

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DEL PROYECTO  
“COMPLETACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL CENTRO  
OPERATIVO Y ADECUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE  
RECOLECCIÓN DEL CAMPO ZAPATO MATA R”,  
INGENIERÍA BÁSICA EXTENDIDA**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Blanco E. Armando A.  
Para optar al Título de  
Ingeniero de Petróleo

Caracas, Noviembre 2015

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DEL PROYECTO  
“COMPLETACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL CENTRO  
OPERATIVO Y ADECUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE  
RECOLECCIÓN DEL CAMPO ZAPATO MATA R”,  
INGENIERÍA BÁSICA EXTENDIDA**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Sandro Gasbarri

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Gerardo Alvares

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Blanco E. Armando A.  
Para optar al Título de  
Ingeniero de Petróleo

Caracas, Noviembre 2015

## AGRADECIMIENTOS

Ante todo, gracias a Dios todo poderos por darme la vida, salud y la fortaleza necesaria que me permitió durante todo este tiempo vencer los obstáculos presentados a lo largo de este camino.

A la Ilustre Universidad Central de Venezuela, por ser parte de mi formación personal y profesional. Y a la Facultad de Ingeniería, Escuela de Petróleo, por brindarme la oportunidad de formarme como Ingeniero de Petróleo.

A mis padres Chyntia Escobar y Jesús Blanco, a mi hermano Jesús E. Blanco por estar siempre presentes apoyándome incondicionalmente y animándome en todo momento, son el motivo que impulsa a seguir adelante.

A mi tía y madrina Francis Serrano por todo el apoyo durante mi carrera, por permitirme entrar en su hogar y prácticamente ser como su hijo.

A todos mis tíos, primos y demás familiares, en especial a mi tía Leyla Escobar y mi padrino Juan Serrano por el apoyo durante la realización de este trabajo. Esto sería una lista grandísima y mucho que agradecerles, para resumir gracias a toda mi familia.

Al Profesor Sandro Gasbarri, al Ingeniero Gerardo Alvares y al Ingeniero Angel Serrano, por su gran apoyo, colaboración incondicional e interés en el desarrollo de este trabajo especial de grado.

A las Ingenieras Esther Ferro y Andreina Caraballo quienes me apoyaron durante mis pasantías en la empresa Pentech y para la realización de este trabajo, en general a todos los trabajadores con quienes compartí un largo tiempo.

A los profesores y compañeros con los que compartí y adquirí los conocimientos necesarios para estar culminando mi carrera en este momento, gracias a todos.

Caracas, Noviembre de 2015

## **CONSTANCIA DE APROBACIÓN**

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería de Petróleo, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el bachiller: ARMANDO ALEJANDRO BLANCO ESCOBAR, titulado:

### **INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DEL PROYECTO “COMPLETACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL CENTRO OPERATIVO Y ADECUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DEL CAMPO ZAPATO MATA R”, INGENIERÍA BÁSICA EXTENDIDA**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero de Petróleo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

---

Prof. Lisbeth Miranda

Jurado

---

Prof. René Rojas

Jurado

---

Prof. Sandro Gasbarri  
Tutor Académico

**Blanco E. Armando A.**

**INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DEL PROYECTO  
“COMPLETACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL CENTRO  
OPERATIVO Y ADECUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE  
RECOLECCIÓN DEL CAMPO ZAPATO MATA R”,  
INGENIERÍA BÁSICA EXTENDIDA**

**Tutor Académico: Prof. Sandro Gasbarri. Tutor Industrial: Ing. Gerardo Álvarez. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Petróleo. 2015, N° pág. 151**

**Palabras Claves:** Instrumentación, Ingeniería básica extendida, campo Zapato, campo Mata R.

**RESUMEN**

En la actualidad hay una propuesta de cambio en la filosofía de operación de los campos Zapato y Mata R, a fin de maximizar el potencial energético proveniente de los pozos y el incremento en el recobro de reservas de gas de los yacimientos. En consecuencia se requiere la instalación de sistemas de separación bifásica en las estaciones de recolección. En este contexto se plantea la construcción de 19 separadores lo que comprende el proyecto “Completación de la construcción del centro operativo y adecuación de los sistemas de recolección del campo Zapato Mata R”. El presente estudio ubicado en la modalidad de investigación proyectiva, tuvo como propósito diseñar la ingeniería básica extendida del sistema de instrumentación y control del mencionado proyecto. El sujeto a estudio fue específicamente la estación de recolección ZED-7 del Campo Zapato. A tal efecto se efectuó una revisión teórica de la ingeniería de proyectos, las etapas de producción de los hidrocarburos, estación de recolección e instrumentación y control. Se realizó la verificación de las dimensiones del separador de acuerdo a la producción de líquido y gas. Se revisaron las especificaciones técnicas de instrumentos. Todo ello sirvió de orientación y apoyo para el diseño de la ingeniería básica extendida. Se elaboraron una serie de documentos entre ellos: un índice de instrumentos, las hojas de datos de instrumentos, lista de señales, lista de cables y lista de materiales, una memoria de cálculo y los diagramas de lazos; cumpliendo con los estándares de calidad de la empresa Pentech Ingenieros C.A. Por otro lado, se verificaron las dimensiones del separador de la estación ZED-7, cumpliendo con los estándares establecidos por el manual de ingeniería de diseño de separadores líquido/vapor de PDVSA. Resulta fundamental el cumplimiento de estándares y normativas pues son una herramienta para garantizar la calidad, seguridad de las operaciones y facilitar las labores de ingeniería. Durante el desarrollo del proyecto es importante mantener una comunicación interdisciplinaria abierta y constante, que dé lugar a resultados óptimos.

## ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN.....	iv
INTRODUCCIÓN .....	10
CAPÍTULO I.....	12
EL PROBLEMA.....	12
Reseña Histórica.....	12
Ubicación Geográfica y Descripción del Área en Estudio.....	13
Planteamiento del Problema.....	14
Objetivos .....	15
Objetivo General .....	15
Objetivos Específicos.....	15
Justificación.....	16
CAPÍTULO II .....	18
MARCO TEÓRICO.....	18
Ingeniería de Proyectos .....	18
Ingeniería Conceptual. ....	18
Ingeniería Básica. ....	18
Ingeniería de Detalle. ....	19
Etapas de Producción de los Hidrocarburos.....	20
Estación de Recolección .....	21
Instrumentación y Sistemas de Control.....	23
Instrumentos .....	24
Clasificación de los Instrumentos. ....	24
Tipos de Instrumentos. ....	25

Documentos de Instrumentación y Control en la Ingeniería Básica Extendida.....	27
Bases y Criterios de Instrumentación.....	27
Especificaciones Técnicas de Instrumentos.....	27
Filosofía de Control y Seguridad.....	27
Índice de Instrumentos.....	27
Hojas de Datos de los Instrumentos.....	28
Listas de Señales.....	28
Lista de Cables.....	28
Lista de Materiales.....	28
Memoria de Cálculo.....	28
Diagrama de Lazos.....	29
Simbología Empleada en Instrumentación.....	29
Identificación de Instrumentos.....	29
Símbolo del Instrumento.....	31
CAPÍTULO III.....	33
METODOLOGÍA.....	33
Tipo de Investigación.....	33
Fases de la Metodología.....	33
Fase I: Análisis de la situación actual.....	33
Fase II: Diseño de la Propuesta.....	44
CAPÍTULO IV.....	50
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	50
Verificación de las Dimensiones del Separador.....	50
a) Caso de Máxima Producción de Gas.....	52
b) Caso de Máxima Producción de Líquido.....	61

Ingeniería Básica Extendida.....	72
CAPITULO V .....	79
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	84
ANEXO A.....	86
ANEXO B.....	93
ANEXO C.....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.Ubicación Geográfica del Distrito Anaco.....	13
Figura 2. Esquema Propuesto para las Estaciones de Recolección.....	21
Figura 3. Esquema del Diseño del Separador .....	43
Figura 4. Esquema del Separador Tipo 1, Caso de Máxima Producción de Gas.....	61
Figura 5. Esquema del Separador Tipo 1, Caso de Máxima Producción de Líquido .	70
Figura 6. Fragmento 1 del Índice de Instrumentos .....	72
Figura 7. Fragmento 2 del Índice de Instrumentos .....	73
Figura 8. Fragmento 3 del Índice de Instrumentos .....	73
Figura 9. Fragmento 1 de la Hoja de Datos .....	74
Figura 10. Fragmento 2 de la Hoja de Datos .....	74
Figura 11. Fragmento 1 de la Lista de Señales .....	75
Figura 12. Fragmento 2 de la Lista de Señales .....	75
Figura 13. Fragmento 1 de la Lista de Cables.....	76
Figura 14. Fragmento 2 de la Lista de Cables.....	76
Figura 15. Lista de Materiales.....	77
Figura 16. Diagrama de Lazo.....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Letras para la Identificación de los Instrumentos .....	30
Tabla 2. Símbolos del Instrumento Según su Localización .....	32
Tabla 3. Criterio para el cálculo de la presión de diseño .....	35
Tabla 4. Criterio para el cálculo de la temperatura de diseño .....	36
Tabla 5. Factores F basado en los internos .....	38
Tabla 6. Velocidad permisible en boquillas .....	39
Tabla 7. Tiempos de residencia.....	41
Tabla 8. Clasificación de Separadores de Acuerdo con su Producción .....	50
Tabla 9. Flujos de Producción de Cada Estación para el Año de Mayor Producción de Gas.....	51
Tabla 10. Flujos de Producción de Cada Estación para el Año de Mayor Producción de Líquido.....	52
Tabla 11. Propiedades del Gas en el Caso de Máxima Producción de Gas .....	52
Tabla 12. Propiedades del Líquido en el Caso de Máxima Producción de Gas.....	53
Tabla 13. Condiciones de Operación de Presión y Temperatura de los Flujos que llegan a Cada Estación .....	53
Tabla 14. Propiedades del Gas en el Caso de Máxima Producción de Líquido .....	62
Tabla 15. Propiedades del Líquido en el Caso de Máxima Producción de Líquido.....	62

## INTRODUCCIÓN

El gas natural atraviesa una etapa de auge a nivel mundial, lo cual ha incidido en el crecimiento de su demanda pasando a ser fuente principal de satisfacción de los requerimientos de energía primaria. De allí, el gas significa para Petróleos de Venezuela S.A, (PDVSA) una pieza fundamental en la diversificación de sus productos y en el logro de su consolidación como empresa energética de referencia mundial.

PDVSA, se encarga del desarrollo de la industria petrolera del país, a fin de cumplir con las metas planteadas y de mantenerse como una empresa sólida, en 1999 se crea PDVSA Gas con la disposición de lograr el desarrollo en las diferentes actividades para el comercio del Gas Natural.

El área principal de explotación en Anaco se transforma en el Distrito Gas Anaco (DGA) como consecuencia de la creación de PDVSA Gas y se ha convertido en el área operacional de mayor importancia en cuanto a las actividades de exploración, perforación, producción y transporte de gas, por lo que se considera el centro gasífero de Venezuela.

La industria petrolera, como cualquier otra, requiere de control y supervisión de las variables lo que conlleva a instalar procesos automatizados y que otorgue al operador la labor única de supervisión.

El macro Proyecto Gas Anaco contempla como una de sus metas la “Completación de la construcción del centro operativo y adecuación de los sistemas de recolección del campo Zapato Mata R” la cual tiene como objetivo la instalación de sistemas de separación bifásica en las estaciones de recolección de dichos campos, por ello el presente trabajo se centra en el diseño de la ingeniería básica del sistema de instrumentación y control de la estación de recolección ZED-7 del campo Zapato.

El presente trabajo está estructurado por capítulos: I. El problema, donde se exponen brevemente la reseña histórica, la descripción del área de estudio y se plantea el problema, los objetivos y la justificación. II. Referido al marco teórico, presenta los conceptos generales y referentes teóricos que apoyan el problema planteado. III. Se describe la metodología seguida en el estudio para cumplir con los objetivos propuestos y alcanzar los resultados. IV. Resultados y Análisis, refleja los resultados y logros obtenidos con las discusiones pertinentes. Por último en el capítulo V se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron con este trabajo.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **Reseña Histórica**

La corporación estatal Petróleos de Venezuela S.A (PDVSA), cuyas acciones pertenecen en su totalidad a la República Bolivariana de Venezuela, fue creada el 30 de Agosto de 1975, regida por los estatutos de la Ley Orgánica que reserva al estado la industria y el comercio de los hidrocarburos. Esta se encarga fundamentalmente 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, afianzando el uso soberano de los recursos.

La empresa se ha convertido desde su creación en una de las corporaciones energéticas más importantes en el ámbito nacional e internacional, ocupando una posición relevante de acuerdo a sus niveles de producción, reservas, capacidad instalada de refinación y venta. Hasta el último mes del año 1997, PDVSA manejó sus operaciones en Venezuela a través de tres filiales operadoras principales, Lagoven, S.A., Maraven, S.A. y Corpoven, S.A.; de acuerdo a una transformación y reestructuración corporativa, estas filiales experimentaron una fusión el 1º de enero de 1999, las cuales fueron renombradas como PDVSA Petróleo y PDVSA Gas. Esta última se concibe como una filial, que se dedica a la exploración y explotación de gas, así como a la extracción y fraccionamiento de líquidos del gas natural (LGN), al transporte, distribución y comercialización del metano. Adicionalmente, PDVSA Gas S.A. procesa el gas producido por las divisiones de exploración y producción de la filial PDVSA Petróleo, recibiendo todo el gas remanente después del consumo para las operaciones de la empresa.

PDVSA Gas, para ejecutar sus operaciones, cuenta con varios distritos operacionales a lo largo del territorio nacional, siendo uno de ellos el distrito Anaco,

el cual posee yacimientos petrolíferos productores de hidrocarburos liviano, mediano, condensado, así como también grandes cantidades de gas natural. El distrito Anaco es considerado “Centro Gasífero de Venezuela” en el ámbito nacional, por albergar reservas probadas de gas superiores a los 23.372 billones de pies cúbicos de gas (MMMPCG), afianzándose progresivamente como el centro de producción y manejo de gas para el país [PDVSA, 2009].

### **Ubicación Geográfica y Descripción del Área en Estudio**

El Distrito Gas Anaco (DGA) está ubicado geográficamente en la parte central del estado Anzoátegui como se muestra en la Figura 1, abarca parte del estado Monagas y Guárico con un área aproximada de 13.400 km<sup>2</sup>, siendo a su vez dividido por dos áreas operacionales: Área Mayor de Oficina (AMO), ubicada en la parte sur de la zona central del estado Anzoátegui con un área de 10.240 km<sup>2</sup>, y Área Mayor Anaco (AMA), ubicada en la parte norte de la zona central del estado Anzoátegui con un área de 3.160 km<sup>2</sup>. Cada una está encargada de la administración, planificación y producción del gas que se encuentra en sus áreas operacionales.



**Figura 1. Ubicación Geográfica del Distrito Anaco**

El Área Mayor de Oficina está ubicada específicamente en la sub-cuenca de Maturín, llega en el norte hasta las áreas de Anaco y Jusepín, al sur con los bloques de Ayacucho y Junín de la Faja del Orinoco, al este los campos de Temblador y al oeste los campos de Guárico. El AMO está integrada por los campos: Soto, Mapiri, La Ceibita, Mata R, Carisito, Zapato y Aguasay. Esta área cuenta con una infraestructura para manejar y procesar 850 millones de pies cúbicos estándar por día (MMPCED) de gas y la facilidad de almacenar 300 mil barriles de líquidos.

Este trabajo se enfoca en el campo Zapato, específicamente la estación de recolección ZED-7, donde se propone la instalación de un sistema de separación bifásica para el flujo que proviene del múltiple que comunica los pozos cercanos a esta estación.

### **Planteamiento del Problema**

Actualmente el esquema de producción en los campos de Zapato y Mata R consiste en lo siguiente, el flujo multifásico proveniente de los pozos llega a las instalaciones de producción (flujo o descarga) a través de tuberías que están direccionadas a los múltiples de producción o válvulas multipuertos, para luego ser enviado al centro operativo Zapato Mata R (COZMR). En este centro se encuentra el sistema de separación donde se obtienen el gas y el líquido. El gas, es enviado a las plantas compresoras, donde se eleva la presión del gas hasta 1200 psig y el crudo es enviado a las estaciones de descarga para su tratamiento.

En los campos Zapato y Mata R, se propone un cambio en la filosofía de operación, con la finalidad de aprovechar al máximo el potencial energético proveniente de los pozos e incrementar el recobro de reservas de gas de los yacimientos del DGA, para tal efecto, se requiere la instalación de sistemas de separación bifásica en las estaciones de recolección de dichos campos a fin de mejorar los esquemas de producción actuales. En esta perspectiva se plantea la construcción de 19 separadores en las estaciones de Zapato y Mata R.

Para el proyecto “Completación de la construcción del centro operativo y adecuación de los sistemas de recolección del campo Zapato Mata R”, la empresa Pentech Ingenieros C.A. es la encargada del desarrollo de la ingeniería complementaria y de campo, la cual comprende la elaboración de productos de Ingeniería (planos y/o documentos) pendientes por elaborar en la Ingeniería original del Proyecto Gas Anaco-Campo Zapato Mata R y la elaboración de productos de Ingeniería Básica Extendida (planos y/o documentos) asociados a la adecuación de la infraestructura de las estaciones de recolección ZEF-7, ZEF-8, ZEF-9, ZEF-10, ZEF-11, ZEF-14, ZED-7,ZEF-1 en el campo Zapato y BEF-12, EFH-10, EFX-8, EFW-4, M-1 y M-4 en el campo Mata R. Los productos a elaborar por Pentech corresponden a las disciplinas Ambiente y Seguridad, Civil, Electricidad, Instrumentación, Mecánica-Equipos, Mecánicas-Tuberías y Procesos.

Este trabajo se centra en el diseño del Sistema de Instrumentación y Control del sistema de separación bifásica solo de la estación de recolección ZED-7 del campo Zapato; y adicionalmente la verificación de las dimensiones del separador de dicha estación.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Diseñar la ingeniería básica extendida del sistema de instrumentación y control del proyecto “Completación de la Construcción del Centro Operativo y Adecuación de los Sistemas de Recolección del Campo Zapato Mata R”

### **Objetivos Específicos.**

- Verificar las dimensiones requeridas por el separador de acuerdo a la producción de líquido y gas del campo.
- Revisar las especificaciones técnicas de instrumentos, con el fin de describir los requerimientos de los instrumentos, equipos, sistemas y materiales, que se utilizarán en la instalación.

- Desarrollar el índice de instrumentos, a emplear para la tabulación de toda la información de diseño asociada a cada instrumento de la instalación.
- Elaborar hojas de datos de instrumentos, que proporcione información detallada de los instrumentos que requiere el proceso.
- Realizar lista de señales, de cables y de materiales.
- Elaborar la memoria de cálculo para el dimensionamiento de instrumentos, como elementos de flujo y válvulas de control.
- Diagramar lazos de instrumentos para la configuración de los sistemas, su origen, destino y tipo.

