

**UNIVERSIDAD DE MATANZAS**

**"CAMILO CIENFUEGOS"**



**FACULTAD INGENIERÍAS**

# TRABAJO DE DIPLOMA

## **Aplicación de la Producción Más Limpia de la Base en Tierra.**



**Autor:** Niurys Galá Abad

**Tutor:** Ing. Elina Pérez Moré

**Asesora:** Ing. Josefina del Carmen González Hernández

**Año 2012**

*PENSAMIENTO*

**“Mientras no seamos un pueblo realmente ahorrativo, que sepamos emplear con sabiduría cada recurso, no nos podemos llamar un pueblo revolucionario.”**

**Fidel Castro Ruz.**

## Nota de Aceptación.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Jefe del Tribunal

---

Miembro del Tribunal

---

Miembro del Tribunal

Provincia \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_ Calificación \_\_\_\_\_

## **Declaración de Autoridad.**

Declaro que soy la única autora de este Trabajo de Diploma realizado en la Universidad de Matanzas " Camilo Cienfuegos ", como parte final de los estudios en la especialidad de Ingeniería Química, por lo que autorizo que el mismo sea utilizado en la institución con la finalidad que se estime conveniente.

---

Niurys Galá Abad

## **Dedicatoria.**

A mi queridos hijos Leandro y Alejandro, por todo su amor y comprensión en estos seis años de sacrificio.

A mis padres, por haberme guiado y apoyado siempre en los proyectos de mi vida. A mi esposo por su consagración.

A mis amigos del grupo, por haber estado en todos los momentos a mi lado y a los que nunca olvidaré.

A mis queridos profesores, por regalarme sus conocimientos de esa forma tan extraordinaria, que solo ellos saben.

A mi querida profesora Ing. Josefina del Carmen Hernández, por su ayuda en los momentos que pensé que las puertas se me estaban cerrando

Por último, no puedo dejar de mencionar a mi tutora Elina Pérez Moré, quien incondicionalmente, con sencillez y modestia, entregó sus conocimientos para la elaboración de este trabajo.

## **Agradecimiento.**

A lo largo de estos seis años, he tenido la oportunidad de sentirme agradecida muchas veces, con mi familia, amigos y queridos profesores, porque todos, de una forma u otra, han contribuido en mi formación como profesional.

A mis queridas amigas: Adaines Puentes Delgado, Dianny Simón Martínez y Yanara Espinosa Torres, las cuales han jugado siempre un papel importante en cualquier situación.

A mis padres y esposo por brindarme su ejemplo. A mis hijos, por darme fuerzas para lograr lo alcanzado.

Para concluir, dejo el agradecimiento más importante, a mi tutora: Ing. Elina Pérez Moré, quien, me ha ayudado, no solo en la realización de la tesis de grado.

**Resumen:**

El trabajo se basa en la aplicación de la Producción más Limpia a los procesos, servicios y los productos industriales. Se realizó en la Empresa “Comercializadora de Combustibles de Matanzas”, ubicada en Zona Industrial en Versalles específicamente en la Base de Crudo y Suministro, cuya función principal es recibir, almacenar y entregar crudo por oleoductos a la Central Termoeléctrica Santa Cruz y a la Central Termoeléctrica Antonio Guiteras o por vía marítima a las diferentes termoeléctricas del país. Se realizó un amplio análisis bibliográfico sobre el tema y se aplicó la metodología de la producción más limpia al proceso, analizándose posteriormente los resultados obtenidos. Por la aplicación de dicha metodología se identificó el problema ambiental existente en la entidad; el cual es el vertimiento de petróleo combustible en las áreas de la base y en las zonas cercanas a la traza del oleoducto en su recorrido hasta las Central Termoeléctrica Santa cruz. También se detectaron problemas con los sistemas de drenaje. Basado en lo anterior, se identificaron soluciones posibles, algunas de aplicación inmediata y otras a largo plazo porque requieren inversiones. Se realizan propuestas para mejorar los sistemas de drenaje .Para estimar las cantidades entregadas a la Central Termoeléctrica y efectuar el análisis económico se realizan balances de materiales y energía, calculando el punto de equilibrio actual y cual sería si se controlaran los derrames.

