto, procesador 1756-L61

ControlLogix y de igual forma el modelo del chasis seleccionado y la ranura en la que se ubicó, en este caso se utilizó un chasis modelo 1756-A7, para la selección del procesador y del chasis la premisa fue que estuviera disponible en almacén, el procesador se ubicó en el slot 0, este software permite ver las redes que antes se han construido como lo es DeviceNet y ControlNet. (Ver figura 26

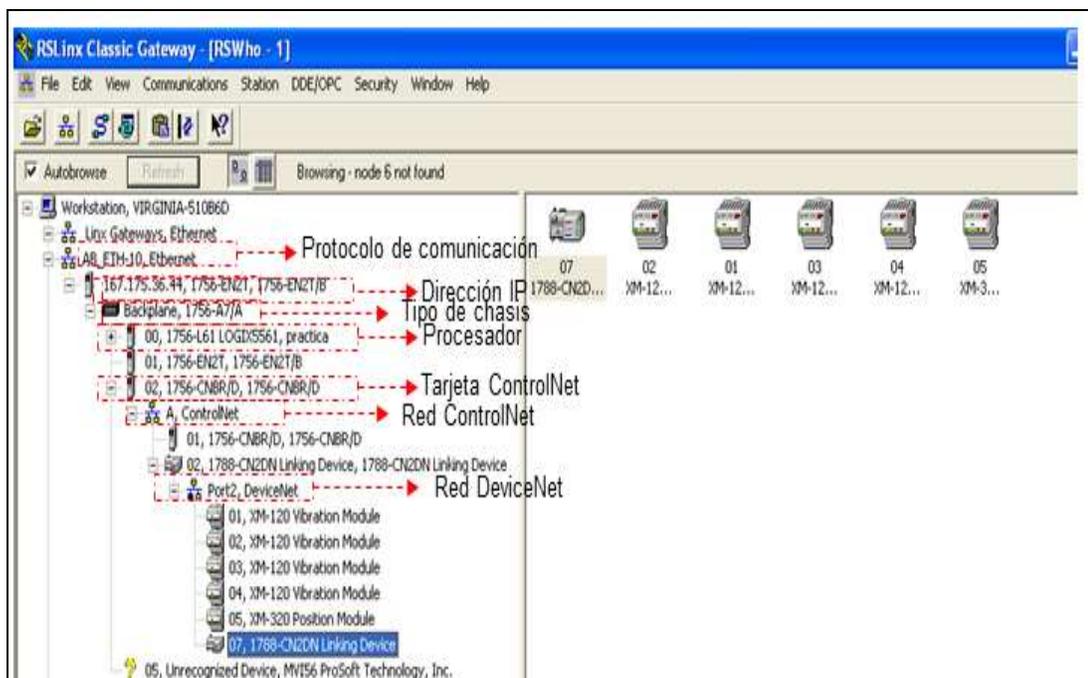


Figura 26: Árbol del Software Rslinx
Fuente: Autor (2017)

5.4.1.2 Creación de un nuevo proyecto

Para la creación de un proyecto r en RSLogix5000 se debe seleccionar desde el menú principal File la opción **New Controller**. Luego de crear el nuevo proyecto se observa del lado izquierdo del programa un menú el cual muestra varias carpetas y subcarpetas donde estará almacenada la lógica

del PLC y otras configuraciones que se adapten a las necesidades para este proyecto, también se puede notar al final del menú aparece el chasis y controlador seleccionado con el nombre del proyecto

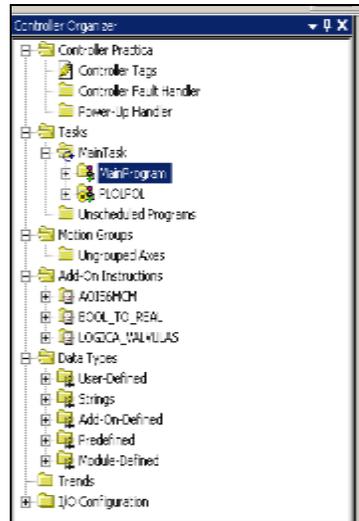


Figura 27: Proyecto creado
Fuente: Autor (2017)

Se puede observar al desplegar la carpeta llamada MainProgram otras secciones, una de estas llamada MainRoutine donde estará almacenada la lógica principal del programa, y de igual forma se observa que se abre una nueva ventana del lado derecho, en ella se realizará el diseño de la lógica de programación específicamente para la rutina principal del programa.

5.4.1.3 Instalación de las tarjetas de entrada y salida necesarias para trabajar en este proyecto

Una vez que se crea el proyecto, el siguiente paso es agregar y configurar las tarjetas de E/S para la aplicación de control. Para la creación de un módulo de este tipo se debe pulsar con el botón derecho en la carpeta

Configuration I/O que se puede encontrar en la ventana que muestra la estructura organizativa del proyecto.