### **Justificación**

El distrito Anaco posee yacimientos petrolíferos productores de grandes cantidades de gas natural, este es considerado como el “Centro Gasífero de Venezuela” tal como se mencionó anteriormente. PDVSA Gas para mejorar el manejo de gas en el país desarrolla el macro proyecto Gas Anaco, donde surge la necesidad de completar de la construcción del COZMR adecuando los sistemas de recolección razón por la cual se hace necesaria la ingeniería básica para generar el diseño de las instalaciones del nuevo sistema de separación bifásica con la finalidad de mantener los niveles de operación y otorgar seguridad.

El desarrollo de la ingeniería básica extendida permite la adecuación de las nuevas necesidades al diseño original de la construcción del centro operativo, ya que al comparar el PDO 2009-2030 con el 2014-2034 se ve reflejado un cambio en la volumetría de 5,17 millones de pies cúbicos por día (MMPCGD) en promedio anual para la estación ZED-7 y de 1,86 miles de barriles por día (MBPD) de crudo en promedio anual hasta el 2024 para el campo Zapato.

Los fluidos producidos en el cabezal del pozo son mezclas complejas de compuestos de hidrógeno y carbono con densidades y presiones de vapor diferentes, y otras características. La separación física de fases es una de las operaciones básicas de la producción, el procesamiento y el tratamiento del petróleo y el gas.

Para el sistema de separación del proyecto “Completación de la construcción del centro operativo y adecuación de los sistemas de recolección del campo Zapato Mata R”, se escogieron separadores verticales ya que normalmente son empleados cuando la relación líquido/vapor es alta y/o cuando se esperan grandes variaciones en el flujo de vapor/gas; también por la eficiencia en la remoción del líquido la cual no varía con el nivel de líquido.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **Ingeniería de Proyectos**

La ingeniería de proyectos es la etapa dentro de la formulación de un proyecto de inversión donde se definen todos los recursos necesarios para llevarlo a cabo. En el desarrollo de un proyecto a la ingeniería le corresponde definir:

- Todas las máquinas y equipos necesarios para el funcionamiento del establecimiento productivo.
- Lugar de implantación del proyecto.
- Las actividades necesarias para el suministro de los insumos y de los productos.
- Los requerimientos de recursos humanos.
- Diseñar el plan funcional y material.
- Determinar las obras complementarias de servicios públicos.
- Definir los dispositivos de protección ambiental.
- Determinar gastos de inversión y costos durante la operación.
- Planear el desarrollo del proyecto durante la instalación y operación.

Para ello existen tres etapas de la ingeniería las cuales se definen a continuación:

#### **Ingeniería Conceptual.**

Es la etapa donde se identifica: la viabilidad técnica y económica basándose en un estudio previo (estudio de viabilidad o factibilidad), definición de los requerimientos del proyecto y especificación de los lineamientos preliminares para programar y organizar los desarrollos posteriores de la ingeniería del proyecto.

#### **Ingeniería Básica.**

Es una profundización del análisis realizado en la ingeniería conceptual previa cuyo resultado son los datos de entrada para esta etapa del diseño. En la ingeniería básica quedarán reflejados definitivamente todos los requerimientos del usuario, las

especificaciones básicas, el cronograma de realización y la valoración económica.

Durante esta fase se definen los siguientes trabajos:

- Definir con precisión los criterios tecnológicos del diseño.
- Proveer la diagramación general de la arquitectura del sistema y los flujos de los procesos.
- Entregar especificaciones técnicas de los equipos principales.
- Afinar los presupuestos de costos y tiempos.

### **Ingeniería de Detalle.**

En esta etapa se producen todas las especificaciones técnicas, planos, listados de equipos, cálculo de materiales, dimensionamiento de los equipos y emisión de licitaciones para su adquisición, con el fin de proceder con la construcción. Además, se programa en detalle la ejecución, los cronogramas, la organización del trabajo y el presupuesto.

Hoy en día las empresas inversoras para disminuir el tiempo de trabajo y los costos, prefieren realizar una **Ingeniería Básica Extendida** o también llamada FEED (*Front End Engineering Design*) como es el caso del proyecto “Completación de la construcción del centro operativo y adecuación de los sistemas de recolección del campo Zapato Mata R”, en la cual se elaboran los documentos que constituyen la Ingeniería Básica además de otros documentos que forman parte de la Ingeniería de Detalle preliminar, de forma tal que se permita estimar el monto de inversión del proyecto con una menor incertidumbre y al mismo tiempo elaborar las especificaciones técnicas para el proceso de licitación con el fin proceder con la pronta construcción.

## **Etapas de Producción de los Hidrocarburos**

Las principales etapas de producción de los hidrocarburos son:

***Flujo en el yacimiento:*** esta etapa se refiere a la compleja trayectoria que sigue el petróleo dentro del yacimiento a cierta profundidad de la tierra, a través de los microcanales de roca porosa y permeable hasta llegar al fondo del pozo. Este recorrido lo hace el petróleo gracias a la diferencia de presión o energía natural que existe en el yacimiento.

***Producción del pozo:*** una vez que el petróleo llega al fondo del pozo, continúa su recorrido por la tubería vertical de producción hasta alcanzar la superficie. A medida que el petróleo asciende (bien sea por medios naturales o por métodos de levantamiento artificial) la presión disminuye y ocurre la liberación del gas originalmente disuelto en el crudo.

***Recolección:*** después que el petróleo de cada uno de los pozos del yacimiento ha alcanzado la superficie, se recolecta mediante un sistema de líneas de flujo que van desde el cabezal de los pozos hasta las estaciones de recolección o de flujo.

***Separación del gas:*** en las estaciones de flujo el petróleo y el gas producidos por los pozos entran a los separadores donde se completa la separación del gas que aún queda mezclado con el petróleo. Al salir por los separadores, el petróleo y el gas siguen rutas diferentes para cumplir con los distintos usos y aplicaciones establecidas.

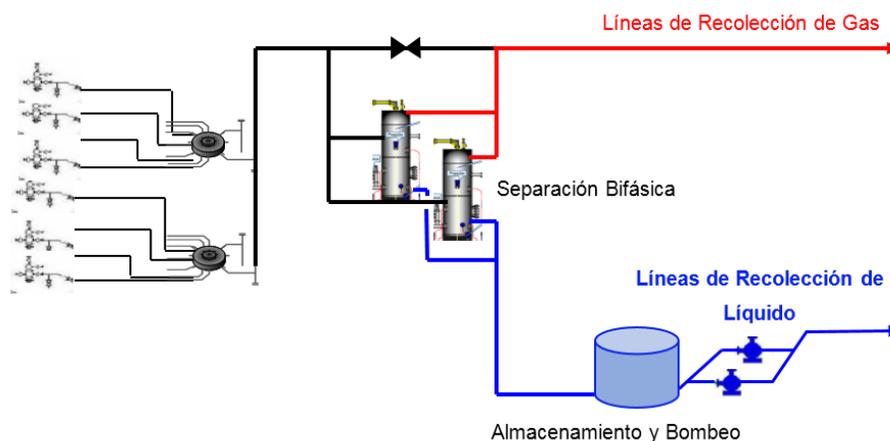
***Tratamiento del gas:*** durante el tratamiento se somete al gas natural a los procesos de extracción y fraccionamiento para separar sus componentes, y disponer de gas metano para su transportación y distribución bajo las normas de calidad establecidas. En esta etapa se eliminan elementos que pueden ser agua, compuestos ácidos como dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno, nitrógeno, helio y otros sólidos e impurezas.

**Almacenamiento:** los diferentes tipos de petróleo que llegan a las estaciones de flujo son bombeados a través de las tuberías hasta los patios de tanques, donde finalmente se recolecta y almacena toda la producción de petróleo de un área determinada, para ser tratada, eliminando impurezas como el agua y la sal, colocándolo bajo especificaciones comerciales.

**Transporte y Embarque:** el gas, antes de ser transportado y utilizado comercialmente debe ser purificado y haber pasado todas las normas de calidad que exigen los transportistas y consumidores. Y el crudo limpio (sin agua y desalado) almacenado en los patios de tanques es enviado a través de los oleoductos a las refinерías del país y a los terminales de embarque, donde es cargado a la flota tanquera para su envío a los distintos mercados del mundo.

### Estación de Recolección

Haciendo énfasis en la etapa de recolección, los fluidos llegan a una determinada estación de recolección la cual ha sido diseñada para recibir la producción de cierto número de pozos, el flujo va desde el cabezal de cada pozo a través de una tubería de flujo hasta una estación de recolección. La estación de recolección o de flujo la componen un grupo de instalaciones como se muestra en la Figura 3, las cuales facilitan el recibo, la separación, medición, tratamiento, almacenamiento y despacho del hidrocarburo.



**Figura 2. Esquema Propuesto para las Estaciones de Recolección**

Para realizar la separación del gas del petróleo se emplean separadores del tipo horizontal o vertical, los cuales tienen una capacidad para manejar ciertos volúmenes diarios a determinadas presiones y etapas de separación. La separación para una, dos o tres etapas está regulada por los siguientes factores:

- La presión de flujo en el cabezal del pozo.
- La presión con que llega a la estación.
- La relación gas-petróleo.
- La temperatura.
- El tipo de crudo.

La última etapa de separación ocurre en los tanques de almacenamiento, donde todavía se desprende gas del petróleo, a una presión levemente mayor o igual a la atmosférica. Bookaman y De Abreu (1998).

Este trabajo contempla la adecuación de las estaciones de recolección de los campos Zapato y Mata R, adicionando uno o varios separadores bifásicos verticales, donde se aplica el siguiente esquema del proceso: luego de que el pozo es perforado y puesto a producir a través de un conjunto de válvulas ubicadas en el cabezal (llamado árbol de navidad), el flujo multifásico es enviado a través de tubería hacia una estación de recolección. En dicha estación la tubería proveniente del pozo se conecta a una válvula multipuerto la cual une la producción de distintos pozos, este flujo se pasa por el sistema de separación que comprende de un separador bifásico vertical donde se obtienen la corriente de gas y la de líquido. Como se muestra en la Figura 2.

El flujo de gas que sale del separador enviado a través una red de recolección hacia el COZMR para su respectivo tratamiento y compresión. En el caso del gas del sistema de alivio del separador, es enviado a un KOD (*Knock Ou Drum*) que separa el condensado del gas residual que es dirigido a la estaca de quema del sistema de alivio.

Por último, el flujo de líquido es enviado hacia unos tanques de almacenamiento para luego ser bombeado a través de una red de recolección para su tratamiento y disposición.

## **Instrumentación y Sistemas de Control**

En el ámbito de la industrialización, la automatización está un paso por delante de la mecanización. Mientras que la mecanización provee operadores humanos con maquinaria para ayudar a realizar el trabajo, la automatización reduce considerablemente la necesidad para exigencias humanas.

Hoy en día dentro de la materia científica y la tecnología es imprescindible la ingeniería automática, el objetivo del control automático es poder manejar con una o más entradas, una o más salidas de un proceso o sistema, para hacerlo, la idea más primitiva es colocar entre la referencia y el proceso, un controlador logrando de esta manera un proceso óptimo y eficiente.

Dentro de la ingeniería automática se encuentra la sub-disciplina de la instrumentación y control de procesos, desde sus orígenes la automatización y el control se han encargado de estudiar los sistemas complejos para reducir la intervención humana directa en un determinado proceso.

La instrumentación es la ventana a la realidad de lo que está sucediendo en un determinado proceso. Esta disciplina se encarga de la supervisión, control, seguridad, sistemas de fuego y gas, y apoyo a instalaciones de telecomunicaciones en el desarrollo de cualquier fase de una ingeniería de proyecto. El trabajo de instrumentación comprende la selección, especificación, dimensionamiento y conexionado de los instrumentos.

El control de procesos se basa en el feedback o realimentación, en el que se usa la medición de variables como temperatura, presión, caudal, nivel, etc., tanto en la entrada como en la salida del proceso, de tal forma que se puede diseñar un controlador para realizar el ajuste al valor deseado.

## **Instrumentos**

Los instrumentos son el grupo de elementos que sirven para medir, controlar o registrar variables de un proceso con el fin de optimizar los recursos utilizados en este.

Los instrumentos cumplen una amplia gama de aplicaciones dentro de una planta o instalación, entre las cuales se encuentran:

- Garantizar la calidad del producto.
- Mantener los niveles de operación.
- Fiscalizar las materias primas y/o productos.
- Otorgar seguridad a la planta.

### **Clasificación de los Instrumentos.**

Siguiendo el mismo orden de ideas, Delgado (2007) clasifica los instrumentos de la siguiente manera:

*De acuerdo a su función en el proceso.* Referido al rol que ejerce el instrumento en el proceso, puede ser de medición, registro o control.

*De acuerdo a la variable de proceso que miden.* Esta se relacionará a la variable de proceso a la que se está haciendo referencia. En la actualidad se pueden medir todas las variables de proceso existentes, sin embargo, algunas se medirán de forma directa y otras indirectamente. Directas como: presión, velocidad, nivel; e Indirectas como: temperatura, pH, eficiencia de un equipo, nivel por presión diferencial. La decisión de uno u otro método dependerá de un análisis técnico y económico de cada aplicación particular.

*De acuerdo a la energía de operación.* Los instrumentos pueden clasificarse adicionalmente según esta última categoría como sigue:

- Neumáticos (operados por aire, nitrógeno o gas natural).
- Electrónicos (analógicos o digitales).
- Mecánicos (usan la energía del propio proceso).

Existe otra categoría que en la actualidad es obsoleta, denominada instrumentación hidráulica, sin embargo, aún se pueden encontrar equipos de estos en algunas industrias a nivel mundial, lo cual nos da una idea de su robustez y confiabilidad.

### **Tipos de Instrumentos.**

Los tipos de instrumentos son los siguientes:

***Instrumentos Indicadores.*** Indican de manera local o remota el valor de la variable de proceso. Los indicadores disponen de un índice y de una escala graduada, que muestra el valor real de la variable medida, si los instrumentos no tienen indicación visible de la variable que miden, se les denomina instrumentos ciegos. Un ejemplo de los indicadores son los manómetros, termómetros, caudalímetro mecánico, etc.

***Instrumentos Interruptores (Switches).*** Manejan variables de proceso discontinuas y cumplen una función reguladora en el proceso, pero no tienen indicación visible de la variable. Un ejemplo son los termostatos y presostatos.

***Instrumentos Registradores.*** De acuerdo con requerimientos industriales es necesario mantener registro del histórico de variables del proceso, estos registran con trazo continuo o apunto la variable. Existen tres tipos de papel, sin papel y dataloggers. En la actualidad no son muy utilizados ya que los sistemas de control automatizados almacenan un histórico de la información.

***Transmisores.*** Captan la variable del proceso a través del elemento primario y la transmiten a distancia en forma de señal de transmisión estándar.

***Receptores.*** Reciben las señales procedentes de los transmisores y las indican o registran, existen receptores de control que envían una señal adicional de salida normalizada a los valores de señal neumática o señal electrónica.

**Controladores.** Es uno de los elementos más importantes, ya que será el encargado de ejercer la función de comparar lo que está sucediendo en el proceso, con lo que realmente se desea que suceda en él, para posteriormente, con base en la derivación producir los cambios requeridos mediante el elemento final de control que logre la corrección de dicha desviación. La variable controlada, la pueden recibir directamente como controladores locales o bien indirectamente en forma de señal procedente de un transmisor.

**Elementos primarios de medición.** Algunos elementos entran en contacto directo con el fluido (o variable) del proceso que dese medir, con el fin de recibir algún efecto de este (absorbe energía del proceso) y por este medio pueden evaluar la variable en cuestión.

**Elemento final de control.** Recibe la señal del controlador y el cual está en contacto directo con el proceso (en línea) ejerce un cambio en éste, de tal forma que se cambien los parámetros hacia el valor deseado. Ejemplo: válvulas de control, compuertas, bombas de velocidad, drives, etc.

**Convertidores.** En ciertos casos, la señal de un transmisor puede no ser compatible con lo esperado por el receptor de esa señal; en ese caso se utilizará un elemento convertidor para lograr la antes mencionada compatibilidad de señal.

**Transductores.** Son instrumentos fuera de línea (no en contacto con el proceso), que son capaces de realizar operaciones lógicas y/o matemáticas con señales de uno o más transmisores.

**Elementos de Maniobra.** Se refiere a todos los dispositivos que se instalan en el frente del tablero para la facilidad de operación del personal de planta, tales como: pulsadores, selectores e interfaces humanas.

**Instrumentos Portátiles y de Prueba.** Son herramientas esenciales para dar un buen mantenimiento de los equipos e instrumentos industriales.

## **Documentos de Instrumentación y Control en la Ingeniería Básica Extendida**

Dentro del área de instrumentación existen varios documentos importantes, entre los cuales se encuentran:

### **Bases y Criterios de Instrumentación.**

Contemplan la información suministrada por el cliente: con respecto al diseño, especificaciones, estándares y/o procedimientos; el paquete de diseño del licenciante del proceso: descripción del proceso, diagramas de flujo de proceso y/o diagramas preliminares de tubería e instrumentación; la oferta técnica y los términos contractuales que apliquen a ingeniería; y el informe de levantamiento de información existente en campo (Pentech, 2014a).

### **Especificaciones Técnicas de Instrumentos.**

Se desarrollan para describir los requerimientos de los instrumentos, equipos, sistemas y materiales, que se utilizarán en la instalación. Las mismas son incorporadas en las requisiciones para realizar el proceso de procura. Estas incluyen la especificación de instrumentación en unidades paquete, sistemas, instrumentos y equipos críticos y no críticos, cables y materiales (Pentech, 2014b).

### **Filosofía de Control y Seguridad.**

Es el documento que complementa a los DTI's en la descripción funcional y operacional de los sistemas de control y seguridad de procesos, equipos e instalaciones críticas (Pentech, 2014c).

### **Índice de Instrumentos.**

Amendola (2011) define el índice como un listado que provee un resumen de todos los instrumentos requeridos para el trabajo a realizar. En general este índice de instrumentos debería contener la siguiente información: TAG, DTI en el cual aparece, lazo de control, descripción o tipo de instrumento, tipo de montaje, fabricante y modelo, número de la hoja de especificación del instrumento. Este listado de

instrumentos se completará a medida que se vayan realizando las actividades del proyecto en sus fases.

### **Hojas de Datos de los Instrumentos.**

Señala que las hojas de datos, son las que proporcionan información relacionada al proceso y los instrumentos en específico, estas sirven de información permanente para el uso de la planta, en la instalación, producción y mantenimiento; también para proveer información al departamento de compras. (ob.cit)

### **Listas de Señales.**

Es un documento donde se contabilizan las señales de entrada y salida de cada sistema de la instalación, el mismo se emplea para el dimensionamiento de los sistemas de control y seguridad (Pentech, 2014d).

### **Lista de Cables.**

Amendola (2011), menciona que la lista de cables permite verificar en forma rápida la ruta y el tipo de cable utilizado para un instrumento en particular. En ella deben aparecer todos los cables de instrumentación utilizados en el proyecto.

### **Lista de Materiales.**

Incluyen todos los materiales, indicando la cantidad y el tipo de material, valga la redundancia, que se utiliza en la fase de construcción para realizar la instalación de los instrumentos. (ob. cit.)