## ÍNDICE

### **CAPÍTULO 1 Análisis bibliográfico**

	Páginas
1.1 Gestión Ambiental.....	5
1.2 Producción más limpia, Definición, Técnicas y Metodología.....	7
1.2.1 Contexto y definición de Producción más limpia.....	7
1.2.2 Técnicas de la producción más limpia y su aplicación.....	11
1.2.3 Metodología de la Producción más limpia.....	15
1.2.4 Beneficios de la Producción más limpia .....	16
1.3 Estrategia para promover la producción limpia .....	17
1.4. Principales causas de los problemas ambientales en el sistema empresarial en Cuba .....	19
1.5 Principales problemas ambientales en la provincia de Matanzas.....	20

### **CAPÍTULO 2 Metodología de la Investigación.**

2.1. Análisis documental.....	23
2.2 Descripción del proceso tecnológico de la Base en Tierra.....	23
2.3 Análisis fenomenológico del proceso.....	30
2.4 Creación del grupo de expertos.....	31
2.5 Diagnóstico ambiental.....	32
2.5.1 Aplicación de las prácticas de producción más limpia.....	32
2.6 Análisis de la situación del Oleoducto Santa Cruz.....	36
2.7. Consideraciones para la elaboración del plan de acción.....	38
2.8 Metodología para realizar los cálculos económicos.....	39



2.8.1. Cálculo de los costos fijos.....	39
---	----

### **CAPÍTULO 3 Análisis de los Resultados.**

3.1. Resultados del análisis documental.....	41
3.2 Petróleo crudo nativo mejorado (PCNm).....	41
3.3. Creación del grupo de expertos.....	44
3.4 Diagnóstico ambiental.....	44
3.4.1 Derrames en el área.....	44
3.4.1.1 Derrames en el área de bombeo a las termoeléctricas (Área 2-1).....	44
3.4.1.2 Derrames en la estación receptoras de oleoductos. ....	45
3.4.1.3 Derrame en el tanque slop del Intercambiador IE 117.....	45
3.4.2 Registros de drenajes de los tanques de combustible defectuosos.....	45
3.4.3 Sistema de drenaje y canalización.....	45
3.4.4 Residuales de calderas de producción de vapor.....	46
3.4.5 Roturas frecuentes del Oleoducto Santa Cruz.....	46
3.5 Aplicación de la producción más limpia.....	47
3.5.1 Propuestas de solución para los derrames en el área de bombeo a las termoeléctricas.....	47
3.5.1.1 Instalación de un tanque recolector de muestras que descargue por gravedad al tanque slop de la estación 2-1.....	47
3.5.1.2 Interconexión del tanque slop del IE 117 con el tanque slop de la estación 2-1 para vaciar el tanque del IE 117 por gravedad.....	51

3.6 Propuesta de solución para los registros de drenajes de los tanques de combustible.....	55
3.7 Propuestas de solución para los drenajes de los tanques de combustible.....	55
3.7.1 Construcción de una cisterna rectangular de concreto de 100 m <sup>3</sup> de capacidad en la cual se reciben los drenajes de los tanques 49,50,51 y 52 e instalación de una bomba que entregue el agua hacia el tanque 14 de la T 320.....	56
3.7.2 Construcción de una cisterna de concreto de 100 m <sup>3</sup> de capacidad en la cual se reciben los drenajes de los tanques 27, 28, 29, 33, 34,35 36 y 37 e instalación de una bomba que entregue el agua hacia el tanque 14 de la T 320.....	62
3.8 Propuestas de solución para disminuir las roturas del Oleoducto Santa Cruz.....	67
3.8.1 Resultado del Análisis Causa - Efecto. ....	68
3.8.2. Análisis de las presiones en los años 2009,2010 y 2011.....	70
3.8.3 Desarrollo de la estrategia de trabajo.....	73
3.9 Balance de masa.....	75
3.10 Balance de energía.....	77
3.11 Cálculo de la altura mínima necesaria en el tanque .....	78
3.12 Plan de acción.....	82
3.13 Posibles alternativas.....	83
3.14 Plan de acción o implementación.....	84
 <b>CAPÍTULO 4 Análisis Económico.</b>	
4.1 Cálculo del punto de equilibrio.....	88
4.2 Análisis económico después de las modificaciones.....	89
4.3 Cálculo del punto de equilibrio.....	91
<b>Conclusiones</b> .....	92

<b>Recomendaciones</b> .....	93
<b>Bibliografía</b> .....	94

## **INTRODUCCIÓN**

El mundo se ha visto inmerso en una serie de transformaciones de forma paulatina, producto del desarrollo que han ido alcanzando los países, el que en gran medida va ligado al desarrollo de la industria petrolera, ya sea para la generación de la corriente eléctrica, el funcionamiento del transporte, entre otros disímiles usos.