Una vez pulsado se debe seleccionar **New module** y aparecerá el cuadro de diálogo **Select Module Type**(Ver figura 28)

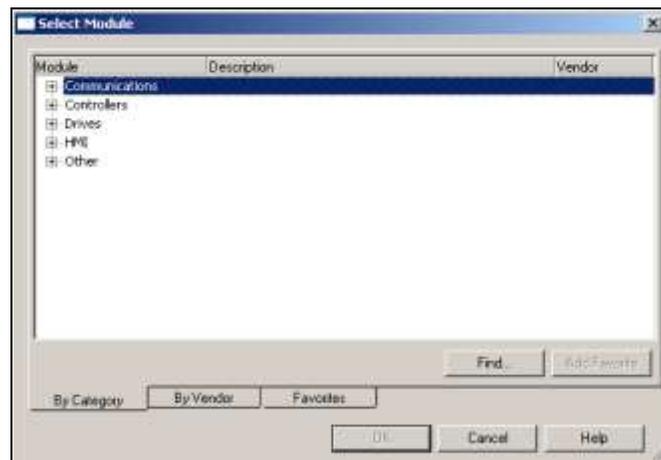


Figura 28: Selección del tipo de módulo
Fuente: Autor (2017)

Seguidamente se mostrará un cuadro de dialogo y en éste debe elegir el módulo a crear, entre los distintos tipos que reconoce la aplicación RSLogix 5000. Además se debe añadir el número correspondiente a la revisión principal (mejor revisión) del nuevo módulo, número que se encuentra indicado en el frontal del módulo.

En la figura 29 se muestra la configuración de la tarjeta ControlNet 1756-CNBR-B necesaria para este proyecto.

5.4.1.4 Creación de tareas y sub tareas

Para la programación se utilizó la rutina principal en lenguaje escalera conformada por veintiún sub rutinas (Ver tabla9)

Tabla 9:Sub rutinas creadas en lenguaje de programación escalera

Sub rutina	Lenguaje de programación
ALARMA_VIBRACION _B1	ESCALERA
ALARMA_VIBRACION _B2	ESCALERA
ALARMA_VIBRACION _B3	ESCALERA
ALARMA_VIBRACION _B4	ESCALERA
ALARMA_VIBRACION _B5	ESCALERA
ALARMA_VIBRACION _B6	ESCALERA
ALARMA_VIBRACION _B7	ESCALERA
ALARMA_VIBRACION _B8	ESCALERA
ALARMA_VIBRACION _B9	ESCALERA
ALARMA_VIBRACION _B10	ESCALERA
LECTURA_VIBRACION	ESCALERA
PARO_VIB _B1	ESCALERA
PARO_VIB _B2	ESCALERA
PARO_VIB _B3	ESCALERA
PARO_VIB _B4	ESCALERA
PARO_VIB _B5	ESCALERA
PARO_VIB _B6	ESCALERA
PARO_VIB _B7	ESCALERA
PARO_VIB _B8	ESCALERA
PARO_VIB _B9	ESCALERA
PARO_VIB _B10	ESCALERA

Fuente: Autor (2017)

Luego de tener configurada la tarjeta ControlNet y la tarjeta de salida de relé y los módulos de comunicación, se procedió a crear las subrutinas que se utilizaron en la lógica del PLC. En la figura 31 se observa a modo de ejemplo como se creó una subrutina “ALARMA_VIBRACION_B1” y configuración que implica.

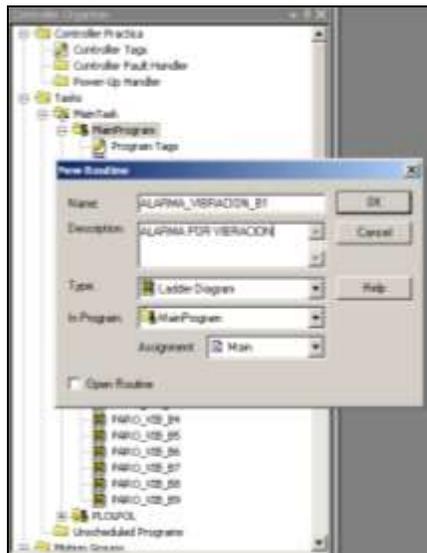


Figura 31: Creación de la subrutina “ALARMA_VIBRACION_B1”
Fuente: Autor (2017)

5.4.1.5 Desarrollo de la lógica de control en RsLogix 5000

El haber creado un proyecto nuevo y configurado el software de comunicación se inició la programación de la lógica de control. Con este software no solo se programan aplicaciones, sino que también se utiliza para configurar los parámetros variables de los módulos de E/S o para monitorizar el estado del sistema.

- **Rutina Principal: Main Program**

Para esto se comienza creando la lógica de la rutina principal la cual tiene como función llamar todas las otras subrutinas creadas para que se ejecuten con un orden específico y permitir que la lógica funcione.