### **Memoria de Cálculo.**

Es un documento en donde se recopilan todos los cálculos efectuados para el desarrollo del proyecto. Estos incluyen principalmente los cálculos efectuados para el dimensionamiento de instrumentos como elementos de flujo, válvulas de control, válvulas de alivio, así como, para determinar el rango de transmisores de presión diferencial (Pentech, 2014e).

### **Diagrama de Lazos.**

Un lazo es una combinación de uno o más instrumentos o funciones de control que señalan el paso de uno a otro con el propósito de medir y/o controlar las variables de un proceso. El diagrama de lazo nos permite una mejor comprensión de cómo opera el lazo, esta información nos permite identificar las conexiones entre los dispositivos, la acción de los componentes y las rutas de comunicación (Pentech, 2014f)

Los diagramas de lazos de control para Amendola (2011), son documentos básicos para realizar pruebas de instrumentos durante el arranque de una planta y para realizar labores de mantenimiento en fases posteriores. Se debe realizar un diagrama por cada lazo de control que esté representado en el DTI.

### **Simbología Empleada en Instrumentación**

En la instrumentación y control, se emplea un sistema especial de símbolos con el objeto de transmitir la información de una forma más fácil y específica. Esto es indispensable en el diseño, selección, operación y mantenimiento de los sistemas de control. La identificación y simbología empleada en este proyecto está basada específicamente en la norma ISA 5.1 (*Instrumentation Symbols and Identification*).

### **Identificación de Instrumentos.**

Por la ANSI/ISA 5.1 (2009), cada instrumento o función está designado por un código alfanumérico (TAG). La parte del TAG que identifica al lazo, generalmente es común a todos los instrumentos o funciones del lazo y un sufijo o prefijo puede ser agregado para completar la identificación. Cada instrumento puede ser representado en diagramas por un símbolo y puede ser acompañado por el número de etiqueta.

La identificación funcional de un instrumento está hecha de acuerdo a su función y no a su construcción. La primera letra de una identificación funcional es seleccionada de acuerdo a la variable inicial medida y la sucesión de letras en la identificación funcional designa una o más funciones pasivas y/o salidas de función.

El número total de letras contenidas en un grupo no pueden exceder de cuatro. En la Tabla 1 se muestra el significado de cada letra dependiendo de su posición.

**Tabla 1. Letras para la Identificación de los Instrumentos**

(Tomado de ANSI/ISA 5.1, 2009).

First letters (1)		Succeeding letters (15)		
Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5
Measured/Initiating Variable	Variable Modifier (10)	Readout/Passive Function	Output/Active Function	Function Modifier
<b>A</b>	Analysis (2)(3)(4)	Alarm		
<b>B</b>	Burner, Combustion (2)	User's Choice (5)	User's Choice (5)	User's Choice (5)
<b>C</b>	User's Choice (3a)(5)		Control (23a)(23e)	Close (27b)
<b>D</b>	User's Choice (3a)(5)	Difference, Differential, (11a)(12a)		Deviation (28)
<b>E</b>	Voltage (2)	Sensor, Primary Element		
<b>F</b>	Flow, Flow Rate (2)	Ratio (12b)		
<b>G</b>	User's Choice	Glass, Gauge, Viewing Device (16)		
<b>H</b>	Hand (2)			High (27a)( 28a)(29)
<b>I</b>	Current (2)	Indicate (17)		
<b>J</b>	Power (2)	Scan (18)		
<b>K</b>	Time, Schedule (2)	Time Rate of Change (12c)(13)	Control Station (24)	
<b>L</b>	Level (2)	Light (19)		Low (27b)( 28)(29)
<b>M</b>	User's Choice (3a)(5)			Middle, Intermediate (27c)(28) (29)
<b>N</b>	User's Choice (5)	User's Choice (5)	User's Choice (5)	User's Choice (5)
<b>O</b>	User's Choice (5)	Orifice, Restriction		Open (27a)
<b>P</b>	Pressure (2)	Point (Test Connection)		
<b>Q</b>	Quantity (2)	Integrate, Totalize (11b)	Integrate, Totalize	
<b>R</b>	Radiation (2)	Record (20)		Run
<b>S</b>	Speed, Frequency (2)	Safety(14)		Switch (23b) Stop
<b>T</b>	Temperature (2)		Transmit	
<b>U</b>	Multivariable (2)(6)		Multifunction (21)	Multifunction (21)
<b>V</b>	Vibration, Mechanical Analysis (2)(4)(7)		Valve, Damper, Louver (23c)(23e)	
<b>W</b>	Weight, Force (2)		Well, Probe	
<b>X</b>	Unclassified (8)	X-axis (11c)	Accessory Devices (22), Unclassified (8)	Unclassified (8)
<b>Y</b>	Event, State, Presence (2)(9)	Y-axis (11c)		Auxiliary Devices (23d)( 25)( 26)
<b>Z</b>	Position, Dimension (2)	Z-axis (11c), Safety Instrumented System (30)		Driver, Actuator, Unclassified final control element

### **Símbolo del Instrumento.**

Por la ANSI/ISA 5.1 (2009), puede ser utilizada una burbuja para etiquetar símbolos distintivos, en otras situaciones sirve para representar las propiedades del instrumento. Los tamaños de las etiquetas de las burbujas y de los símbolos pueden variar dependiendo del número de caracteres seleccionados apropiadamente al estar acompañados de otros símbolos de otros equipos en un diagrama.

Las líneas de señales pueden ser dibujadas en un diagrama enteramente o dejando la parte apropiada de un símbolo en cualquier ángulo. Flechas direccionales podrían ser agregadas a las líneas de las señales cuando se necesite aclarar la dirección del flujo. En general, una línea de una señal representará la interconexión entre dos instrumentos, aunque podrían estar conectados físicamente por más de una línea. Los números de las etiquetas podrán ser mostrados con una orientación horizontal.

Un globo o círculo simboliza a un instrumento aislado o instrumento discreto, para el caso donde el círculo está dentro de un cuadrado, simboliza un instrumento que comparte un control. Los hexágonos se usan para designar funciones de computadora, mientras que los controladores lógicos programables (PLC's) se simbolizan con un rombo dentro de un cuadrado. Los símbolos también indican la posición en que están montados los instrumentos, en la Tabla 2 se puede observar cada uno de estos símbolos.

**Tabla 2. Símbolos del Instrumento Según su Localización**

(Tomado de ANSI/ISA 5.1, 2009).

No.	Shared display, Shared control (1)		C	D	Location & accessibility (6)
	A	B			
	Primary Choice or Basic Process Control System (2)	Alternate Choice or Safety Instrumented System (3)	Computer Systems and Software (4)	Discrete (5)	
1					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Located in field.</li> <li>• Not panel, cabinet, or console mounted.</li> <li>• Visible at field location.</li> <li>• Normally operator accessible.</li> </ul>
2					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Located in or on front of central or main panel or console.</li> <li>• Visible on front of panel or on video display.</li> <li>• Normally operator accessible at panel front or console.</li> </ul>
3					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Located in rear of central or main panel.</li> <li>• Located in cabinet behind panel.</li> <li>• Not visible on front of panel or on video display.</li> <li>• Not normally operator accessible at panel or console.</li> </ul>
4					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Located in or on front of secondary or local panel or console.</li> <li>• Visible on front of panel or on video display.</li> <li>• Normally operator accessible at panel front or console.</li> </ul>
5					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Located in rear of secondary or local panel.</li> <li>• Located in field cabinet.</li> <li>• Not visible on front of panel or on video display.</li> <li>• Not normally operator accessible at panel or console.</li> </ul>

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **Tipo de Investigación**

Este trabajo se centra en un nivel comprensivo y se ubica en la modalidad de Investigación proyectiva, apoyada por la investigación documental.

Según Hurtado (2008) la investigación proyectiva: “consiste en la elaboración de una propuesta, un plan, un programa o un modelo como soluciona un problema o necesidad de tipo práctico. Implica explorar, describir, explicar y proponer alternativas de cambio, más no necesariamente ejecutar la propuesta”.

La investigación documental; según la UPEL (2006) se entiende el estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente, en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos.

### **Fases de la Metodología**

Dada las características de este trabajo se siguió un procedimiento fundamentado en fases: Fase I: Análisis de la situación actual, Fase II: Diseño de la propuesta. La Fase III: Ejecución y evaluación, no se llevó a efecto en este trabajo, la cual no entra dentro del alcance del mismo.

#### **Fase I: Análisis de la situación actual.**

##### **Sujeto de Estudio.**

Campo Zapato, Estación de Recolección ZED-7.

##### **Revisión de la Fundamentación Teórica.**

La revisión se inició con el análisis de la filosofía de control del proyecto junto con las bases y criterios de diseño las cuales contienen los requerimientos preliminares del cliente y metodología de ejecución según las normas que apliquen según el caso. El diseño de la ingeniería básica del sistema de instrumentación y

control se basa en los DFP's y los DTI's, realizados por el departamento de procesos de la empresa.

Para el desarrollo de los documentos requeridos se basó en el diseño preestablecido en los procedimientos de trabajo diseñados por el departamento de Instrumentación, el cual tiene como objetivo establecer la metodología y pasos a seguir para la elaboración de cualquier documento que va ser emitido por la empresa Pentech Ingenieros C.A.

### **Verificación de las Dimensiones del Separador.**

Para establecer el tamaño mínimo aceptable del separador se empleó el Manual de Ingeniería de Diseño de Separadores Líquido-Vapor PDVSA (1991), con el fin de su estudio económico y para indicar en la solicitud a los suplidores, el tamaño óptimo que pueden ofrecer y que sean considerados en las ofertas. Las solicitudes de cotización a los suplidores, deben contener siempre las especificaciones de servicio más exigentes que deberán llenar los recipientes y el suplidor deberá proponer un tamaño tal, que él garantice que prestará ese servicio (a menudo éste es más grande que el mínimo especificado).

En algunos casos, la sección de manejo de líquido del separador tendrá un tamaño basado en el tiempo de retención. El separador puede servir no sólo como un separador de fases sino también como un recipiente compensador de líquido, amortiguando las variaciones del flujo, de modo que los controles automáticos aguas abajo puedan operar con un mínimo de perturbación.

El principio físico apropiado para los cálculos del separador se deriva de la Ley de caída libre de una partícula (esfera) de Newtona través de un fluido. La ecuación según Perry y Cecil (1973) es:

$$Vt = \sqrt{\frac{4g \times D_p \times (\rho_p - \rho)}{3\rho \times c}} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

$V_t$  Velocidad de asentamiento (ft/seg)

$g$  Aceleración de gravedad (ft/seg<sup>2</sup>)

$D_p$  Diámetro de la partícula (micrones)

$\rho_p$  Densidad de la partícula (lb/ft<sup>3</sup>)

$\rho$  Densidad del fluido (lb/ft<sup>3</sup>)

$c$  Coeficiente de arrastre (es una función del número de Reynolds)

La ecuación anterior se usa para gotas de líquido cayendo a través de los gases, como la presentan Souders y Brown (1934):

$$V_t = K \sqrt{\frac{(\rho_p - \rho)}{\rho}} \quad (\text{Ec.2})$$

Y la selección de la constante K vendrá determinada por el tipo de equipo en operación (horizontal o vertical).

Para el dimensionamiento del separador se siguieron los pasos que propone el Manual de Ingeniería de Diseño antes mencionado, los cuales se desglosan a continuación:

**Estimación de la presión de diseño (Pd).** Mediante el criterio que se observa en la Tabla 3, utilizando como base la presión básica máxima de operación del recipiente se estimó la presión de diseño del equipo.

**Tabla 3. Criterio para el cálculo de la presión de diseño** (Tomado de Manual de Ingeniería de Diseño de Separadores Líquido-Vapor PDVSA, 1991)

Presión máx. Operación (psig)	Presión de Diseño (psig)
0 < P < 247	$P_{\text{máx op}} + 25$
248 < P < 580	$(P_{\text{máx op}})^*1,1$
581 < P < 1160	$P_{\text{máx op}} + 58$
P > 1161	$(P_{\text{máx op}})^*1,05$

**Estimación de la temperatura de diseño (Td).** La temperatura de diseño se estima mediante el criterio expuesto en la Tabla 4, tomando la temperatura máxima o mínima operación según aplique.

**Tabla 4. Criterio para el cálculo de la temperatura de diseño** (Tomado de Manual de Ingeniería de Diseño de Separadores Líquido-Vapor PDVSA, 1991)

Temperatura Operación (°F)	Temperatura de Diseño (°F)
T < 750	T <sub>máx op</sub> + 50°F
T > 750	T <sub>máx op</sub>
T < 60	P <sub>min op</sub>

**Cálculo de la velocidad crítica de diseño del gas.** La velocidad del Gas es una velocidad calculada empíricamente que se utiliza para asegurar que la velocidad superficial del gas, sea lo suficientemente baja para prevenir un arrastre excesivo de líquido. Para este cálculo se utilizó la ecuación que propusieron Soudersy Brown (1934):

$$V_G = k \sqrt{\frac{(\rho_L - \rho_G)}{\rho_G}} \quad (\text{Ec.2.1})$$

Donde:

- $V_G$  Velocidad crítica (ft/seg)
- $\rho_L$  Densidad del liquido (lb/ft<sup>3</sup>)
- $\rho_G$  Densidad del gas (lb/ft<sup>3</sup>)
- $k$  Constante

El valor del parámetro K en la ecuación anterior, es uno de los valores que tiene mayor relevancia en el momento de predecir el comportamiento de los fluidos dentro de un recipiente. En cierto modo, es el valor que acerca o aleja las predicciones del funcionamiento real del sistema. A pesar de que al comienzo, el valor de K atendía a la deducción matemática de la fórmula, es la experiencia de campo y las mejoras tecnológicas que se les introducen a los diseños lo que ha venido adaptando este parámetro al comportamiento real de los recipientes. En el Manual de Diseño de Proceso de PDVSA, se considera al parámetro K como una constante que depende de las unidades usadas, siendo 0,157 en unidades inglesas y 0,048 en sistema internacional.

Para otros autores, el valor de K varía de acuerdo a la aplicación, ya que dicho parámetro depende de factores tales como la densidad, el régimen de flujo, presencia de sólidos, grado de separación necesario, longitud de separación, variación de la relación Gas-Líquido y los factores que afectan la separación en sí misma.

**Cálculo del Flujo Másico:** es la magnitud que expresa la variación de la masa en el tiempo a través de un área específica y se puede expresar el caudal másico como la densidad por un diferencial de volumen.

- Flujo Másico del Gas ( $W_v$ ). El flujo másico del gas se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$W_v = Q_v \times \rho_v \quad (\text{Ec.3})$$

Donde:

$W_v$  Flujo másico del gas (lb/hora)  
 $Q_v$  Flujo volumétrico de gas (ft<sup>3</sup>/hora)  
 $\rho_v$  Densidad del gas (lb/ft<sup>3</sup>)

- Flujo Masico del Líquido ( $W_l$ ). El flujo de líquido total es la sumatoria de flujo de hidrocarburo más el flujo de agua, y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$W_l = Q_l \times \rho_l = (Q_{H_2O} \times \rho_{H_2O}) + (Q_{oil} \times \rho_{oil}) \quad (\text{Ec.4})$$

Donde:

$W_v$  Flujo másico del líquido (lb/hora)  
 $Q_l$  Flujo volumétrico de líquido (ft<sup>3</sup>/hora)  
 $\rho_l$  Densidad del líquido (lb/ft<sup>3</sup>)

**Cálculo de la Máxima Velocidad Permitida ( $V_a$ ).** Para el cálculo de la velocidad permitida se tomará en cuenta la velocidad crítica y el factor de seguridad como se muestra en la siguiente ecuación:

$$V_a = V_c \times F_s \times F \quad (\text{Ec.5})$$

Donde:

$V_a$  Velocidad máxima permitida (ft/seg)

$V_c$  Velocidad Crítica (ft/seg)

$F_s$  Factor de seguridad

$F$  Factor basado en los internos

El factor basado en los internos del separador lo preestablece el manual de Manual de Ingeniería de Diseño de Separadores Líquido-Vapor PDVSA como se muestra en la tabla 5.

**Tabla 5. Factores F basado en los internos** (Tomado de Manual de Ingeniería de Diseño de Separadores Líquido-Vapor PDVSA, 1991)

Tipo	Observaciones	Factor (F)
Recipiente Vertical	Sin accesorios internos	1,00
	Con deflectores	1,50
	Con malla	2,00
Recipiente Horizontal	Con malla	1,70
	Sin malla	1,70

**Cálculo del Área Mínima ( $A_m$ ).** Para el cálculo del área mínima se procede a dividir el flujo volumétrico del gas entre la velocidad máxima permitida, como lo expresa la siguiente ecuación:

$$A_m (ft^2) = \frac{Q_v (ft^3/seg)}{V_a (ft/seg)} \quad (Ec.6)$$

**Cálculo del Diámetro Mínimo ( $D_m$ ).** Obtenida el área mínima, se puede calcular el diámetro mínimo despejando de la ecuación del área de un círculo que representa la tubería, como sigue:

$$D_m (ft) = \sqrt{\frac{A_m (ft^2) \times 4}{\pi}} \quad (Ec.7)$$

**Dimensionamiento de Boquillas.** El criterio de selección de los diámetros de las boquillas de entrada y salida, tiene como finalidad disminuir las pérdidas por efectos de la entrada y salida de los fluidos al recipiente, para las velocidades permitidas se tomó como criterio la tabla 6.

**Tabla 6. Velocidad permisible en boquillas (API RP 14E, 2007)**

Servicio de Boquilla	Velocidad máxima, ft/s
Entrada de Líquido	< 10
Entrada Bifásica (recipiente sin malla)	$45/(\rho_M)^{0.5}$
Entrada Bifásica (recipiente con malla)	$60/(\rho_M)^{0.5}$
Salida de líquido	4
Salida de vapor	$60/(\rho_G)^{0.5}$

**Boquilla de Entrada de Mezcla.** Primero se calcula el parámetro que indica la velocidad máxima permitida con la densidad del fluido, como sigue:

$$V_M < \sqrt{\frac{3720}{\rho_M}} \quad (\text{Ec.8})$$

$$\rho_M(\text{lb}/\text{ft}^3) = \frac{W_V(\text{lb}/\text{hora}) + W_L(\text{lb}/\text{hora})}{Q_V(\text{ft}^3/\text{hora}) + Q_L(\text{ft}^3/\text{hora})} \quad (\text{Ec.9})$$

Luego se divide el flujo volumétrico correspondiente al fluido entre esa velocidad máxima para obtener el área de la boquilla ( $A_i$ ):

$$A_i(\text{ft}^2) = \frac{Q_V(\text{ft}^3/\text{hora}) + Q_L(\text{ft}^3/\text{hora})}{V_M(\text{ft}/\text{seg})} \quad (\text{Ec.10})$$

Del área obtenida se calcula el diámetro de la boquilla ( $D_i$ ):

$$D_i(\text{ft}) = \sqrt{\frac{A_i(\text{ft}^2) \times 4}{\pi}} \quad (\text{Ec.11})$$

**Boquilla de Salida del Gas.** Se usaron las mismas ecuaciones que para el cálculo de la boquilla de entrada de mezcla pero cambiando la densidad de la mezcla por la densidad del gas y el flujo total por el flujo de gas.