- **Subrutina: LECTURA_VIBRACION**

Esta subrutina tiene un solo escalón de programación (rung) y consiste en asignar una ubicación a cada variable dentro de la memoria del convertidor, las variables dentro del convertidor se asignaron por zona de ubicación dentro de la bomba, lado libre del motor, lado acople del motor, lado acople de la bomba, lado libre de la bomba, cada una de ella se mide tanto vertical como horizontal respectivamente. Por lo cual a cada palabra (variable) se le asignaron cuatro byte, dos para el lado vertical y dos para el lado horizontal, además de las variables de referencia de fase y desplazamiento axial a cada una se asignaron dos byte reconocidos en una misma palabra (Ver figura 32)

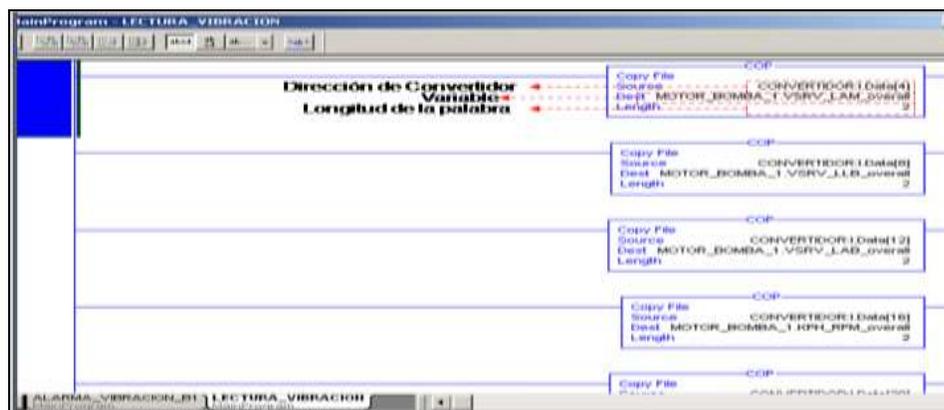


Figura 32: Subrutina LECTURA_VIBRACION

Fuente: Autor (2017)

En la tabla 10 se muestra la distribución de cada variable dentro del convertidor 1788-CN2DN, que es importante resaltar que cuenta con una capacidad total de 124bytes, esto se hizo sucesivamente para las 10 bombas.

Tabla 10: Distribución de cada variable dentro del 1788-CN2DN

Variable	Ubicación dentro del 1788-CN2DN
Vibración Radial Lado Libre Motor	Convertidor.Data (4)
Vibración Radial Lado Acople Motor	Convertidor.Data (8)
Vibración Radial Lado Libre Bomba	Convertidor.Data (12)
Vibración Radial Lado Acople Bomba	Convertidor.Data (16)
Referencia de fase (RPM)	Convertidor.Data (18)
Desplazamiento axial	Convertidor.Data (20)

Fuente: Autor (2017)

- **Subrutina: ALARMA_VIBRACIÓN**

Se encarga de comparar a través del bloque de programación GEQ, si el nivel de las variables de vibración es mayor o igual a los niveles de alarma ya antes descrito (71,25 μ m; 5,625 mm/seg²eg y 3500 RPM, para el proximitor, acelerómetro y key phasor respectivamente) y también compara si el nivel de vibración es menor, por medio del bloque LES, a los niveles de paro (112,5 μ m; 8,875mm/seg²eg y 4000 RPM),si el nivel es superado habrá un salida sonora (Ver figura 33), esta alarma fue programada para las diez bombas de la sala 1.

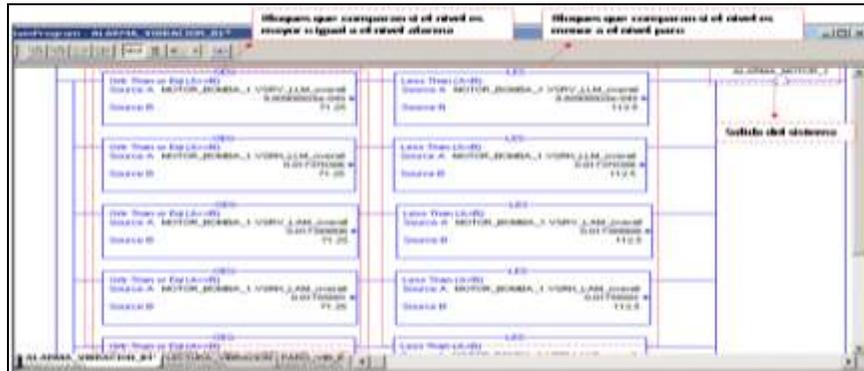


Figura 33: Subrutina ALARMA_VIBRACION_B1
Fuente: Autor (2017)

- **Subrutina: PARO_VIB**

Esta subrutina evaluará, por medio del bloque de comparación GEQ, si el nivel de las variables de vibración es mayor al nivel de paro de cada sensor ($112,5\mu\text{m}$; $8,875\text{mm}/\text{seg}^2$ y 4000 RPM, para el proximitor, acelerómetro y key phasor respectivamente), cuando este valor fue sobrepasado ocurre un disparo a los relés de contacto, éste cambio se hace por medio de la tarjeta de relé 1756-OW16 ubica en el chasis del PLC (Ver figura 34).