**Boquilla de Salida del líquido.** Se usaron las mismas ecuaciones que para el cálculo de la boquilla de entrada de mezcla pero cambiando la densidad de la mezcla por la densidad de líquido y el flujo total por el flujo de líquido.

**Dimensiones del Recipiente (D, L).** Con el diámetro propuesto ( $D_p > D_m$ ) se calcularon todas las dimensiones verticales del recipiente, obteniendo un valor de longitud (L). Luego se verificó la relación L/D para ver si se encuentra dentro de los parámetros recomendados.

$$2,5 < L/D < 5$$

De no cumplir con este criterio, se cambio el diámetro propuesto hasta que cumpla con el criterio.

**Distancia entre tope de la malla y en línea tangente de tope del recipiente (A).** En caso de que el recipiente tenga malla o “demister” se tiene que la distancia entre el tope del recipiente y el tope de la malla, depende del diámetro propuesto ( $D_p$ ) y viene dada por la siguiente ecuación:

$$A = 0,15 \times D_p \quad (\text{Ec.12})$$

**Espesor de la malla.** El espesor promedio de una malla es de 6 pulg. Pero puede variar dependiendo de los requerimientos del proceso.

**Distancia entre fondo de la malla y boquilla de entrada (C).** Esta distancia viene dada por el cincuenta por ciento del diámetro propuesto ( $D_p$ ).

$$C = 0,5 \times D_p \quad (\text{Ec.13})$$

**Espesor de la placa deflectora (J).** Esta distancia es dependiente de si el separador posee una placa deflectora y del área de la boquilla de entrada al separador ( $\phi_E$ ).

$$J = \phi_E \text{ sin placa defelctora} \quad (\text{Ec.14})$$

$$J = 2 \times \phi_E \text{ con placa defelctora} \quad (\text{Ec.15})$$

**Distancia entre fondo de boquilla de entrada y Nivel Alto-Alto de líquido (I).** Esta distancia viene dada por el treinta por ciento del diámetro propuesto ( $D_p$ ).

$$I = 0,3 \times D_p \quad , \text{ como minimo } 12" = 1ft \quad (\text{Ec.16})$$

**Distancia entre Nivel Alto-Alto de líquido y Nivel Alto de líquido (E).** Esta distancia depende del caudal de líquido ( $Ql$ ), el tiempo desde el nivel alto de líquido ( $t_{NAL}$ ) que se recomienda de 1 minuto, y el área del diámetro propuesto ( $A_p$ ).

$$E = \frac{Ql \times t_{NAL}}{A_p} , \text{ como minimo } 8'' = 0,666ft \quad (\text{Ec.17})$$

**Distancia entre Nivel Alto de líquido y Nivel Bajo de líquido (F).** Esta distancia depende del caudal de líquido ( $Ql$ ), el área del diámetro propuesto ( $A_p$ ), el tiempo de residencia y una altura de slug.

$$F = \frac{Ql \times t_r}{A_p} + h_{slug} , \text{ como minimo } 24'' = 2ft \quad (\text{Ec.18})$$

Para el nivel alto de líquido se determino un tiempo de residencia ( $t_r$ ) de 2 minutos desde el nivel bajo, basado en las recomendaciones de la tabla 7.

**Tabla 7. Tiempos de residencia** (Tomado de Manual de Diseño de Procesos MDP 03-S-01 PDVSA, 1995)

Tipo de Fluidos	t, min
Destilados y crudos °API ≥ 40	1,5 <sup>(3)</sup>
Crudos no espumosos 40 > °API ≥ 25	3 <sup>(3)</sup>
Crudos espumosos °API < 25	5 <sup>(1)</sup>
Separación de dos fases líquidas	5 <sup>(2)</sup>
Crudos no espumosos sin depósitos de parafinas °API > 35	1
Crudos no espumosos sin depósitos de parafinas 30 > °API > 20	1 - 2
Crudos no espumosos sin depósitos de parafinas 20 > °API > 10	2 - 4

El volumen se determinó de acuerdo a los requerimientos del proceso para asegurar un control adecuado y proveer suficiente volumen de líquido para una parada segura ante desviaciones mayores de operación, incluyendo los volúmenes de slug. Por ello la altura de slug ( $h_{slug}$ ) se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$h_{slug} = \frac{V_{slug}}{A_p} \quad (\text{Ec.19})$$

Para calcular el volumen de slug ( $V_{slug}$ ), primero se determinó la longitud esperada de slug usando la correlación de Norris.

$$\ln(Ls) = -3,287 + 4,589 \left[ \ln \left( \frac{D}{0,0254} \right) \right]^{0,5} \quad (\text{Ec.20})$$

Donde:

$Ls$  Longitud esperada de slug en metros

$D$  Diametro interno de la tubería en metros

**Distancia entre Nivel Bajo de líquido y Nivel Bajo-Bajo de líquido ( $G$ ).** Esta distancia depende del caudal de líquido ( $Ql$ ), el tiempo desde el nivel bajo de líquido ( $t_{NBL}$ ) y el área del diámetro propuesto ( $A_p$ ).

$$G = \frac{Ql \times t_{NBL}}{A_p} \quad , \text{ como minimo } 8" = 0,666ft \quad (\text{Ec.21})$$

Se fijo por la altura requerida para la ubicación de placas anti vórtices en la salida de líquido y el tiempo desde el nivel bajo de liquido que se recomienda es de 1 minuto.

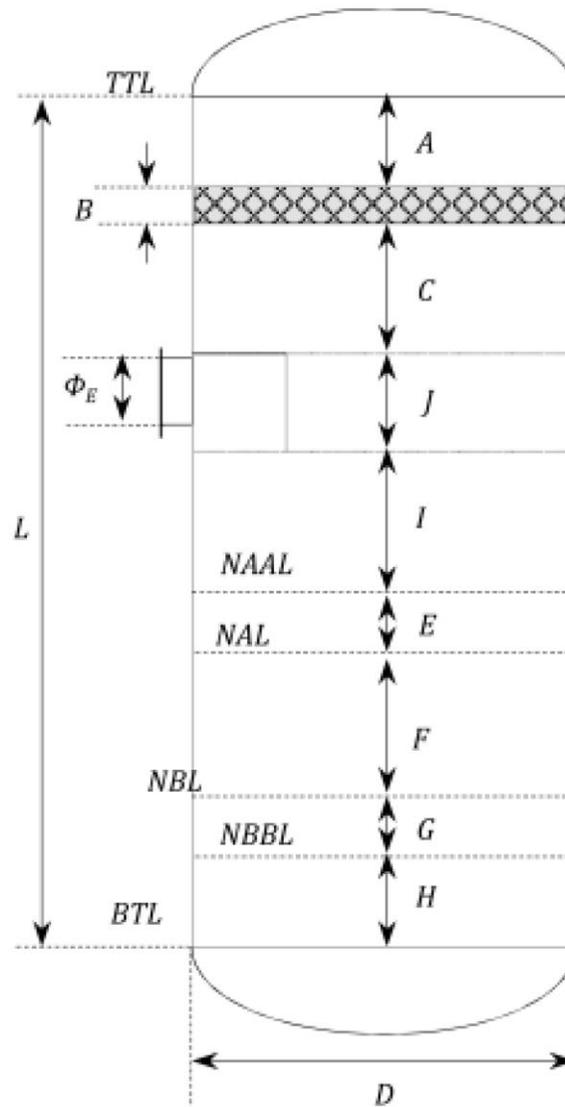
**Distancia entre Nivel Bajo-Bajo de líquido y línea tangente del fondo del recipiente ( $H$ ).** Esta distancia depende del caudal de líquido ( $Ql$ ), el tiempo desde el nivel muy bajo de líquido ( $t_{NBLL}$ ) y el área del diámetro propuesto ( $A_p$ ). El tiempo desde el nivel muy bajo de líquido que se recomienda es de 2 minutos.

$$H = \frac{Ql \times t_{NBLL}}{A_p} \quad , \text{ como minimo } 9" = 0,75ft \quad (\text{Ec.22})$$

**Altura del recipiente ( $L$ ).** La longitud Tangente-Tangente es:

$$L_{T-T} = A + B + C + J + I + E + F + G + H \quad (\text{Ec.23})$$

En la Figura 3 se muestra el esquema del recipiente, donde se detalla cada una de las distancias antes calculadas desde el tope (TTL) hasta la base del recipiente (BTL) y las alturas de los niveles de líquido como: nivel muy bajo de líquido (NBBL), nivel bajo de líquido (NBL), nivel alto de líquido (NAL), nivel muy alto de líquido (NAAL).



**Figura 3. Esquema del Diseño del Separador**

## **Fase II: Diseño de la Propuesta**

Una vez concluido las Fase I, se procedió a elaborar el diseño de Ingeniería Básica Extendida de Instrumentación y Control del Proyecto “Completación de la Construcción del Centro Operativo y Adecuación de los Sistemas e Recolección Del Campo Zapato Mata R”, el diseño contempla la elaboración y emisión de documentos, para ello se siguieron los procedimientos de trabajos de la empresa Pentech Ingenieros C.A.

El diseño se estructura de la siguiente manera: (a) Denominación, (b) Ubicación, (c) Objetivos y (d) Los documentos de la Ingeniería Básica Extendida, los cuales fueron elaborados siguiendo las siguientes actividades:

**Índice de Instrumentos:** para el desarrollo del índice de instrumentos se procedió a recopilar la siguiente información:

- Diagramas de tubería e instrumentación (DTI's).
- Especificaciones de instrumentos, equipos y sistemas.
- Hojas de Datos y/o especificación del instrumento.
- Detalles de instalación (proceso, eléctrico, neumático, soporte).
- Planos de ubicación y canalizaciones.
- Diagramas de interconexión.
- Diagramas de lazo.

Luego se creó una base de datos electrónica, incorporando lo siguiente:

- Número de identificación (TAG).
- Tipo de instrumento.
- Servicio.
- Número de DTI donde se encuentra el instrumento.
- Ubicación del instrumento (campo, panel local, sala de control, MCC, etc.).
- Número de línea o equipo en que se encuentra el instrumento.
- Tipo de señal (analógica, discreta, digital, entrada o salida).
- Número de revisión.

- Tipo de revisión (instrumento incorporado, eliminado o actualizado).
- Número de los detalles de instalación correspondientes al instrumento (proceso, eléctrico, neumático, soporte).
- Número de Plano de ubicación y canalizaciones, planta de tubería o isométrico en que se encuentre localizado el instrumento.
- Si el instrumento forma parte de un lazo de señalización o control, incorpora el número de diagrama de lazo.
- Si aplica, incorpora el número del paquete de construcción correspondiente (modulo, sector, contrato, etc.).

Por último fue revisado y aprobado por el líder de la disciplina para su emisión.

***Hojas de Datos:*** este documento presenta las características y especificaciones técnicas, condiciones de procesos, normas y parámetros para la selección del proyecto. Para su elaboración, primero se debe:

- Adaptar las hojas a los formatos utilizados en el proyecto.
- Actualizar, incorporar o modificar los campos que sean necesario, de acuerdo a las necesidades de información técnica del proyecto.
- Si la hoja de datos requerida no existe, se procede a su elaboración, de acuerdo a normas y estándares del proyecto.

Luego se recopila la información con base en catálogos de fabricantes, especificaciones de proyectos donde se manejó un equipo similar (si aplica), normas, estándares y códigos aplicables al equipo en cuestión.

De forma general la información que se plasma en las hojas de datos es la siguiente:

- Condiciones de Operación.
- Características Mecánicas.
- Dimensiones.
- Características de Operación.
- Capacidad y Rendimiento.

- Características Eléctricas.
- Alimentación.
- Posibles Fabricantes.

De ser necesario se incorporan las notas, documentos de referencias y las no conformidades que deben ser resueltas en las siguientes etapas del proyecto (si aplica). Por último fue revisado y aprobado por el líder de la disciplina para su emisión.

***Lista de Señales:*** para definir la lista de señales primero se compiló la siguiente información:

- Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's).
- Índice de instrumentos.
- Identificar en los diagramas de tubería e instrumentación y/o en el índice de instrumentos, los sistemas remotos receptores de señales (DCS, PLC, SIS, F&G, etc.), para cada sistema identificar las señales asociadas.
- En los sectores de la instalación donde no estén disponibles los diagramas de tubería e instrumentación, tales como: unidades paquete y servicios; se debe realizar un estimado de las señales requeridas.
- Hojas de datos de los instrumentos.
- Especificaciones de instrumentos.

Luego se creó una base de datos electrónica donde se incorporó la siguiente información:

- Sistema (DCS, PLC, RTU, SIS, ESD, F&G, etc.).
- Identificación del sector (área, unidad, planta o diagrama de tubería e instrumentación).
- Tipo de señal (analógica, discreta, digital, entrada o salida).
- Cantidad de señales por cada tipo en el sector.
- Cantidad de señales total por tipo.
- Número de identificación (TAG).

- Número de DTI en que se encuentra el instrumento.
- Número de revisión.
- Información del cliente (bases de diseño, especificaciones, etc.).
- Información de los suplidores de instrumentos, equipos y unidades paquete.

Se determinaron los rangos de operación de los instrumentos, los puntos de operación y ajuste, y puntos de alarmas, a partir de las hojas de datos y especificaciones. Por último fue revisado y aprobado por el líder de la disciplina para su emisión.

***Lista de Cables:*** para detallar la lista de cables primero se alegó la siguiente información:

- Criterios de diseño.
- Especificación de cables.
- Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's).
- Índice de instrumentos.
- Lista de señales.
- Planos Ubicación de Equipos.

Luego se identificaron las características y requerimientos de los cables a ser empleados en la instalación, de acuerdo a la especificación de cables y los criterios de diseño, los cuales definen el tipo y las características del cable (número de conductores, pantallas, etc.).

Y por último se elaboró la lista preliminar de cables indicando las características y cantidades requeridas, estimando las longitudes de los multicables en base a los planos preliminares de canalizaciones y a la ubicación preliminar de los equipos de instrumentación, para su revisión y aprobación por el líder de la disciplina.

***Lista de Materiales:*** el detalle de esta lista consistió en la descripción de los requerimientos generales, funcionales y materiales de construcción. Para empezar se seleccionó la siguiente información:

- Criterios de diseño de instrumentación.
- Especificaciones de tubería.
- Detalles de soporte de instrumentos.
- Detalles de instalación a procesos de instrumentos.
- Detalles de instalación eléctricos.

Se tomó en cuenta que los materiales seleccionados deben ser compatibles con las condiciones del proceso y el área de instalación, y cumplir con las especificaciones de tubería y rangos de presión donde sea instalado el instrumento o equipo. Por último fue revisado y aprobado por el líder de la disciplina para su emisión.

***Memoria de Cálculos:*** para ensamblar la memoria de cálculo se realizaron las siguientes actividades:

- Se recopiló todos los cálculos desarrollados por la disciplina en el proyecto, incluyendo el dimensionamiento de elementos de flujo, válvulas de control y rangos de transmisores.

- Se ensambló el documento verificando que cada cálculo contenga la identificación del instrumento, equipo o sistema asociado.

- Por último fue revisado y aprobado por el líder de la disciplina para su emisión.

***Diagramas de Lazos:*** el contenido del diagrama de lazo está compuesto por la representación de la información del lazo del instrumento. Para elaborarlo se acopió la siguiente información:

- Criterios de diseño.
- DTI's y DBP's.
- Especificación de cables de instrumentación.
- Diagramas de interconexión.
- Información de suplidores de instrumentos y equipos.
- Información de suplidores de unidades paquete.

Luego se procedió a identificar en los DTI's cada uno de los tipos de lazos de control asociados con los sistemas de control. Se elaboraron los diagramas para cada tipo de lazo de control incluyendo la representación de todos los componentes como: instrumentos de campo, cajas de interconexión y paneles locales, los tableros de recolección de señales en el centro de control y los cables asociados. Se tomó en cuenta que la simbología e identificación utilizada en los diagramas de lazo fueran compatibles con las empleadas en los DTI's. Por último fue revisado y aprobado por el líder de la disciplina para su emisión.

Se destaca que cada uno de los documentos involucrados se someten a varias emisiones y revisiones antes de su aprobación, esto obliga a definir en forma clara y adecuada las diferentes revisiones a través de una numeración secuencial (A, B,..., 0, 1...), tal como se explica a continuación:

*Emisión A:* Durante esta emisión cada documento es discutido por todas las disciplinas (Mecánica de equipos, Tuberías, Civil, Procesos, Electricidad e Instrumentación) con la finalidad de incorporar comentarios al documento, bien sea para la aplicación de modificaciones o para su aprobación antes de la siguiente emisión. Esta emisión es solo interna.

*Emisión B:* Esta emisión consiste en que cada uno de los comentarios o modificaciones discutidas por las disciplinas se agregan al documento y este se emite para ser comentado por el cliente.

*Emisión C:* En esta emisión se aplican los comentarios o modificaciones realizados por el cliente en la emisión anterior, es la emisión para aprobación, y será la segunda emisión oficial del plano o documento al cliente. Por ello el documento vuelve a ser comentado por el cliente y de ser necesario nuevas modificaciones previas a la emisión final se utilizarán las letras D, E, etc. para emitir nuevamente el documento.

*Emisión 0 (cero):* Es la emisión final realizada por la empresa y a partir de ella se comenzará a construir la planta o comprar materiales y equipos. Sin embargo, para revisiones posteriores (en caso de ser necesarias) se utilizaran números 1, 2, 3, etc.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

El presente capítulo describe, analiza e interpreta una síntesis de la información obtenida a partir de las actividades descritas en el capítulo anterior, las cuales son consistentes con los objetivos de la investigación. Los documentos elaborados fueron el resultado de la revisión detallada y continua de las bases y criterios de diseño y los procedimientos de trabajo.

#### Verificación de las Dimensiones del Separador

Cumpliendo con la verificación de las dimensiones del separador, en primer lugar se clasificaron los separadores de acuerdo al flujo que llega a cada estación según el caso (extraído del PDO 2014-2034), como se muestra en la Tabla 8, para el dimensionamiento de los separadores se tomó en cuenta el diámetro de la tubería de entrada y los dos casos más extremos que se pueden generar en el proceso: a) Cuando existe el máximo flujo de gas y b) Cuando existe el máximo flujo de líquido.

**Tabla 8. Clasificación de Separadores de Acuerdo con su Producción**

Estaciones	Cant.	Diámetro de Tubería de Entrada	Caso a): Máximo Flujo de Gas				Caso b): Máximo Flujo de Líquido				
			Flujo Std. de Gas	Flujo Std. de Liq.	Flujos Volumétricos por Equipo		Flujo Std. de Gas	Flujo Std. de Liq.	Flujos Volumétricos por Equipo		
					Flujo de Gas/Eq.	Flujo de Liq./Eq.			Flujo de Gas/Eq.	Flujo de Liq./Eq.	
			in	MMSCFD	BPSD	MMSCFD	BPSD	MMSCFD	BPSD	MMSCFD	BPSD
Tipo 1	ZEF-11	1	20	21,94	787,68	21,94	787,68	21,94	787,68	21,94	787,68
	ZEF-7	2	16	44,99	1277,86	22,50	638,93	39,20	1578,67	19,60	789,34
	ZEF-8	2	16	39,68	1706,30	19,84	853,15	37,07	1724,19	18,53	862,09
	ZED-7	1	26	22,67	483,48	22,67	483,48	7,45	607,01	7,45	607,01
	ZEF-10	1	10	19,89	449,96	19,89	449,96	4,17	717,63	4,17	717,63
	ZEF-1	1	10	24,60	1354,44	24,60	1354,44	22,35	1.480,00	22,35	1.480,00
	EFW-4	3	26	72,17	2304,65	24,06	768,22	10,61	2565,10	3,54	855,03
	EFX-8	1	20	25,29	990,00	25,29	990,00	18,36	1268,62	18,36	1268,62
Tipo 2	ZEF-14	1	16	14,87	640,21	14,87	640,21	14,87	640,21	14,87	640,21
	EFM-1	2	12	30,00	571,35	15,00	285,67	2,42	568,04	1,21	284,02
	EFB-12	2	16	33,08	1157,58	16,54	578,79	13,83	1339,77	6,92	669,89
Tipo 3	ZEF-9	1	4	2,16	167,35	2,16	167,35	2,16	167,36	2,16	167,36
	EFH-10	1	16	3,67	94,41	3,67	94,41	3,62	122,81	3,62	122,81
	EFM-4	1	4	3,29	93,19	3,29	93,19	2,88	112,59	2,88	112,59

Solo se contempla el Tipo 1, ya que es el que aplica para la estación en estudio.

En el caso de máxima producción de gas, la estación EFX-8 (dentro del Tipo 1) es la que posee mayor flujo de gas de 25,29 millones de pies cúbicos estándares por

día (MMSCFD) y un flujo de líquido de 990 barriles estándares por día (BPSD) para el año 2024, según la Tabla 9 que se muestra a continuación:

**Tabla 9. Flujos de Producción de Cada Estación para el Año de Mayor Producción de Gas**

Estaciones	Flujo de Gas	Flujo de Crudo	Flujo de Agua	Líquido Total	Año
	MMPCGD	BPSD	BPSD	BPSD	
ZEF-11	21,94	490,00	350,00	840,00	2017
ZEF-7	44,99	740,00	620,00	1.360,00	2023
ZEF-14	14,87	330,00	350,00	680,00	2016
ZEF-8	39,68	980,00	850,00	1.830,00	2022
ZED-7	22,67	330,00	190,00	520,00	2032
ZEF-10	19,89	280,00	200,00	480,00	2023
ZEF-9	2,16	100,00	80,00	180,00	2018
ZEF-1	24,60	720,00	720,00	1.440,00	2031
EFW-4	72,17	1.280,00	1.180,00	2.460,00	2027
EFX-8	25,29	540,00	450,00	990,00	2024
EFH-10	3,67	60,00	40,00	100,00	2030
EFM-4	3,29	60,00	40,00	100,00	2030
EFM-1	30,00	320,00	290,00	610,00	2026
EFB-12	33,08	670,00	570,00	1.240,00	2021

Para el caso de máxima producción de líquido, la estación ZEF-1 (dentro del Tipo 1) es la que posee mayor flujo de líquido de 1480barriles estándares por día (BPSD) y un flujo de gas 22,35 millones de pies cúbicos estándares por día (MMSCFD) para el año 2030, según la Tabla 10 que se muestra a continuación:

**Tabla 10. Flujos de Producción de Cada Estación para el Año de Mayor Producción de Líquido**

Estaciones	Flujo de Gas	Flujo de Crudo	Flujo de Agua	Líquido Total	Año
	MMPCGD	BPSD	BPSD	BPSD	
ZEF-11	21,94	490,00	350,00	840,00	2017
ZEF-7	39,20	880,00	800,00	1.680,00	2029
ZEF-14	14,87	330,00	350,00	680,00	2016
ZEF-8	37,07	1.000,00	850,00	1.850,00	2021
ZED-7	7,45	350,00	300,00	650,00	2015
ZEF-10	4,17	560,00	210,00	770,00	2015
ZEF-9	2,16	100,00	80,00	180,00	2018
ZEF-1	22,35	750,00	730,00	1.480,00	2030
EFW-4	10,61	1.830,00	940,00	2.770,00	2014
EFX-8	18,36	820,00	530,00	1.350,00	2016
EFH-10	3,62	70,00	60,00	130,00	2028
EFM-4	2,88	60,00	60,00	120,00	2026
EFM-1	2,37	320,00	300,00	620,00	2029
EFB-12	13,83	900,00	550,00	1.450,00	2014

**a) Caso de Máxima Producción de Gas**

Las propiedades del gas y el líquido para el caso de máxima producción de gas, que corresponde a la estación EFX-8 son suministradas por la empresa PDVSA Gas, las cuales se presentan en las Tablas 11 y 12.

**Tabla 11. Propiedades del Gas en el Caso de Máxima Producción de Gas**

Propiedades del Gas	
Tasa de flujo de Gas	25,29 MMSCFD
Peso molecular	23,92 MW
Gravedad Específica del Gas	0,826
Densidad del Gas	0,374 lb/ft <sup>3</sup>
Flujo másico de Gas	66.385 lb/hrs
Flujo actual de vapor	4,26 MMACFD

**Tabla 12. Propiedades del Líquido en el Caso de Máxima Producción de Gas**

<b>Propiedades del Líquido</b>	
Tasa de flujo de Agua @T,P	456,9 BPD
Tasa de flujo de Petróleo @T,P	550,4 BPD
Tasa de flujo total @T,P	1007 BPD
Gravedad Específica del Agua	1
Gravedad Específica del Petróleo	0,812
Densidad del Líquido	56,02 lb/ft <sup>3</sup>
Flujo másico del Líquido	13.887 lb/hrs

Al igual, las condiciones de operación para cada estación de recolección son suministradas por la empresa PDVSA Gas, las cuales se presentan en siguiente tabla:

**Tabla 13. Condiciones de Operación de Presión y Temperatura de los Flujos que llegan a Cada Estación**

Estación	Presión	Temperatura
	[psig]	[°F]
ZEF-11	74,36	94
ZEF-7	70,50	87
ZEF-14	74,36	94
ZEF-10	72,13	102
ZEF-8	68,62	93
ZED-7	74,23	86
ZEF-9	74,23	86
EFX-8	78,59	96
EFH-10	65,42	90
EFB-12	71,83	84
EFW-4	93,48	103
ZEF-1	74,36	94
EFM-4	93,48	103
EFM-1	71,83	84

Los pasos a seguir explicados en la Fase I de la metodología según el Manual de Ingeniería de Diseño de PDVSA (2013), fueron los siguientes:

**Estimación de la presión de diseño (Pd).** Tomando en cuenta el criterio descrito en la Tabla 3 y las condiciones de operación de la estación EFX-8.

$$\text{Para una } P_{\text{operación}} = 78,6 \text{ psig se tiene una } P_d = 104 \text{ psig}$$

**Estimación de la temperatura de diseño (Td).** Tomando en cuenta el criterio descrito en la Tabla 4 y las condiciones de operación de la estación EFX-8.

$$\text{Para una } T_{\text{operación}} = 96^\circ F \text{ se tiene una } T_d = 146^\circ F$$

**Cálculo de la velocidad crítica de diseño del gas por la Ec.2.1**

$$V_G = 0,157 \sqrt{\frac{(56,02 \text{ lb/ft}^3 - 0,374 \text{ lb/ft}^3)}{0,374 \text{ lb/ft}^3}} \quad V_G = 1,91 \text{ ft/seg}$$

**Cálculo del Flujo Másico.**

Flujo Másico del Gas: para el cálculo de este flujo no se toma en cuenta el flujo de gas a condiciones estandar, sino que se considera el flujo actual de vapor el cual se encuentra a condiciones de presión y temperatura del separador. Utilizando la Ec.3 tenemos:

$$Wv = 4,26 \text{ MMACFD} \times 0,374 \text{ lb/ft}^3 \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \quad Wv = 66.385 \text{ lb/hr}$$

Flujo Másico del Líquido: para este cálculo se toma la sumatoria del flujo de hidrocarburo más el flujo de agua. Utilizando la Ec.4 tenemos:

$$Wl = \left( 456,9 \text{ BPD} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{0,1781 \text{ bbl}} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \times 62,43 \text{ lb/ft}^3 \right) + \left( 550,4 \text{ BPD} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{0,1781 \text{ bbl}} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \times 56,02 \text{ lb/ft}^3 \right)$$

$$Wl = 13.887 \text{ lb/hr}$$

**Cálculo de la Máxima Velocidad Permitida (Va).** Utilizando la Ec.5 tenemos:

$$Va = 1,91 \text{ ft/seg} \times 1 \times 2$$

Asumiendo el factor de Seguridad como 1 y el factor F de los internos por ser un recipiente vertical con malla igual a 2.

$$Va = 3,83 \text{ ft/seg}$$

**Cálculo del Área Mínima (Am).** Utilizando la Ec.6 tenemos:

$$Am = \frac{4,26 \text{ MMACFD} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}}{3,83 \text{ ft/seg}} \quad Am = 12,87 \text{ ft}^2$$

**Cálculo del Diámetro Mínimo (Dm).** Utilizando la Ec.7 tenemos:

$$Dm = \sqrt{\frac{12,87 \text{ ft}^2 \times 4}{\pi}} \quad Dm = 4 \text{ ft}$$

Como el diámetro mínimo calculado es de 4ft, se debe aproximar al diámetro más alto próximo o uno que se ajuste a un cabezal de tamaño estándar, en este caso se escogio como el diámetro propuesto  $Dp = 7,84 \text{ ft}$ .

### **Dimensionamiento de Boquillas.**

#### **Boquilla de Entrada de Mezcla.**

En primer lugar se estimó la de densidad promedio de la mezcla de entrada, utilizando la Ec.9.

$$\rho_M = \frac{66.385 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} + 13.886,8 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}}{\left(4,26 \text{ MMACFD} + \left(1007,2 \text{ BDP} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{0,1781 \text{ bbl}}\right)\right) \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}}} \rho_M = 0,452 \text{ lb/ft}^3$$

Entonces la máxima velocidad que se recomienda para la boquilla de entrada, utilizando la Ec.8, es de:

$$V_M < \sqrt{\frac{3720}{0,452 \text{ lb/ft}^3}}$$

$$V_M < 91 \text{ ft/seg}$$

Por ende el área de la boquilla, utilizando la Ec.10 resulta:

$$A_i = \frac{\left(4,26 \text{ MMACFD} + \left(1007,2 \text{ BDP} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{0,1781 \text{ bbl}}\right)\right) \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}}{91 \text{ ft/seg}}$$

$$A_i = 0,54 \text{ ft}^2$$

Se obtuvo como diámetro mínimo de la boquilla, utilizando la Ec.11 el siguiente:

$$D_i = \sqrt{\frac{0,54 \text{ ft}^2 \times 4}{\pi}} \quad D_i = 0,83 \text{ ft}$$

Como el diámetro calculado para la boquilla de entrada de mezcla no resulta un número entero se escoge el diámetro comercial mas apropiado que es  $D_i = 1 \text{ ft} = 12''$

### **Boquilla de Salida del Gas.**

La máxima velocidad de flujo del gas que se recomienda para la boquilla de salida del gas, según la Tabla 6, es de:

$$V_v < \sqrt{\frac{3720}{0,374 \text{ lb/ft}^3}}$$

$$V_v < 99 \text{ ft/seg}$$

Por ende el área de la boquilla resulta:

$$A_v = \frac{4,26 \text{ MMACFD} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}}{99 \text{ ft/seg}} \quad A_v = 0,49 \text{ ft}^2$$

Se obtuvo como diámetro mínimo de la boquilla de salida del gas, el siguiente:

$$D_v = \sqrt{\frac{0,49 \text{ ft}^2 \times 4}{\pi}} \quad D_v = 0,79 \text{ ft}$$

Como el diámetro calculado para la boquilla de salida del gas no resulta un número entero se escoge el diámetro comercial más apropiado que es  $D_v = 1 \text{ ft} = 12''$

### **Boquilla de Salida del líquido.**

La máxima velocidad que se recomienda para la boquilla de salida de líquido, según la tabla 6, es de:

$$V_L < 4 \text{ ft/seg}$$

Por ende el area de la boquilla resulta:

$$A_L = \frac{\left(1007,2 \text{ BDP} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{0,1781 \text{ bbl}}\right) \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}}{4 \text{ ft/seg}} A_L = 0,01 \text{ ft}^2$$

Se obtuvo como diámetro mínimo de la boquilla de salida de líquido el siguiente:

$$D_L = \sqrt{\frac{0,01 \text{ ft}^2 \times 4}{\pi}} D_L = 0,11 \text{ ft}$$

Como el diámetro calculado para la boquilla de líquido no resulta un número entero y es muy pequeño se escoge el diámetro comercial mas apropiado que es  $D_L = 0,25 \text{ ft} = 3''$

### **Dimensiones del Recipiente (D, L)**

**Distancia entre tope de la malla y en línea tangente de tope del recipiente (A).**

$$A = 0,15 \times 7,84 = 1,17 \text{ ft} \quad (\text{como minimo } 16'' = 1,33 \text{ ft})$$

$$\text{Entonces } A = 1,33ft$$

**Espesor de la malla (B).**

$$B = 6" = 0,5ft$$

**Distancia entre fondo de la malla y boquilla de entrada (C).**

$$C = 0,5 \times 7,84 = 3,92 ft$$

**Espesor de la placa deflectora (J).**

$$J = 2 \times \left( 20" \times \frac{1ft}{12"} \right) = 3,33ft$$

**Distancia entre fondo de boquilla de entrada y Nivel Alto-Alto de líquido (I).**

$$I = 0,3 \times 7,84 = 2,35ft$$

**Distancia entre Nivel Alto-Alto de líquido y Nivel Alto de líquido (E).**

$$E = \frac{1007,2 BDP \times \frac{1 ft^3}{0,1781 bbl} \times \frac{1 dia}{24hr} \times \frac{1hr}{60min} \times 1min}{48,274ft^2} \quad E = 0,081ft$$

$$(\text{como minimo } 8" = 0,666ft) \quad \text{Entonces } E = 0,67ft$$

**Distancia entre Nivel Alto de líquido y Nivel Bajo de líquido (F).**

Primero se determino la longitud esperada de slug usando la correlación de Norris Ec.20 mencionada anteriormente.

$$\ln(Ls) = -3,287 + 4,589 \left[ \ln \left( \frac{D}{0,0254} \right) \right]^{0,5}$$

$$\ln(Ls) = -3,287 + 4,589 \left[ \ln \left( \frac{20 pulg \times \frac{2,54 cm}{1 pulg} \times \frac{1 m}{100 cm}}{0,0254} \right)^{0,5} \right]$$

$$L_s = 92,6 \text{ m} = 304 \text{ ft}$$

Para luego calcular el volumen de slug multiplicando la longitud ( $L_s$ ) por el área transversal de la tubería ( $A_t$ ), el cual resultado:  $V_{slug} = L_s(ft) \times A_t(ft^2)$

$$V_{slug} = 304ft \times 2,18ft^2 = 662,72 \text{ ft}^3$$

$$V_{slug} = 663ft^3 = 118 \text{ bbl}$$

Se calculó la altura de slug dividiendo el  $V_{slug}$  obtenido entre el área del diámetro propuesto ( $A_p$ ):

$$h_{slug} = \frac{663ft^3}{48,274ft^2} = 13,73ft$$

Por ende, 
$$F = \frac{1007,2 \text{ BDP} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{0,1781 \text{ bbl}} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \times 2 \text{ min}}{48,274ft^2} + 13,73ft = 13,9ft$$

**Distancia entre Nivel Bajo de líquido y Nivel Bajo-Bajo de líquido (G).**

$$G = \frac{1007,2 \text{ BDP} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{0,1781 \text{ bbl}} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \times 1 \text{ min}}{48,274ft^2} \quad G = 0,081ft$$

(como minimo 8" = 0,666ft) Entonces  $G = 0,67ft$

**Distancia entre Nivel Bajo-Bajo de líquido y línea tangente del fondo del recipiente (H).**

$$H = \frac{1007,2 \text{ BDP} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{0,1781 \text{ bbl}} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \times 2 \text{ min}}{48,274ft^2} = 0,162ft$$

(como minimo 9" = 0,75ft) Entonces  $H = 0,75ft$

**Altura del recipiente (L).** La longitud Tangente-Tangente es:

$$L_{T-T} = 1,33ft + 0,5ft + 3,92 ft + 3,33ft + 2,35ft + 0,67ft + 13,9ft + 0,67ft + 0,75ft$$

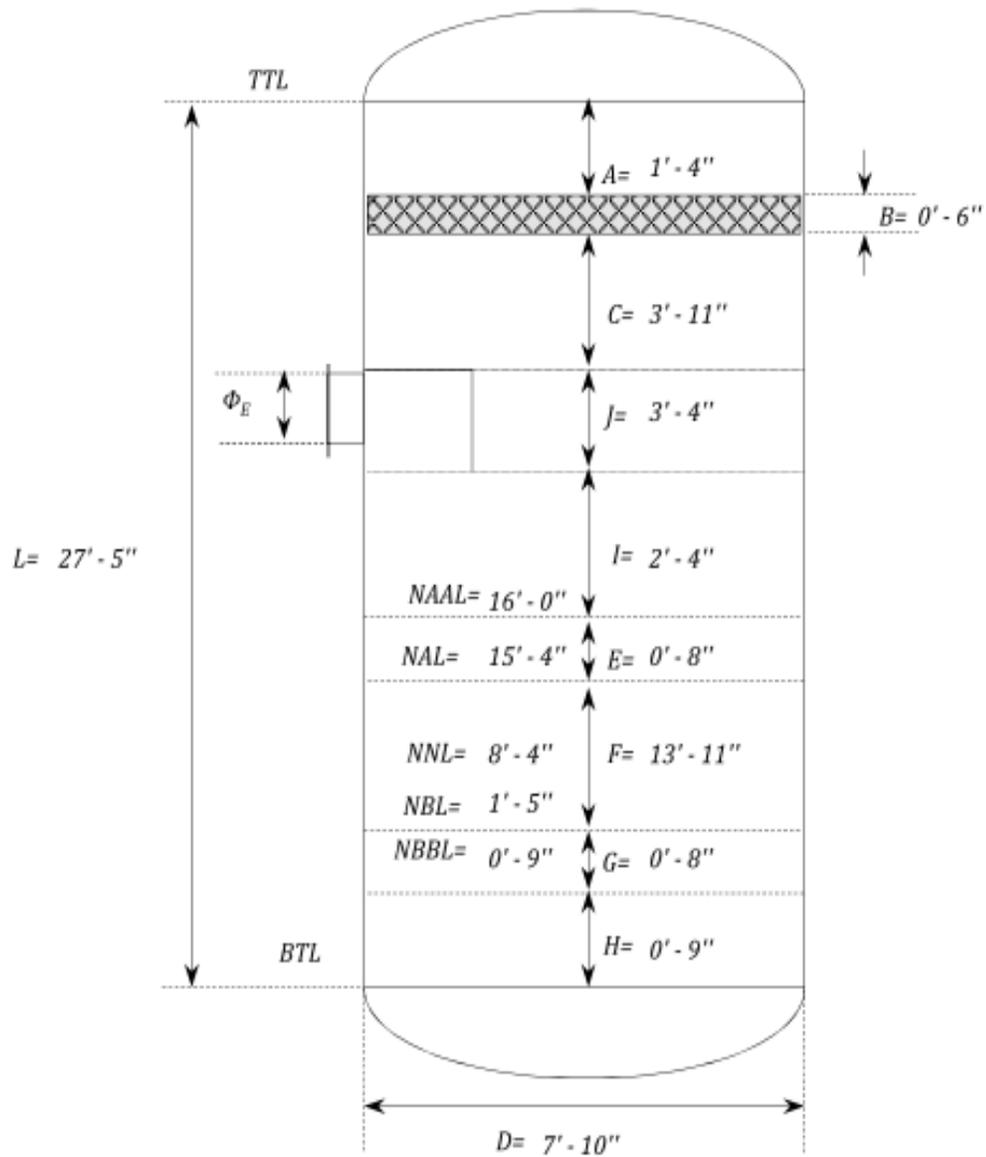
$$L_{T-T} = 27,4ft$$

Entonces al determinar la relación de la longitud entre el diámetro:

$$\frac{L}{D} = \frac{27,4ft}{7,84ft} = 3,49$$

Es decir, que cumple con el rango recomendado que es  $2,5 < L/D < 5$  , siempre que sea posible que la longitud y el diámetro coincidan con los diseños estandar de los suplidores.