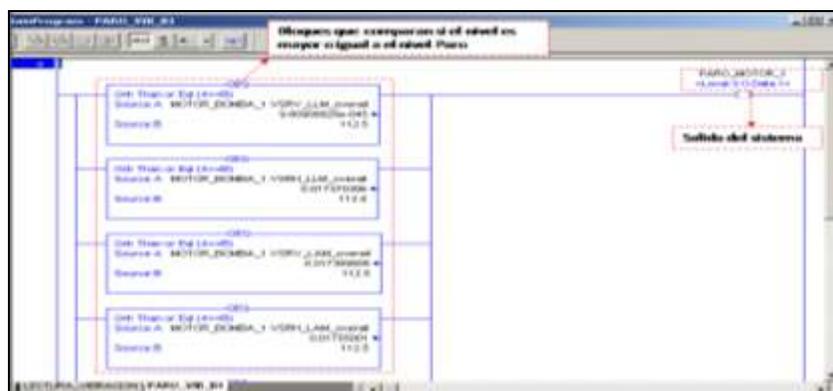


Figura 34: Subrutina PARO_VIB_B1
Fuente: Autor (2017)

Toda esta lógica basada en las variables de vibración de las bombas, fue añadida la rutina de parada y arranque ya establecida en el Patio de Tanques Travieso.

5.4.2 Elaboración de los despliegues estáticos SCADA

En este punto se procedió a realizar lo despliegues que sirvieron para visualizar las actividades realizadas en la sala de bomba 1, por el SCAD-GALBA. Para este diseño se utilizó el modelado en 3D con el software blender por lineamiento de la Gerencia AIT (Ver figura 35).

Dado que permite la producción de animaciones de alta calidad, realizar rendering, modelar, aplicar texturas, animar y exportar el producto final, además se escogió este software porque es el estándar usado por la empresa Guardián del Alba.



Figura 35: Software de Modelado en 3D BLENDER
Fuente: Software blender

Para realizar el despliegue de la sala de bomba 1, en primer lugar se construyó el despliegue de la bomba P-101 y esta se tomó como referencia para realizar las otras nueve bombas.

En primer lugar se creó las animaciones del motor, la bomba pre lubricadora, el ventilador, las líneas de succión y descarga así como las válvulas encargadas de monitorear la presión, entre otras detalles que se observaron en las visitas al Patio de Tanques Travieso.

En la figura 36 se muestra el despliegue de la bomba P-101 en el software blender.

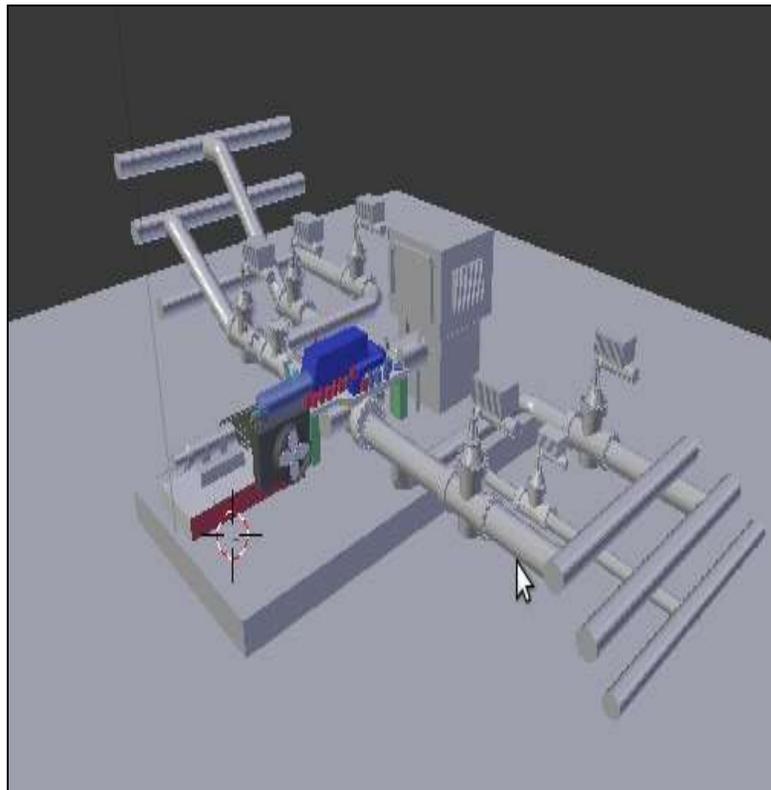


Figura 36: Modelado en 3D de la bomba
Fuente: Autor (2017)

Como ya antes expuesto el software blender permite renderizar, (rendering), esto se trata de hacer el despliegue estático, se procedió a renderizar la imagen en el mismo programa y guardarla en formato PNG, esto con la finalidad de utilizar otra herramienta de edición e imagen llamada GIMP y de esta forma eliminar el fondo con el cual se guarda la imagen y eliminar todos los pequeños detalles luego de guardar la imagen, este procedimiento se realiza con el fin ocasionar los menores inconvenientes a la hora de usar las herramientas que brinda la plataforma Guardián del ALBA y de esta forma poder culminar el despliegue (Ver figura 37)