Con esto se verificó que las dimensiones del separador están bien diseñadas para el caso de la máxima producción de gas y se generaliza para todos los separadores que se encuentran en la clasificación Tipo 1. En la Figura 3 se puede visualizar las dimensiones calculadas para el separador de la estación tomando en cuenta la máxima producción de gas.



**Figura 4. Esquema del Separador Tipo 1, Caso de Máxima Producción de Gas**

**b) Caso de Máxima Producción de Líquido**

Las propiedades del gas y el líquido para el caso de máxima producción de líquido, que corresponde a la estación ZEF-1 son suministradas por la empresa PDVSA Gas, las cuales se presentan en las Tablas 14 y 15.

**Tabla 14. Propiedades del Gas en el Caso de Máxima Producción de Líquido**

<b>Propiedades del Gas</b>	
Tasa de flujo de Gas	22,4 MMSCFD
Peso molecular	27,04 MW
Gravedad Específica del Gas	0,934
Densidad del Gas	0,433 lb/ft <sup>3</sup>
Flujo másico de Gas	77940 lb/hrs
Flujo actual de vapor	4,32 MMACFD

**Tabla 15. Propiedades del Líquido en el Caso de Máxima Producción de Líquido**

<b>Propiedades del Líquido</b>	
Tasa de flujo de Agua @T,P	740,5 BPD
Tasa de flujo de Petróleo @T,P	766,1 BPD
Tasa de flujo total @T,P	1507 BPD
Gravedad Específica del Agua	1
Gravedad Específica del Petróleo	0,758
Densidad del Líquido	54,87 lb/ft <sup>3</sup>
Flujo másico del Líquido	20650 lb/hrs

Se tomaron de la Tabla 13 las condiciones de operación para la estación ZEF-1 que corresponde al caso de máxima producción de líquido, las cuales fueron: presión de operación 74,4 psig y temperatura de operación 94°F.

Los pasos a seguir explicados en la Fase I de la metodología según el Manual de Ingeniería de Diseño de PDVSA (2013), fueron los siguientes:

**Estimación de la presión de diseño (Pd).** Tomando en cuenta el criterio descrito en la Tabla 3 y las condiciones de operación de la estación ZEF-1.

*Para una Poperación = 74,4 psig se tiene una Pd = 99,4 psig*

**Estimación de la temperatura de diseño (Td).** Tomando en cuenta el criterio descrito en la Tabla 4 y las condiciones de operación de la estación ZEF-1.

*Para una Toperación = 94°F se tiene una Td = 144°F*

### Cálculo de la velocidad crítica de diseño del gas por la Ec.2.1

$$V_G = 0,157 \sqrt{\frac{(54,87 \text{ lb/ft}^3 - 0,433 \text{ lb/ft}^3)}{0,433 \text{ lb/ft}^3}} \quad V_G = 1,8 \text{ ft/seg}$$

### Cálculo del Flujo Másico

Flujo Másico del Gas: para el cálculo de este flujo no se toma en cuenta el flujo de gas a condiciones estándar, sino que se considera el flujo actual de vapor el cual se encuentra a condiciones de presión y temperatura del separador. Utilizando la Ec.3 tenemos:

$$Wv = 4,32 \text{ MMACFD} \times 0,433 \text{ lb/ft}^3 \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \quad Wv = 77.940 \text{ lb/hr}$$

Flujo Másico del Líquido: para este cálculo se toma la sumatoria del flujo de hidrocarburo más el flujo de agua. Utilizando la Ec.4 tenemos:

$$Wl = \left( 740,5 \text{ BPD} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{0,1781 \text{ bbl}} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \times 62,43 \text{ lb/ft}^3 \right) \\ + \left( 766,1 \text{ BPD} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{0,1781 \text{ bbl}} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \times 54,87 \text{ lb/ft}^3 \right) \\ Wl = 20.650 \text{ lb/hr}$$

**Cálculo de la Máxima Velocidad Permitida (Va).** Utilizando la Ec.5 tenemos:

$$Va = 1,8 \text{ ft/seg} \times 1 \times 2$$

Asumiendo el factor de Seguridad como 1 y el factor F de los internos por ser un recipiente vertical con malla igual a 2.

$$Va = 3,6 \text{ ft/seg}$$

**Cálculo del Área Mínima (Am).** Utilizando la Ec.6 tenemos:

$$Am = \frac{4,32 \text{ MMACFD} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}}{3,6 \text{ ft/seg}} \quad Am = 13,88 \text{ ft}^2$$

**Cálculo del Diámetro Mínimo (Dm).** Utilizando la Ec.7 tenemos:

$$Dm = \sqrt{\frac{13,88 \text{ ft}^2 \times 4}{\pi}} \quad Dm = 4,2 \text{ ft}$$

Como el diámetro mínimo calculado es de 4,2ft, se debe aproximar al diámetro más alto próximo o uno que se ajuste a un cabezal de tamaño estándar, en este caso el diámetro propuesto es  $Dp = 7,84 \text{ ft}$

### **Dimensionamiento de Boquillas.**

#### **Boquilla de Entrada de Mezcla.**

En primer lugar se estimó la de densidad promedio de la mezcla de entrada, utilizando la Ec.9.

$$\rho_M = \frac{77.940 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} + 20.650 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}}{\left(4,32 \text{ MMACFD} + \left(1507 \text{ BDP} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{0,1781 \text{ bbl}}\right)\right) \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}}} \rho_M = 0,547 \text{ lb/ft}^3$$

Entonces la máxima velocidad que se recomienda para la boquilla de entrada, utilizando la Ec.8, es de:

$$V_M < \sqrt{\frac{3720}{0,546 \text{ lb/ft}^3}}$$

$$V_M < 82 \text{ ft/seg}$$

Por ende el área de la boquilla, utilizando la Ec.10, resulta:

$$A_i = \frac{\left(4,32 \text{ MMACFD} + \left(1507 \text{ BDP} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{0,1781 \text{ bbl}}\right)\right) \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}}{82 \text{ ft/seg}}$$

$$A_i = 0,61 \text{ ft}^2$$

Se obtuvo como diámetro mínimo de la boquilla, utilizando la Ec.11, el siguiente:

$$D_i = \sqrt{\frac{0,61 \text{ ft}^2 \times 4}{\pi}} \quad D_i = 0,88 \text{ ft}$$

Como el diámetro calculado para la boquilla de entrada de mezcla no resulta un número entero se escoge el diámetro comercial más apropiado que es  $D_i = 1 \text{ ft} = 12''$

### **Boquilla de Salida del Gas.**

Entonces la máxima velocidad flujo del gas que se recomienda para la boquilla de salida del gas, según la tabla 6, es de:

$$V_v < \sqrt{\frac{3720}{0,433 \text{ lb/ft}^3}}$$

$$V_v < 93 \text{ ft/seg}$$

Por ende el área de la boquilla resulta:

$$A_v = \frac{4,32 \text{ MMACFD} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}}{93 \text{ ft/seg}} \quad A_v = 0,54 \text{ ft}^2$$

Se obtuvo como diámetro mínimo de la boquilla de salida del gas el siguiente:

$$D_v = \sqrt{\frac{0,54 \text{ ft}^2 \times 4}{\pi}} \quad D_v = 0,83 \text{ ft}$$

Como el diámetro calculado para la boquilla de salida del gas no resulta un número entero se escoge el diámetro comercial más apropiado que es  $D_v = 1 \text{ ft} = 12''$

### **Boquilla de Salida del líquido.**

La máxima velocidad que se recomienda para la boquilla de salida de líquido según la tabla 6, es de:

$$V_L < 3 \text{ ft/seg}$$

Por ende el area de la boquilla resulta:

$$A_L = \frac{\left(1507 \text{BDP} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{0,1781 \text{ bbl}}\right) \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}}{3 \text{ ft/seg}} \quad A_L = 0,03 \text{ ft}^2$$

Se obtuvo como diámetro mínimo de la boquilla de salida de líquido el siguiente:

$$D_L = \sqrt{\frac{0,03 \text{ ft}^2 \times 4}{\pi}} \quad D_L = 0,2 \text{ ft}$$

Como el diámetro calculado para la boquilla de líquido no resulta un número entero y es muy pequeño se escoge el diámetro comercial más apropiado que es  $D_L = 0,25 \text{ ft} = 3''$

### **Dimensiones del Recipiente (D, L)**

**Distancia entre tope de la malla y en línea tangente de tope del recipiente (A).**

$$A = 0,15 \times 7,84 = 1,17 \text{ ft} \quad (\text{como minimo } 16'' = 1,33 \text{ ft})$$

$$\text{Entonces } A = 1,33ft$$

**Espesor de la malla (B).**

$$B = 6" = 0,5ft$$

**Distancia entre fondo de la malla y boquilla de entrada (C).**

$$C = 0,5 \times 7,84 = 3,9 ft$$

**Espesor de la placa deflectora (J).**

$$J = 2 \times \left( 20" \times \frac{1ft}{12"} \right) = 3,33ft$$

**Distancia entre fondo de boquilla de netrada y Nivel Alto-Alto de líquido (I).**

$$I = 0,3 \times 7,84 = 2,35ft$$

**Distancia entre Nivel Alto-Alto de líquido y Nivel Alto de líquido (E).**

$$E = \frac{1507 BDP \times \frac{1 ft^3}{0,1781 bbl} \times \frac{1 dia}{24hr} \times \frac{1hr}{60min} \times 1min}{48,274ft^2} E = 0,12ft$$

$$(\text{como minimo } 8" = 0,666ft) \quad \text{Entonces } E = 0,67ft$$

**Distancia entre Nivel Alto de líquido y Nivel Bajo de líquido (F).**

Primero se determino la longitud esperada de slug usando la correlación de Norris Ec.20.

$$\ln(Ls) = -3,287 + 4,589 \left[ \ln \left( \frac{D}{0,0254} \right) \right]^{0,5}$$

$$\ln(Ls) = -3,287 + 4,589 \left[ \ln \left( \frac{20 \text{ pulg} \times \frac{2,54 \text{ cm}}{1 \text{ pulg}} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}}{0,0254} \right)^{0,5} \right]$$

$$Ls = 92,6 \text{ m} = 304 \text{ ft}$$

Para luego calcular el volumen de slug multiplicando la longitud ( $Ls$ ) por el área transversal de la tubería ( $A_t$ ), el cual resultado:  $V_{slug} = Ls(ft) \times A_t(ft^2)$

$$V_{slug} = 304ft \times 2,18ft^2 = 662,72 \text{ ft}^3$$

$$V_{slug} = 663ft^3 = 118 \text{ bbl}$$

Se calculó la altura de slug dividiendo el  $V_{slug}$  obtenido entre el área del diámetro propuesto ( $Ap$ ):

$$h_{slug} = \frac{663ft^3}{48,274ft^2} = 13,73ft$$

$$\text{Por ende, } F = \frac{1507 \text{ BDP} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{0,1781 \text{ bbl}} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \times 2 \text{ min}}{48,274ft^2} + 13,73ft = 14ft$$

**Distancia entre Nivel Bajo de líquido y Nivel Bajo-Bajo de líquido (G).**

$$G = \frac{1507 \text{ BDP} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{0,1781 \text{ bbl}} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \times 1 \text{ min}}{48,274ft^2} \quad G = 0,12ft$$

$$(\text{como minimo } 8" = 0,666ft) \text{Entonces } G = 0,67ft$$

**Distancia entre Nivel Bajo-Bajo de líquido y línea tangente del fondo del recipiente (H).**

$$H = \frac{1507 \text{ BDP} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{0,1781 \text{ bbl}} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \times 2 \text{ min}}{48,274ft^2} = 0,24ft$$

(como minimo 9" = 0,75ft)Entonces  $H = 0,75ft$

**Altura del recipiente (L).**La longitud Tangente-Tangente es:

$$L_{T-T} = 1,33ft + 0,5ft + 3,9 ft + 3,33ft + 2,35ft + 0,67ft + 14ft + 0,67ft \\ + 0,75ft$$

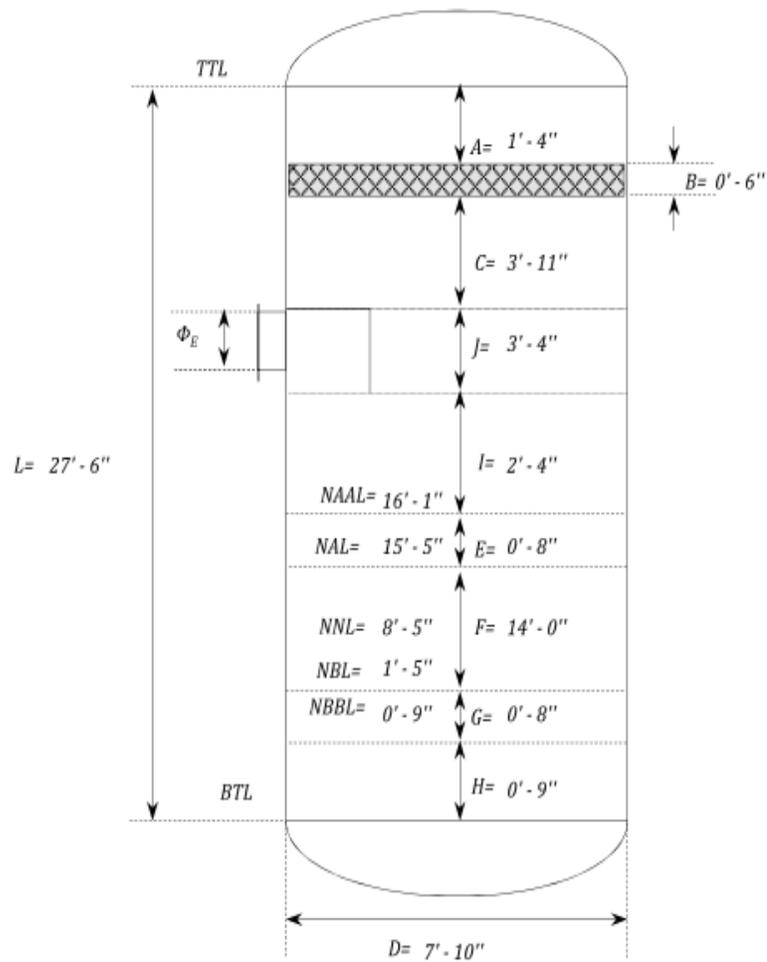
$$L_{T-T} = 27,5ft$$

Entonces al determinar la relación de la longitud entre el diámetro:

$$\frac{L}{D} = \frac{27,5ft}{7,84ft} = 3,5$$

Es decir, que cumple con el rango recomendado que es  $2,5 < L/D < 5$  , siempre que sea posible que la longitud y el diámetro coincidan con los diseños estandar de los suplidores.

Con esto se verificó que las dimensiones del separador están bien diseñadas para el caso de la máxima producción de líquido y se generaliza para todos los separadores que se encuentran en la clasificación Tipo 1. En la Figura 4 se puede visualizar las dimensiones calculadas para el separador de la estación tomando en cuenta la máxima producción de líquido.



**Figura 5. Esquema del Separador Tipo 1, Caso de Máxima Producción de Líquido**

Con estos resultados se puede apreciar que las dimensiones del separador no varían con respecto a los dos casos estudiados de máxima producción de gas y máxima producción de líquido, cumpliendo con los procedimientos del Manual de Ingeniería de Diseño de Separadores Líquido-Vapor PDVSA que se apoya en la norma API SPECIFICATION 12J.

El dimensionamiento se basó principalmente en el cálculo de la velocidad crítica del vapor, para luego obtener el área requerida para el flujo de vapor, tomando en cuenta los tiempos de retención de líquido en el recipiente y especificaciones de

los internos según las prácticas y recomendaciones de PDVSA, con el fin de obtener la relación de longitud entre diámetro ( $L/D$ ) que cumpla con las especificaciones. También se calcularon las dimensiones de las boquillas de entrada y salida del recipiente, que proporcionan información importante en cuanto a los diámetros de las tuberías para el resto del proceso.

Estos resultados fueron congruentes con los obtenidos por los cálculos del departamento de procesos de la empresa Pentech, cumpliendo con la verificación de las dimensiones propuestas para el separador.

## Ingeniería Básica Extendida

La ingeniería básica extendida constituye documentos tanto de la Ingeniería Básica como preliminares de la Ingeniería de Detalle, a continuación se detalla cada producto.

### Índice de Instrumentos.

Listado que resume toda la información de los instrumentos, definida en una base de datos electrónica. Cabe destacar que esta lista incluye todos los instrumentos que aparecen los diagramas de tuberías e instrumentación anexados a este trabajo. En la Figura 6 se aprecia un fragmento del índice donde se coloca la ubicación, que en este caso corresponde a la estación de recolección ZED-7, el TAG del instrumento, el lazo asociado, el servicio y el tipo de instrumento.

UBICACIÓN	TAG_NO	LAZO	SERVICIO	TIPO DE INSTRUMENTO (DESCRIPCION)
ER_ZED-7	FCV 010321	321	CONTROLAR POR FLUJO MINIMO DE LA BOMBA P-3237103	VALVULA DE CONTROL
ER_ZED-7	FCV 010421	421	CONTROLAR FLUJO MINIMO DE LA BOMBA P-3237104	VALVULA DE CONTROL
ER_ZED-7	FE 010321	321	MEDIR FLUJO A LA DESCARGA DE LA BOMBA P-3237103	PLACA ORIFICIO
ER_ZED-7	FE 010421	421	MEDIR FLUJO A LA DESCARGA DE LA BOMBA P-3237104	PLACA ORIFICIO
ER_ZED-7	FE 1A0010	010	MEDIR FLUJO DE GAS HACIA RED DE RECOLECCIÓN	MEDIDOR DE FLUJO TIPO ULTRASONICO

**Figura 6. Fragmento 1 del Índice de Instrumentos**

También, en la Figura 7 se observa el N° del DIT donde se encuentra el instrumento, la revisión del DTI, el tipo de señal (analógica, discreta o digital), la línea o equipo al que va asociado el instrumento, la hoja de datos, el fabricante y el modelo propuesto (en este caso, por ser una ingeniería básica solo se recomienda fabricante y no se especifica el modelo).