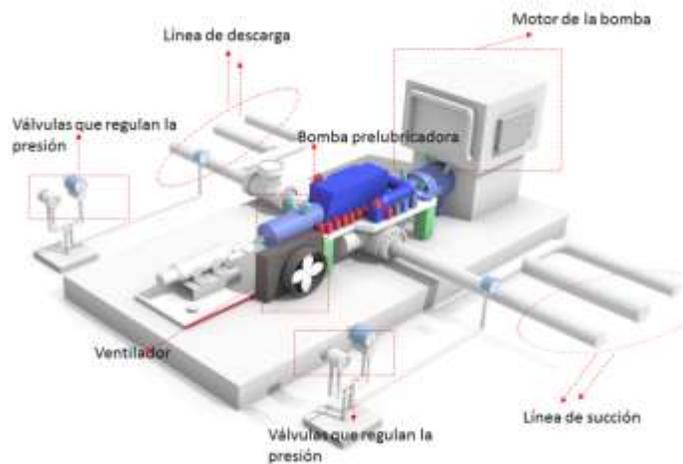


Figura 37: Bomba P-101 renderizada del PTT
Fuente: Autor (2017)

También con esta herramienta se agregaron las animaciones animaciones asociadas al despliegue en producción, las cuales quedaron definidas de la siguiente manera: Color rojo: Estado de Operación; Color Verde: Cuando la bomba esté detenida. Como se muestra a continuación

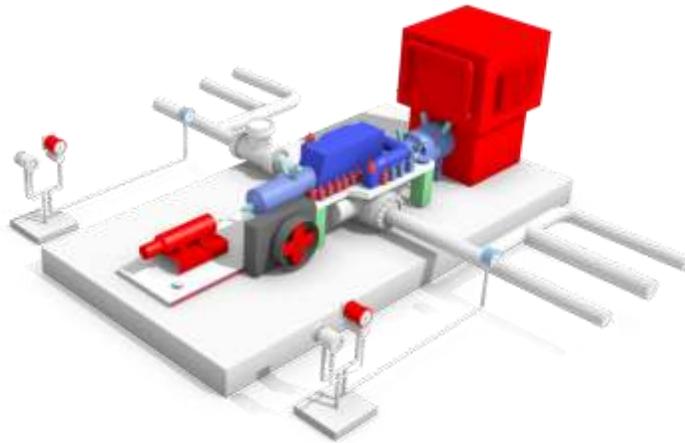


Figura 38: Bomba P-101 operando
Fuente: Autor (2017)

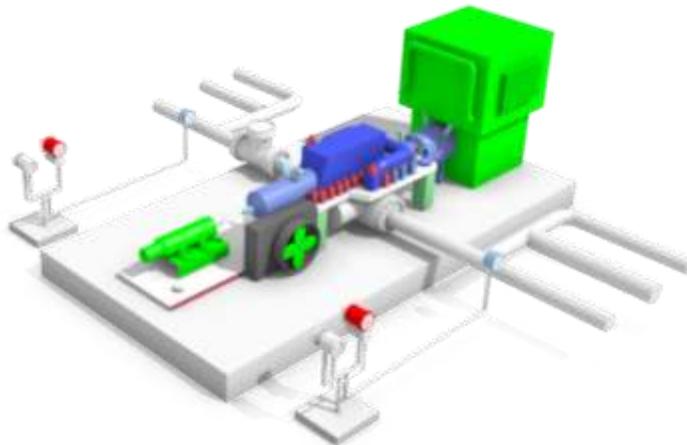


Figura 39: Bomba P-101 parada
Fuente: Autor (2017)

5.4.3 Conexión de la base de datos al sistema GALBA

La base de datos histórica contiene la información persistente de los datos recolectados de los dispositivos XM, se configuró cada sensor para leer una sola variable por lo tanto una bomba arrojó diez señales de tipo

analógicas, dos digitales que indicarán alarma y paro del motor, puesto que son diez bombas en la sala 1 se obtuvieron cien señales de tipo analógica y veinte de tipo digital, se utilizó la herramienta el JConfig disponible para el sistema SCADA Guardián del Alba para interactuar con los datos así como creación de usuarios, nodos, entre otros. En la figura 40 se muestra la pantalla con el árbol de configuración de la herramienta JConfig de este proyecto.

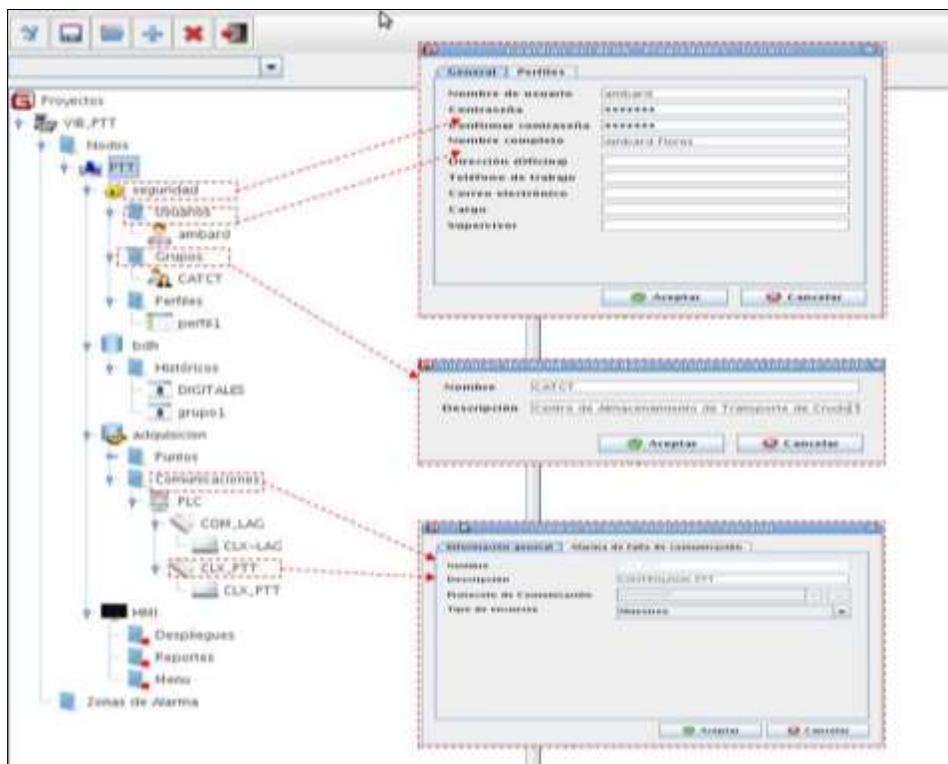


Figura 40: JConfig del sistema de vibración

Fuente: Autor (2017)

Seguidamente que declaró el nodo donde se va a trabajar, el nivel de seguridad que tiene el usuario, el grupo a cual pertenece, se estableció la comunicación y el dispositivo. Para la importación de las señales, tanto analógicas como digitales es necesario en primera instancia la construcción

utilizando un conjunto de gráficos con diferentes funciones, controles y widgets, permitiendo obtener la pantalla para la supervisión y el control del proceso. En la configuración del despliegue se utilizó un Mimic que contiene los objetos gráficos, varios Meter y Label, para la animación del despliegue. La configuración de cada bomba se anexó como un ventana emergente, al despliegue general de la sala de bomba1, cada comando que se le asignó al despliegue va enlazado con una variable digital. Como se puede observar en la siguiente figura.

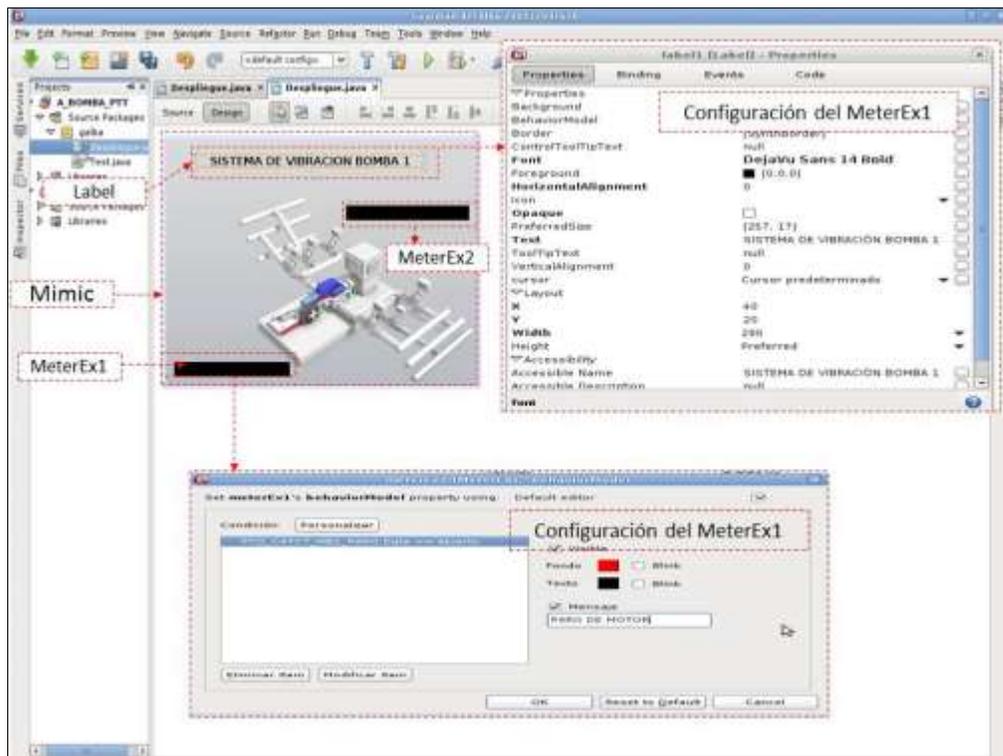


Figura 42: Configuración en JEDICION para la bomba 1
Fuente: Autor (2017)

5.4.5 Puesta en marcha en fase de prueba del sistema de supervisión y control.

En la ejecución de la fase de pruebas del sistema de supervisión y control desarrollado, se efectuó por medio del entorno JDesktop del SCADA Guardián del ALBA, en este entorno se realizaron la pruebas y se observó el comportamiento de las bomba cuando se encuentra en estado operativo, si presenta alguna falla por alarma de vibración y si existe un paro de la bomba.