Nº DTI (P&ID) CLIENTE	REV.	TIPO DE SEÑAL	INSTRUM. INSTAL. LINEA O EQUIPO	HOJAS DE DATOS	FABRICANTE	MODELO
0096-D1K1-632-2042-DMW-212	A	FF	2" P-32371605-15A2-NI	0096-D1KD-637-7531-DS-101	PENDIENTE	PENDIENTE
0096-D1K1-632-2042-DMW-212	A	FF	2" P-32371606-15A2-NI	0096-D1KD-637-7531-DS-101	PENDIENTE	PENDIENTE
0096-D1K1-632-2042-DMW-212	A	N/A	2" P-32371603-15A2-NI	0096-D1KD-637-7522-DS-101	PENDIENTE	PENDIENTE

**Figura 7. Fragmento 2 del Índice de Instrumentos**

Además se coloca información del número de los detalles de instalación correspondientes al instrumento (proceso, eléctrico, neumático, soporte), número del plano de ubicación donde se encuentra el instrumento, el suministro y el diagrama de lazo, como se observa en la Figura 8.

DETALLE INSTALACION A PROCESOS	DETALLE INSTALACION ELECTRICO	PLANO DE UBICACION	SUMINISTRADO POR	DIAGRAMA DE LAZO
N/A	N/A	0096-D1K1-632-2042-DMW-212	PROYECTO	0096-DLZ637-7500-A-024
N/A	N/A	0096-D1K1-632-2042-DMW-212	PROYECTO	0096-DLZ637-7500-A-025
N/A	N/A	0096-D1K1-632-2042-DMW-212	PROYECTO	N/A

**Figura 8. Fragmento 3 del Índice de Instrumentos**

El documento llamado Índice de Instrumentos se encuentra en el Anexo C Pag.97.

### **Hojas de Datos de los Instrumentos.**

Las hojas de datos incluyen la siguiente información: condiciones de operación, características mecánicas, dimensiones, capacidad y rendimiento, características eléctricas, su alimentación y posible fabricante.

En la Figura 9 se puede apreciar la hoja de datos de un transmisor de presión en el cual se coloca el TAG del instrumento seguido del servicio, en el DTI que se encuentra, se especifica la cubierta, categoría del área donde se encuentra, el color de la cubierta, tamaño del montaje, el indicador, rangos y unidades de medida, se especifica el elemento primario, se especifica la pantalla del transmisor, rangos del sensor y límites de presión y temperatura.

HOJA DE CALCULO: HOJA DE DATOS DE TRANSMISORES DE PRESIÓN

DISCIPLINA: INSTRUMENTACIÓN  
 N° PROYECTO: S0127

**Foundation Fieldbus Pressure Transmitter  
 SPECIFICATION SHEET**

1	<b>TAG</b>	PIT 250320		
2	<b>SERVICE</b>	Presión a la salida de gas del separador V-3237104		
3	<b>LOCATION</b>	P&ID N°0096-D1K1-632-2042-DW-211		
4	<b>DESCRIPTION</b>	TRANSMISOR DE PRESIÓN		
5	<b>HOUSING</b>	SST		
6	<b>ENCLOSURE CLASS</b>	ANSI/NEMA 250-2003, 4X, Class I, Division 2, Groups C and D.		
7	<b>HOUSING COLOR</b>	STD Fabricante		
8	<b>MOUNTING</b>	2" pipe		
9	<b>INDICATOR</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Integral <input type="checkbox"/> Blind <input type="checkbox"/> Remote (Use Remote Indicator Datasheet)		
10	<b>PRIMARY PV</b>	<b>Range</b> -14,7 a 150	<b>Engineering Units</b> psig	
11	<b>CALCULATED PV</b>	Other: Presion E.U.:		
12	<b>PRIMARY ELEMENT</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Direct Mount <input type="checkbox"/> Remote Mount <input type="checkbox"/> Orifice Plate <input type="checkbox"/> Annubar <input type="checkbox"/> Venturi Tube <input type="checkbox"/> Nozzle		
13	<b>LINKABLE VARIABLES ON DISPLAY</b>	<input type="checkbox"/> Transducer Block <input type="checkbox"/> Function Block		
14	<b>LOCAL DISPLAY</b>	<b>TYPE</b> LCD	<b>No. of Points (TAG's)</b> 5 Digit	<b>No. of lines</b> Fabricante
15	<b>SENSOR RANGE</b>	-14,7 a 150		
16	<b>SENSOR TEMPERATURE LIMITS</b>	-40 a 250°F		
17	<b>BURST PRESSURE LIMIT</b>	110000 psi		

**Figura 9. Fragmento 1 de la Hoja de Datos**

Además, como se aprecia en la Figura 10 se encuentra: los datos de procesos, la alimentación, tipo de sensor, conexión al proceso, información referente a la comunicación y al final se recomienda un fabricante. Esta hoja de datos se encuentra en el Anexo C Pag.115.

18	<b>PROCESS DATA</b>	<b>Temperature</b> Norm: 86°F Max: 112°F		<b>Pressure</b> Norm: 74,23 psig Max: 96 psig		
19	<b>POWER SUPPLY</b>	9-32Vdc				
20	<b>SENSOR TYPE</b>	Capacitive Cell				
21	<b>DIAPHRAGM MATERIAL</b>	316L SST				
22	<b>SENSOR FILL FLUID</b>	Silicone				
23	<b>SENSOR REFERENCE ACCURACY</b>	0,04%				
24	<b>TPE TOTAL PROBABLE ERROR UNDER PROCESS CONDITIONS FOR 12 MONTHS</b>	+/- 0,125% URL/5years @ +/- 50°F				
25	<b>SENSOR BODY MATERIAL</b>	316 SS				
26	<b>CONNECTION TYPE</b>	DIRECT				
27	<b>O'RING MATERIAL</b>	PTFE (Teflon)				
28	<b>BODY RATING</b>					
29	<b>PROCESS CONNECTION</b>	3/4" NPTM				
30	<b>ELECTRICAL CONNECTION</b>	1/2" NPT				
31	<b>MANIFOLD</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Direct Mount <input type="checkbox"/> Remote Mount <input type="checkbox"/> 3 way valve <input type="checkbox"/> 5 ways valve <input type="checkbox"/> Other Material: 316 SS Process Connection: 2 way valve - 1/2" NPT				
32	<b>BAUD RATE</b>	31,25 Kbs				
33	<b>COMMUNICATION</b>	<b>PROTOCOL</b> Foundation™ Fieldbus H1	<b>ITK</b> 4,1	<b>BAUD RATE</b> 31,25 Kbs	<b>Minimum VCR</b> 12	<b>Minimum Links</b> 20
34	<b>PHISICAL COMMUNICATION MEDIA</b>	Par trenzado				

**Figura 10. Fragmento 2 de la Hoja de Datos**

Todas las hojas de datos de los instrumentos que aparecen en los diagramas de tubería e instrumentación de las Pag.87, 88, 89 y 90, se encuentran anexadas.

## Listas de Señales.

Listado con la información asociada a la señal de cada instrumento tomando en cuenta el sistema de instalación (DCS, PLC, SIS, RTU o F&G), el DTI, el tipo de señal (analógica, discreta, digital, entrada o salida), número de identificación (TAG), número de revisión.

En la Figura 11 se aprecia un fragmento de la lista de señales donde se muestra el TAG del instrumento, el TAG de la señal, el tipo de instrumento, el servicio de la señal y el servicio del instrumento.

DISCIPLINA: INSTRUMENTACIÓN N° PROYECTO: S0127					
TAG DE INSTRUMENTOS	SIG_TAG	INSTR_TIPO	SERV_SIG	SERVICIO	
ER_ZED-7	SDV250330	I250330	VALVULA ON/OFF	Cierre del flujo hacia el separador V3237104	APERTURA/CIERRE HACIA EL SEPARADOR V3237104
ER_ZED-7	PIT 180011	PIC 180011	TRANSMISOR INDICADOR DE PRESION	CONTROLADOR DE PRESION AL PANEL DE LA VALVULA UC 180011	INDICADOR CONTROLADOR DE PRESION
ER_ZED-7	PIT 180011	PI180011	TRANSMISOR INDICADOR DE PRESION	INDICADOR DE PRESION EN PANEL DE CONTROL	INDICADOR DE PRESION
ER_ZED-7	P CV180011	HS 180011	VALVULA DE CONTROL	INDICADOR MANUAL LR	SELECTOR MANUAL LR AL PANEL DE VALVULA UC 180011
ER_ZED-7	P CV180011	HS 180012	VALVULA DE CONTROL	INDICADOR MANUAL HL	SELECTOR MANUAL HL AL PANEL DE VALVULA UC 180011

**Figura 11. Fragmento 1 de la Lista de Señales**

Por otro lado, en la Figura 12 se muestra el N° de DTI donde se encuentra, el sistema asociado, la línea o equipo donde está instalado, caja de conexión y tipo de señal. Además se coloca el diagrama de lazo y la revisión en que fue emitido.

N° DTI	SYSTEM	LINE_EQUIP	CAJA CONEX	TIPO DE E/S	TIPO DE SEÑAL
4 0096-D1K1-632-2042-DW-211	SIS	26"-P-32371500-30A2-NI	JBSD-01	DO	4-20 mA
0096-D1K1-632-2042-DW-211	PLC	X"-P-32371501-30A2-NI	JBFF-01	AI	FF
0096-D1K1-632-2042-DW-211	PLC	X"-P-32371501-30A2-NI	JBFF-01	AI	FF
0096-D1K1-632-2042-DW-211	PANEL DE VALVULA UC 180011	X"-P-32371501-30A2-NI	--	DI	4-20 mA
0096-D1K1-632-2042-DW-211	PANEL DE VALVULA UC 180011	X"-P-32371501-30A2-NI	--	DI	4-20 mA

**Figura 12. Fragmento 2 de la Lista de Señales**

El documento llamado Lista de Señales se encuentra en el Anexo C Pag.130, 131 y 132.

### Lista de Cables.

La lista preliminar de cables indica las características y cantidades requeridas, estimando las longitudes de los multicables en base a los planos preliminares de canalizaciones y a la ubicación preliminar de los equipos de instrumentación (Anexo A Pag.91) para verificar en forma rápida la ruta y el tipo de cable utilizado para un instrumento en particular.

En la Figura 13 se aprecia un fragmento de la lista de cables donde aparece el TAG del instrumento, el tipo de cable que se requiere, el tipo de señal que se transmite, la longitud aproximada en metros, el carrete (en este caso no se tiene esta información).

ITEM	TAG	TIPO DE CABLE	TIPO DE SEÑAL	LONGITUD (m)	CARRETE
1	FCV 010321	1 Pr+P # 18 AWG	Foundation Fieldbus	10	-
2	FCV 010421	1 Pr+P # 18 AWG	Foundation Fieldbus	10	-
3	FIT 010321	1 Pr+P # 18 AWG	Foundation Fieldbus	7	-

**Figura 13. Fragmento 1 de la Lista de Cables**

Además, como se ve en la Figura 14, se coloca el recorrido del cable (en este caso desde un instrumento hasta la caja de conexión), la línea o equipo asociado al instrumento y el plano de canalización. Este documento se encuentra en Anexo C Pag.133 y 134.

INSTALACIÓN		INST/ EQUIPO	DIAGRAMA DE INTERCONEXIÓN	PLANO DE CANALIZACIÓN
DESDE	HASTA			
FCV 010321	JBFF-02	FCV 010321	0096-DIC-637-7500-A-01	-
FCV 010421	JBFF-02	FCV 010421	0096-DIC-637-7500-A-01	-
FIT 010321	JBFF-02	FIT 010321	0096-DIC-637-7500-A-01	-

**Figura 14. Fragmento 2 de la Lista de Cables**

## Lista de Materiales.

Esta lista describe los requerimientos generales, funcionales y materiales de construcción. Incluye todos los materiales, indicando la cantidad y el tipo de material que se utiliza en la fase de construcción para realizar la instalación y alimentación de los instrumentos.

Se requiere tomar en consideración que los materiales seleccionados deben ser compatibles con las condiciones del proceso y el área de instalación, y cumplir con las especificaciones de tubería y rangos de presión donde sea instalado el instrumento o equipo.

En la Figura 15 se aprecia un fragmento de la lista de los materiales donde se observan todos los implementos necesarios para la instalación de los instrumentos especificando la unidad y cantidad requerida. En este caso por ser una ingeniería básica, no se especifica la marca ni modelo.

HOJA DE CALCULO: LISTA DE MATERIALES			REV: A Fecha: 10/08/2015		
DISCIPLINA: INSTRUMENTACIÓN			Pág.:		
Nº PROYECTO: S0127					
ITEM	DESCRIPCIÓN	MARCA Y MODELO	UNIDAD	CANT.	TOTAL
1	INSTALACIÓN DE SOPORTE PARA INSTRUMENTOS Y CAJAS DE CONEXIONADO				
1.1	Tubo 2", SCH. 80, ASTM A53 Gr B.		MTS	25,60	25,60
1.2	Plancha 14x220x220mm, ASTM A36		PZA	16,00	16,00
1.3	Plancha 6x80x100mm, ASTM A36		PZA	64,00	64,00
1.4	Perno Expansivo Tipo "Hilti HKB", con tuerca y arandela, 1/2", 2" de longitud		PZA	84,00	84,00
1.5	Tapa para soldar a tope (BW), acero al carbono A105, 2"		PZA	16,00	16,00
1.6	Perfil Tipo "L" 1 1/2"x1/4" ASTM A36		MTS	1,60	1,60
1.7	Grampa Tipo "U" Bolt		PZA	32,00	32,00

**Figura 15. Lista de Materiales**

El documento llamado Lista de Materiales se encuentra en el Anexo C Pag.135, 136 y 137.

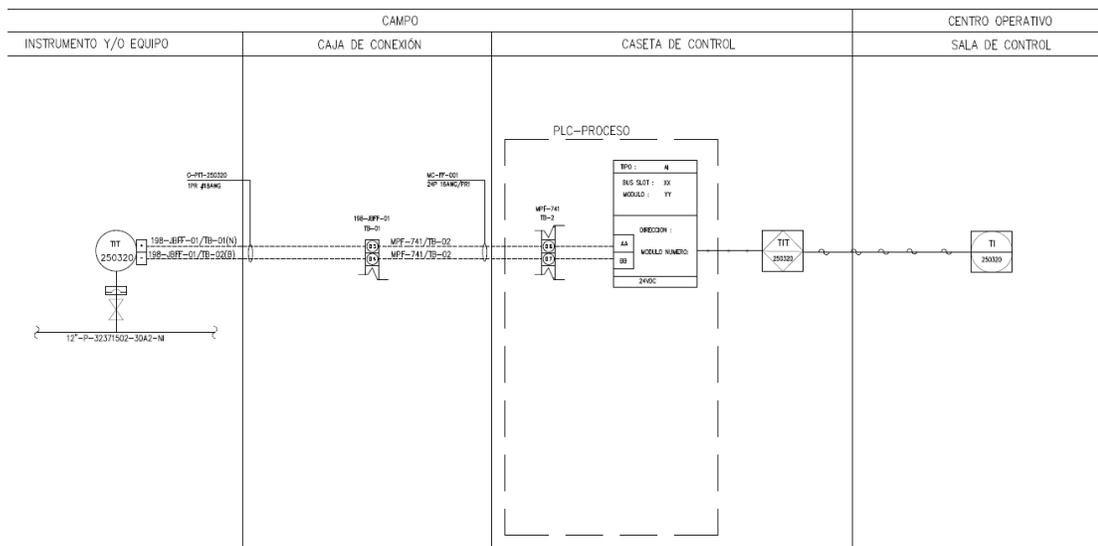
## Memoria de Cálculo.

Este documento recopila todos los cálculos efectuados para el desarrollo del proyecto. Estos incluyen principalmente los cálculos efectuados para el dimensionamiento de instrumentos como elementos de flujo como las placas y válvulas de control. El documento llamado Memoria de Cálculo se encuentra en el Anexo C Pag.138 hasta 149.

## Diagrama de Lazos.

Contiene la representación de la información del lazo del instrumento. Se identifican en los DTI's cada uno de los tipos de lazos de control asociados con los sistemas de control, cada lazo de control incluye la representación de todos los componentes como: instrumentos de campo, cajas de interconexión y paneles locales, los tableros de recolección de señales en el centro de control y los cables asociados.

En la Figura 16 se aprecia el diagrama de lazo de un transmisor de temperatura.



**Figura 16. Diagrama de Lazo**

Los detalles de los diagramas típicos de los lazos se encuentran en el Anexo C Pag.150 y 151, al final de este trabajo.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Sobre la base de los objetivos y el análisis de los resultados se llegó a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Cumpliendo con los estándares de calidad de la empresa Pentech Ingenieros C.A. Se desarrolló la ingeniería básica extendida del sistema de instrumentación y control del proyecto “Completación de la construcción del centro operativo y adecuación de los sistemas de recolección del campo Zapato Mata R”

- Se calcularon las dimensiones del separador las cuales resultaron favorables, tomando en cuenta los casos de máxima producción de gas y máxima producción de líquido. El diseño de estas dimensiones cumple con lo establecido en el Manual de Ingeniería de Diseño de Separadores Líquido-Vapor de PDVSA. Las dimensiones solo corresponden a la clasificación de los separadores Tipo 1, que es el renglón donde entra la estación en estudio.

- Para resumir la información de cada instrumento requerido en el proceso, es de gran utilidad el índice de instrumentos como base de datos, el mismo se va completando a medida que se realicen las actividades del proyecto en sus fases.

- Con la elaboración de las hojas de datos se detalló la información de cada instrumento para cumplir con su función dentro del proceso. La selección técnica apropiada de los mismos requiere no solo del conocimiento preciso de las condiciones del proceso, sino también de la revisión de múltiples catálogos y tecnologías, por la diversidad de modelos y fabricantes disponibles en el mercado.

- La lista de señales servirá para detallar y contabilizar las señales que produce cada instrumento, con la finalidad de generar una base de datos para el dimensionamiento del sistema de control y seguridad.

- Con la lista de cables se contabilizó la cantidad de cable requerido por cada instrumento y la lista de materiales reúne todas las cantidades de los materiales para la instalación en campo de cada instrumento, esta es de gran importancia para el proceso de procura y compra.

- Se elaboró una memoria de cálculo que respalda la información que se observa en las hojas de datos para el dimensionamiento de los instrumentos: elementos de flujo y válvulas de control.

- Los diagramas de lazos generados son documentos fundamentales para la configuración de los sistemas de control y de parada de emergencia, ya que esta información permite la identificación de las rutas de comunicación y conexiones entre los dispositivos.

- Durante el desarrollo del proyecto “Completación de la construcción del centro operativo y adecuación de los sistemas de recolección del campo Zapato Mata R”, es importante mantener una comunicación interdisciplinaria abierta y constante, que dé lugar a resultados óptimos.