Con se muestra en las siguientes figuras:



Figura 43: Bomba 1 en estado operativo
Fuente: Autor (2017)



Figura 44: Bomba 1 indicando una alarma de vibración
Fuente: Autor (2017)



Figura 45: Bomba 1 indicando un paro por vibración
Fuente: Autor (2017)

El SCADA-GALBA fue realizado de tal manera que las bombas en estado de reposo se muestren en color gris, dado que no toda trabajan al mismo tiempo, algunas pueden estar en mantenimiento por presentar fallas o en reposo por los largos períodos de operación. El color rojo se designó cuando la bomba esté operando como observa en la figura 43, es decir, que su nivel de vibración, se encuentra por debajo de los niveles de paro y alarma, como se observa en el meterEx. Es importante mencionar que el sistema escanea el estado de los equipos cada tres segundos, configurado de esta forma en la lógica de control.

En las pruebas que realizaron se observó que cuando el sistema detecta que el nivel de vibración del conjunto motor-bomba cambió a un color verde con una etiqueta amarilla indicando la falla y con una etiqueta roja cuando se presente un paro por exceder el nivel de vibración, a demás todas las fallas serán registradas en el sumario, herramienta disponible en el SCADA- GALBA.

CONCLUSIONES

El principal objetivo del sistema de bombeo del PTT es proporcionar la presión suficiente para lograr el envío de crudo a los terminales de almacenamiento TAEJ, TAEG y CATCA.

En el estudio del proceso operacional se determinó, que el arranque y la parada de las bombas se puede ejecutar a través de tres métodos: manual local, manual remoto y automático, sin embargo, ninguno de estos considera la variable de vibración de las bombas.

Por medio de la realización de la matriz de evaluación técnica; se eligió la tecnología XM Allen Bradley por encima de las otras disponibles en el mercado, porque cumple con los requerimientos mínimos y por la facilidad de asesoría técnica que proporciona el proveedor.

A utilizar el convertidor de señales 1788-CN2DN se optimizó la propuesta, se logra seguir la estructura de redes Netlinx y corregir la limitante de transmisión de datos, dado que el valor máximo es de 125kbits a 500m y la suma de la línea troncal más las líneas derivativas, es decir, la distancia desde sala de control hasta sala bomba supera dicho valor.

Los niveles de paro y alarma quedaron establecidos según la norma PDVSA N° PI-12-02-01 "VIBRACIONES EN MAQUINARIAS ROTATIVAS"; para el Proximitor (112,5 μm y 71,25 μm), acelerómetro (8,875 mm/seg² y 5,625 mm/seg²) y Key Phasor (4000 RPM y 3500 RPM) respectivamente.

Desde la red DeviceNet se seleccionan los valores que se van a monitorear y en la red ControlNet es donde se genera el archivo que se importó en la construcción de lógica que contendrá los datos de vibración de la máquina.

La nueva lógica de parada y arranque de las bombas considera los niveles de vibración de las bombas, alguna falla por este factor podría causar el paro inmediato del bombeo de crudo y hasta daños a los equipos rotativos, acarreando pérdidas económicas importantes

El sistema SCADA GALBA para la supervisión y control de los procesos del PTT se realizó en software libre, incluyendo el software de diseño Blender 3D. Durante la ejecución de pruebas con el apoyo de personal AIT se verificó la integridad de las señales analógicas y la recepción de datos de los sensores y módulos XM.

La implantación del sistema en su fase piloto demostró que cuando el nivel de vibración de los equipos rotativos supera los parámetros establecidos, existe un paro de bomba que consiste en disparar los relés, para cortar la energía que alimenta dicha bomba y una señal de alarma cuando se presente alguna falla que se visualiza en el SCADA

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABC innovación y tecnologías S. de R.L de C.V. (1994). ¿qué es un plc?
ABC Electronic`s , <http://www.abcinnova.com/articulos-e-informacion/18-ique-es-un-plc-y-que-beneficios-tiene.html>.
- Alberto, L. (2009). *Implementación de un plan de manatenimiento predictivo de equipos rotativos basado en el analisis de vibraciones en una planata embotelladora*. Puerto la Cruz: Universidad de Oriente.
- Arias, F. (1999). *Proyecto de Investigación*. Caracas: Episteme.
- Balestrini, A. (2002). *Como se elabora el proyecto de investigación*. Caracas: 6a. Ed.
- Bradley, A. (1999). *Sistemas de Vibración*.
- Chan, D. (2015). *Migracion de un sistema SCADA S3 a un sistema SCADA-Guardian del Alba*. Maturín.
- Comite de operación, P. (1999). *Guia de gerencia para proyectos de inversión capital*. Caracas: Comite de operación de PDVSA.
- Gutiérrez, D., & Serna, E. (2014). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de vibraciones en un equipo rotativo de buencafé liofilizado de Colombia (Estudio de caso)*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

J., M. K. (2000). *Máquinas hidráulicas*. Cesca.

Kalpakjian, S. S. (2002). *Manufactura, ingeniería y teconología*. Mexico: Pearson Educación.

Murrillo, M. (2000). *Teoria de Redes de Computadoras*.

Navarro, M. (2011). *Estudio para implementación de alarmas en el sistema de Monitoreo continuo de celulosa*. Valdivia- Chile: Universidad Austral de Chile.

Oscar, B. (2009). *Automatización industrial*. México.

Reyes, k. (2009). *Transporte y Almacenamiento de hidrocarburo*. Caracas- Venezuela.

Serrano, G. (Automatización del multiple de recibo del PTT). 2014. Maturín.

Smith, C. C. (1991). *Control Automático de Procesos (teoría y práctica)*. México D.F: Limusa.

Tamayo y Tamayo, M. (2004). *Proceso de la invetsigación Científica*. Mexico: Limusa.

HOJAS METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 1/6

Título	“Implantación de un sistema de monitoreo de vibraciones para la sala de bombas 1 del patio de tanques travieso (PTT) de la división punta de mata de petróleos de Venezuela”
---------------	---

El Título es requerido. El subtítulo o título alternativo es opcional.

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Flores Tabata, Ambard Dubraska	CVLAC	C.I: 25 431 330
	e-mail	ambard.flores@gmail.com
	CVLAC	C.I:
	e-mail	

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres de un autor. El formato para escribir los apellidos y nombres es: “Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2”. Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores.

Palabras o frases claves:

sistema de vibración
bombas
módulos xm
scada
pasantía

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Sub-área
Tecnología y Ciencias Aplicadas	Ingeniería de Sistemas

Resumen

El objetivo principal de este proyecto es implantar un sistema de monitoreo de parámetros de vibración para la sala de bombas 1 ubicada en Patio de Tanques Travieso de la División Punta de Mata de Petróleos de Venezuela, para lograr esta premisa se siguió la metodología de campo GGPIIC, abarcando cuatro de sus cinco etapas; iniciando con él estudió del proceso operacional en el cual se logró conocer el mecanismo de arranque y parada de las bombas, siendo un punto relevante que dicho proceso no contemplaba las variable de vibración de los equipos. Seguidamente se hizo una evaluación técnica de la tecnología a utilizar por medio de una matriz de selección, que arrojó como mejor propuesta la XM de Allen Bradley para su desarrollo se usaron los siguientes dispositivos proximitor, acelerómetro y key phasor, un convertidor de señales 1788-CN2DN, adicionalmente se determinó los niveles de paro y alarma de cada sensor, basado en la norma de PDVSA N° PI-12-02-01 "VIBRACIONES EN MAQUINARIAS ROTATIVAS". Los niveles obtenidos fueron fundamentales para la construcción de la lógica de control hecha en lenguaje escalera y desarrollada en un PLC (ControlLogix 5000). El software libre Blender 3D sirvió como herramientas de diseño de los despliegues de la sala de bombas que fueron utilizados en el SCADA-GALBA, de esta manera se pudo realizar pruebas pilotos del sistema de vibración y así comparar su funcionamiento.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Dr. Cristhian Ronceros	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I. 29 735 626
	e-mail	croncerosm@gmail.com
Ing. Judith Devia	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I. 15 154 323
	e-mail	Jdevia@udo.edu.ve
Ing. Henry Reinoza	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I 8 030 340
	e-mail	Hreinoza@udo.edu.ve

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres del tutor y los otros dos (2) jurados. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad).. La codificación del Rol es: CA = Coautor, AS = Asesor, TU = Tutor, JU = Jurado.

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2017	11	27

Fecha en formato ISO (AAAA-MM-DD). Ej: 2005-03-18. El dato fecha es requerido.

Lenguaje: spa Requerido. Lenguaje del texto discutido y aprobado, codificado usando ISO 639-2. El código para español o castellano es spa. El código para ingles en. Si el lenguaje se especifica, se asume que es el inglés (en).

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo
NMOPTG_FTAF2017

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 _ - .**

Alcance:

Espacial: _____ (opcional)

Temporal: _____ (opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero de Sistemas

Dato requerido. Ejemplo: Licenciado en Matemáticas, Magister Scientiarum en Biología Pesquera, Profesor Asociado, Administrativo III, etc

Nivel Asociado con el trabajo: Ingeniero

Dato requerido. Ejs: ~~Licenciatura, Magister, Doctorado, Post-doctorado,~~ etc

Área de Estudio:

Tecnología Y Ciencias Aplicadas

Usualmente es el nombre del programa o departamento

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente Núcleo Monagas

Hoja de metadatos para tesis y trabajos de Ascenso- 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Letido el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago, a usted a los fines consiguientes.

RECIBIDO POR Ragley
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CURIEL
Secretario



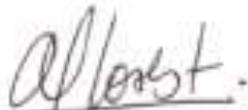
C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YOC/marjia

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 6/6

Derechos:

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicado CU-034-2009): "Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad, y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización."



AMBARD DUBRASKA FLORES TABATA

Autor(a)



Dr. Cristhian Ronceros