- Ya que este proyecto es de gran envergadura sería de gran importancia su ejecución con el fin de seguir desarrollando y aprovechando el potencial energético del país, y que no solo se quede en papel como ingeniería básica extendida.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amendola, L.(2011).*Instrumentación Industrial*. Automatización e Informática Industrial, Universidad de Oriente, Vicerrectorado Académico Núcleo Anzoátegui, Venezuela.
- CreusSolé, A. (1997).*Instrumentación Industrial*. Publicaciones Marcombo, Barcelona España, 6ta Edición.
- Bookaman, V. y De Abreu, C. (1998) *El Pozo Ilustrado. Separadores de producción*. Fondo Editorial del Centro Internacional de Educación y Desarrollo (FONCIED), 1ra edición en CD-ROM, Caracas, Venezuela.
- Cabrera, J. (2009), *Evaluación del sistema de recolección de producción para el nivel de presión de 250psi, propuesta para el Proyecto Gas Anaco (PGA), para el centro operativo Zapato Mata R*. Trabajo especial de grado. Universidad de Oriente, Barcelona, Venezuela.
- Corona, F. (2006).*Ingeniería de Proyectos*. Artículo disponible en: [http://www.balperin.com.mx/servicio\\_ingenieria\\_conceptual.shtml](http://www.balperin.com.mx/servicio_ingenieria_conceptual.shtml)[Consulta: 2015, Julio 06]
- Delgado, E. (2007).*Instrumentación para la Industria*. INTRAVE. 12va Edición.
- Fernández, L. (2012).*Optimización del esquema de explotación del proyecto de recuperación secundaria en el yacimiento MVR-1, arena M3U del campo Mata-R, área mayor oficina (AMO), municipio Pedro María Freites estado Anzoátegui*. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Hurtado, J. (2008). *Metodología de Investigación Holística*. 3ra. Ed. Editorial SYPAL, Caracas, Venezuela.
- IIMPI(s.f.).*Introducción a la Instrumentación Industrial*. Presentación del Departamento de Diseño Mecánico. Facultad de Ingeniería de la República de Uruguay.
- Leal, A. (2014). *Unidad 1: Introducción a los sistemas de control*. Presentación en diapositivas. Universidad Alonso de Ojeda, Facultad de Ingeniería, Escuela de computación, Asignatura: Sistemas de Control.
- López, W.(2009).*Gerencia de Proyectos*. Artículo disponible en:<http://es.slideshare.net/wlopezalmarza/planificacion-de-proyectos>[Consulta: 2015, Agosto 11]
- Manual de Ingeniería de Diseño (2013).*Preparación de Diagramas de Proceso*. Procedimiento de Ingeniería. PDVSA N° L-TP 1.1,15.

- Manual de Ingeniería de Diseño(1991). *Separadores Líquido-Vapor*. Guía de Ingeniería PDVSA N° 90616.1.027, 15.
- PDVSA (2005). *Etapas de la producción*. Artículo disponible en: [http://www.pdvsa.com/index.php?tpl=interface.sp/design/readmenu.tpl.html&new\\_sid\\_obj\\_id=288&newsid\\_temas=16](http://www.pdvsa.com/index.php?tpl=interface.sp/design/readmenu.tpl.html&new_sid_obj_id=288&newsid_temas=16). [Consulta: 2015, Julio 14]
- PDVSA (2010). *Informe de gestión anual 2010*.
- PDVSA Gas (s/f.a). *Instalación de sistemas de separación bifásica en las estaciones de recolección asociadas al Proyecto Gas Anaco*.
- PDVSA Gas (s/f.b). *Evaluación de las instalaciones del campo Zapato Mata R asociadas al PGA, en función del cambio de Volumetría según el PDO 2014-2034*.
- PDVSA Gas (2005). *Proyecto Gas Anaco*. Artículo disponible en: [http://www.pdvsa.com/index.php?tpl=interface.sp/design/readmenu.tpl.html&new\\_sid\\_obj\\_id=7575&newsid\\_temas=84](http://www.pdvsa.com/index.php?tpl=interface.sp/design/readmenu.tpl.html&new_sid_obj_id=7575&newsid_temas=84). [Consulta: 2015, Junio 25]
- PDVSA Gas (2010). *Portafolio de Oportunidades (PDO) 2009-2030*. Elaborado por Rodríguez M.
- PDVSA Gas, *Portafolio de Oportunidades (PDO) 2014-2034*.
- PDVSA-Intevep(1997). *Léxico, Código Geológico de Venezuela*. Disponible: <http://www.pdv.com/lexico> [Consulta: 2015 Julio 02].
- Pentech Ingenieros C.A.(2014a). *Bases y Criterios de Diseño de Instrumentación*. Manual de Gestión de Calidad, Procedimiento de Trabajo, Caracas, Venezuela.
- Pentech Ingenieros C.A.(2014b). *Especificaciones de Instrumentación*. Manual de Gestión de Calidad, Procedimiento de Trabajo, Caracas, Venezuela.
- Pentech Ingenieros C.A.(2014c). *Filosofía de Control y Seguridad*. Manual de Gestión de Calidad, Procedimiento de Trabajo, Caracas, Venezuela.
- Pentech Ingenieros C.A. (2014d). *Listas de Señales*. Manual de Gestión de Calidad, Procedimiento de Trabajo, Caracas, Venezuela.
- Pentech Ingenieros C.A. (2014e). *Cálculos de Instrumentación*. Manual de Gestión de Calidad, Procedimiento de Trabajo, Caracas, Venezuela.
- Pentech Ingenieros C.A.(2014f) *Diagrama de Lazos*. Manual de Gestión de Calidad, Procedimiento de Trabajo, Caracas, Venezuela.
- Perry, H. y Cecil, C. (1973). *Chemical Engineers Handbook*. 5ta Edition, McGraw-Hill.

Souders, M. & Brown, G. (1934). *Design of Fractionating Columns, Entrainment and Capacity*. Industrial & Engineering Chemistry, 98–103 pp.

**Norma:**

API STANDARD 520 (2014). *Sizing, Selection, and Installation of Pressure-relieving Devices. Part I Sizing and Selection*. 9th Edition.

API Standard 521 (2014). *Pressure-relieving and Depressuring Systems*. 6th Edition.

American National Standard. ANSI/ISA 5.1 (2009). *Instrumentation Symbols and Identification*.

International Society of Automation, ISA-20 (1981). *Specification Forms for Process Measurement and Control Instruments, Primary Elements and Control Valves*

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Controladores Lógicos Programables PLC:** es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial y a diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura ampliados, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto.

**Diagrama de Bloques de Proceso DBP:** es una representación gráfica que indica de manera secuencial de los sistemas principales de un proceso, así como sus entradas, salidas e interrelaciones, indicando sólo las variables principales del proceso y servicios mínimos necesarios.

**Diagramas de Flujo de Proceso DFP:** también llamada PFD's por sus siglas en inglés, es una representación esquemática del proceso, sus condiciones de diseño, operación normal y control básico. Además contener una tabla que resume el balance de masa de las corrientes de proceso para la condición normal de operación.

**Diagramas de Tuberías e Instrumentos DTI:** también llamada P&ID's por sus siglas en inglés, son una representación esquemática del proceso con los detalles mecánicos de equipos, instrumentos, tuberías, válvulas, y lazos de control, para garantizar una operación segura de la instalación.

**Flujo Tapón (Slug):** este se presenta en el momento en el que, en un sistema bifásico gas/líquido en una tubería, existen burbujas grandes y alargadas que conforman una fase casi continua de gas, interrumpido por tapones (slugs) de líquido. Estas burbujas presentan la forma de una medusa en la parte superior de la tubería.

**Knock Ou Drum KOD:** trampas o separadores, son recipientes diseñados para disgregar mezclas con una relación vapor/líquido alta, es decir la cantidad de vapor a manejar es grande con respecto a la cantidad de líquido. Estos separadores tienen poca capacidad para la retención del líquido, el cual generalmente se encuentra en forma de neblina.

**Nivel de integridad de seguridad SIL (Level Integrity Safety):** es un nivel discreto (del 1 al4) para especificar los requisitos de integridad de seguridad de las funciones instrumentadas de seguridad.

**Portafolio De Oportunidades (PDO):** es la etapa del ciclo de planificación que permite identificar y establecer las diferentes oportunidades de generación de potencial de petróleo y gas a la capacidad de ejecución operacional requerida, en un horizonte de 20 años y sin limitaciones financieras.

**Punto de Interconexión (Tie-In):** es un punto de empalme en la tubería o línea de proceso identificado con un código o numeración.

**Puntos de Ajuste (Set Point):** es el valor establecido como parámetro de control en las variables de operación del proceso (nivel, presión, temperatura, desplazamiento, rotación, entre otros).

**Sistema básico de control de procesos BPCS (Basic Process Control System):**es aquel que responde a señales de entrada del proceso, su equipo asociado, otros sistemas programables y/o un operador, y genera señales de salida que hacen que el proceso y su equipo asociado funcionen de la manera deseada.

**Sistema instrumentado de seguridad SIS (Safety Instrumented System):** es un sistema instrumentado usado para realizar una o más funciones de seguridad, es independiente del sistema de control. Se compone de cualquier combinación de sensores, unidades lógicas y elemento finales de control.

## **ANEXO A**

Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's) y  
Plano de Ubicación de la estación ZED-7

## **ANEXO B**

Volumetrías de Crudo y Gas de los Campos Zapato-Mata R

**VOLUMETRÍA DE CRUDO (POTENCIAL - MBPD) ZAPATO-MATA R**

**ZAPATO**

NIVEL DE 60#	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
ZEF-11	0,28	0,24	0,43	0,49	0,46	0,37	0,33	0,27	0,22	0,20	0,20	0,16	0,15	0,14	0,11	0,11	0,08	0,09	0,08	0,06	0,05
ZEF-7	0,12	0,59	0,42	0,46	0,57	0,70	0,57	0,71	0,67	0,74	0,70	0,66	0,66	0,64	0,63	0,88	0,75	0,75	0,62	0,57	0,46
ZEF-14	0,11	0,18	0,33	0,25	0,27	0,25	0,20	0,16	0,13	0,13	0,13	0,13	0,24	0,21	0,19	0,16	0,14	0,13	0,10	0,08	0,06
ZEF-8	1,12	0,72	0,69	0,79	0,80	0,72	0,96	1,00	0,98	0,93	0,79	0,93	0,84	0,80	0,83	0,69	0,76	0,73	0,69	0,56	0,44
ZED-7	0,19	0,35	0,30	0,25	0,27	0,25	0,21	0,26	0,25	0,23	0,21	0,20	0,18	0,31	0,28	0,23	0,21	0,21	0,33	0,28	0,22
ZEF-10	0,15	0,56	0,30	0,22	0,20	0,20	0,16	0,19	0,20	0,28	0,24	0,25	0,20	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,05	0,10	0,08
ZEF-9					0,10	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	
ZEF-1			0,16	0,18	0,15	0,32	0,30	0,26	0,43	0,34	0,43	0,34	0,27	0,23	0,35	0,47	0,75	0,72	0,56	0,52	0,42
<b>TOTAL POTENCIAL</b>	<b>1,97</b>	<b>2,64</b>	<b>2,63</b>	<b>2,64</b>	<b>2,82</b>	<b>2,89</b>	<b>2,80</b>	<b>2,91</b>	<b>2,93</b>	<b>2,89</b>	<b>2,73</b>	<b>2,69</b>	<b>2,57</b>	<b>2,52</b>	<b>2,54</b>	<b>2,66</b>	<b>2,78</b>	<b>2,70</b>	<b>2,44</b>	<b>2,18</b>	<b>1,73</b>

**MATA R**

NIVEL DE 60#	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
W-4	1,83	1,66	1,15	1,18	1,26	1,19	1,26	1,15	1,16	1,08	1,06	1,11	1,20	1,28	1,19	1,11	0,90	0,89	0,75	0,63	0,50
X-8	0,83	0,78	0,82	0,63	0,77	0,79	0,69	0,63	0,61	0,56	0,54	0,50	0,48	0,50	0,47	0,46	0,43	0,37	0,30	0,26	0,21
H-10							0,02	0,02	0,01	0,04	0,05	0,06	0,05	0,06	0,07	0,05	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02
M-4									0,02	0,04	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	
M-1				0,04	0,09	0,07	0,11	0,15	0,12	0,20	0,26	0,27	0,32	0,25	0,28	0,32	0,27	0,22	0,17	0,13	0,10
B-12	0,90	0,77	0,58	0,47	0,50	0,53	0,61	0,67	0,62	0,59	0,55	0,49	0,43	0,37	0,34	0,30	0,37	0,32	0,28	0,24	0,19
<b>TOTAL POTENCIAL</b>	<b>3,56</b>	<b>3,21</b>	<b>2,55</b>	<b>2,32</b>	<b>2,62</b>	<b>2,58</b>	<b>2,69</b>	<b>2,62</b>	<b>2,52</b>	<b>2,49</b>	<b>2,50</b>	<b>2,49</b>	<b>2,54</b>	<b>2,51</b>	<b>2,41</b>	<b>2,29</b>	<b>2,09</b>	<b>1,90</b>	<b>1,58</b>	<b>1,32</b>	<b>1,04</b>

**ZAPATO-MATA R**

NIVEL DE 60#	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
<b>TOTAL</b>	<b>5,53</b>	<b>5,85</b>	<b>5,18</b>	<b>4,96</b>	<b>5,44</b>	<b>5,47</b>	<b>5,49</b>	<b>5,53</b>	<b>5,45</b>	<b>5,38</b>	<b>5,23</b>	<b>5,18</b>	<b>5,11</b>	<b>5,03</b>	<b>4,95</b>	<b>4,95</b>	<b>4,87</b>	<b>4,60</b>	<b>4,02</b>	<b>3,50</b>	<b>2,77</b>

<b>TOTALES 205-2024</b>	0,66	0,58	0,55	0,55	0,56	0,49	0,47	0,43	0,41	0,39	0,35
<b>TOTALES 209-2030</b>	6,22	6,04	6,43	5,28	4,87	4,82	4,23	3,51	3,49	2,95	2,46

<b>DIFERENCIA</b>	4,25	3,40	3,80	2,64	2,05	1,93	1,43	0,60	0,56	0,06	-0,27	<b>Promedio</b>		1,86
-------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-----------------	--	------

**VOLUMETRÍA DE GAS (POTENCIAL - MMPCGD) ZAPATO-MATA R**

PDO 2014-2034

**ZAPATO**

NIVEL DE 60#	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
ZEF-11	6,32	6,26	16,11	21,94	18,37	15,31	14,33	11,42	9,05	8,14	7,64	6,09	5,89	5,62	4,43	4,83	3,81	4,23	6,08	4,80	3,79
ZEF-7	0,83	8,36	9,85	13,82	21,25	27,80	22,37	32,87	38,08	44,99	40,95	38,81	34,86	31,63	30,16	39,20	32,92	35,08	33,43	37,23	29,41
ZEF-14	4,20	8,47	14,87	12,42	13,55	14,87	11,72	9,08	7,20	6,74	6,54	6,75	8,96	7,95	7,39	6,43	6,41	6,18	4,88	3,85	3,04
ZEF-8	11,52	17,14	20,16	29,03	29,94	32,91	37,71	37,07	39,68	38,62	32,21	39,54	35,81	32,41	36,03	29,33	36,18	38,23	37,09	30,19	23,85
ZED-7	3,88	7,45	9,51	11,84	13,41	13,85	11,37	12,49	11,16	10,48	9,07	9,13	8,10	15,29	13,63	11,20	10,62	10,41	22,67	18,81	14,86
ZEF-10	0,52	4,17	4,01	3,35	4,00	6,58	5,19	6,24	10,61	19,89	16,33	18,95	14,93	11,77	9,28	7,32	5,77	4,56	3,60	8,26	6,52
ZEF-9					2,16	1,72	2,03	1,58	1,25	1,01	0,79	0,63	1,06	0,84	0,66	0,52	0,41	0,32	0,26	0,20	0,16
ZEF-1			5,85	10,83	8,55	14,97	16,33	13,89	20,75	16,71	17,71	14,11	11,11	11,32	12,55	17,78	22,35	24,60	19,42	16,87	13,33
<b>TOTAL POTENCIAL</b>	<b>27,27</b>	<b>51,85</b>	<b>80,36</b>	<b>103,23</b>	<b>111,23</b>	<b>128,01</b>	<b>121,05</b>	<b>124,64</b>	<b>137,78</b>	<b>146,58</b>	<b>131,24</b>	<b>134,01</b>	<b>120,72</b>	<b>116,83</b>	<b>114,13</b>	<b>116,61</b>	<b>118,47</b>	<b>123,61</b>	<b>127,43</b>	<b>120,21</b>	<b>94,96</b>

PDO 2009-2030

**ZAPATO**

NIVEL DE 60#	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
ZEF-11	20,51	19,35	17,03	14,98	14,49	13,95	13,47	13,06	12,69	12,37	12,08	11,83	11,61	11,42	11,25	11,10
ZEF-7	28,30	32,91	37,26	34,09	30,00	43,10	37,93	33,37	34,37	37,95	33,39	29,38	25,86	22,76	20,03	17,62
ZEF-14	13,55	13,22	11,64	10,24	10,31	9,07	7,98	8,23	8,44	12,63	11,11	9,78	8,60	7,57	6,66	5,86
ZEF-8	54,37	49,15	62,55	56,34	52,18	47,12	50,67	45,79	49,99	52,19	47,13	42,67	38,75	35,30	32,27	29,59
ZED-7	17,41	16,62	15,93	15,32	20,78	20,69	19,40	18,27	17,28	16,41	15,64	14,96	14,37	13,84	13,38	12,59
ZEF-10	16,59	22,90	27,15	25,19	29,47	33,13	30,36	27,91	25,76	23,87	22,21	20,74	19,45	18,32	17,32	16,44
ZEF-9	4,79	4,22	3,71	3,25	2,87	2,53	2,22	1,96	2,92	2,57	2,26	1,99	1,75	1,54	1,36	1,19
ZEF-1	13,97	18,29	16,10	14,16	12,46	10,97	9,65	8,49	7,48	6,58	5,79	5,09	4,48	3,94	3,47	305,00
<b>TOTAL POTENCIAL</b>	<b>169,49</b>	<b>176,66</b>	<b>191,37</b>	<b>173,57</b>	<b>172,56</b>	<b>180,56</b>	<b>171,68</b>	<b>157,08</b>	<b>158,93</b>	<b>164,57</b>	<b>149,61</b>	<b>136,44</b>	<b>124,87</b>	<b>114,69</b>	<b>105,74</b>	<b>399,39</b>

DIFERENCIA	142,22	124,81	111,01	70,34	61,33	52,55	50,63	32,44	21,15	17,99	18,37	2,43	4,15	-2,14	-8,39	282,78	Promedio
ZED-7	13,53	9,17	6,42	3,48	7,37	6,84	8,03	5,78	6,12	5,93	6,57	5,83	6,27	-1,45	-0,25	1,39	5,17

## **ANEXO C**

Productos de la Ingeniería Básica Extendida