Para que esta industria trabaje de forma eficiente, es necesario refinar el petróleo crudo, el cual es enviado a las refinerías a través de oleoductos, barcazas o buques petroleros oceánicos.

Cuba no está exenta del desarrollo mundial en este sentido, puesto que cuenta no solo con empresas capaces de extraer y refinar el petróleo, sino además, de trasladarlo a su lugar de destino por vía terrestre o marítima.

En la provincia de Matanzas, se encuentra la Empresa Comercializadora de Combustibles, ubicada en la Zona Industrial del Municipio de Matanzas, al Noroeste de la Bahía en el Km. 8 de la carretera de esta Zona Industrial, la cual se encarga de la distribución y comercialización del petróleo crudo y sus derivados; contando para ello con 5 muelles ( Muelle1, Muelle 2 ,Muelle3 ,Muelle4 Bayona y Muelle5 Frank País), además de tener oleoductos capaces de trasladar el combustible a los consumidores que así lo requieran.

Esta entidad está certificada por el Sistema de Gestión de la Calidad, y entre los procesos que integran este Sistema se encuentra el de Recepción, Almacenamiento y Entrega en la Base en Tierra, el cual se evalúa trimestralmente para conocer su eficacia.

La Base en Tierra y Suministro tiene 4 áreas cuya función es recibir, almacenar y entregar el crudo a los diferentes consumidores, con la calidad requerida por el cliente. Entre estos se encuentran las Central Termoeléctrica Antonio Guiteras y Santa Cruz. Debido al almacenamiento y movimiento de estos combustibles, se

emiten gases que contaminan la atmósfera y por derrames que ocurren por diferentes causas existe la posibilidad de contaminar el terreno y el mar con el petróleo crudo nativo.

El crudo se recibe de las productoras con alto contenido de agua, la cual se drena en los tanques receptores. El sistema de drenaje se encuentra en mal estado técnico por lo que el agua con trazas de crudo no fluye por las canalizaciones y va a los terrenos aledaños a los tanques, lo que constituye un problema de contaminación del medio. Recientemente se puso en marcha la planta de tratamiento de residuales de la Empresa, pero el agua drenada de los tanques no llega a esta instalación por problemas de la canalización.

Desde hace 6 años se reportan averías en el oleoducto a la Central Termoeléctrica Santa Cruz., lo cual se ha incrementado con el tiempo, lo que causa afectaciones a los sembrados de los campesinos y a los animales de la zona, contaminación a los ríos, por lo cual la empresa tiene que pagar indemnización. Esto representa una afectación económica no solo por la pérdida de petróleo sino por el impacto ambiental que genera, llegando a afectar zonas turísticas como Bacunayagua y Puerto Escondido. Además como se interrumpe el bombeo para la reparación se reduce la cantidad destinada a dar cobertura a la Central Termoeléctrica.

Al ser la Base en Tierra una de las áreas de mayor importancia dentro la Empresa, es necesario prestar especial interés a garantizar y monitorear la eficiencia del proceso que en ella se lleva a cabo, sin ocasionar afectaciones al medio ambiente. Es por ello que el problema científico que da lugar al trabajo investigativo es:

**Problema Científico:** ¿Cómo minimizar las afectaciones al medio ambiente que se producen en el Oleoducto Santa Cruz y en la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas?

**Hipótesis:** La aplicación de prácticas de Producción Más Limpia minimiza las afectaciones ambientales que se producen en el Oleoducto Santa Cruz y en la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas

**Objetivo general:**

Proponer prácticas de Producción Más Limpia que minimicen las afectaciones ambientales que se producen en el Oleoducto Santa Cruz y en la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas.

**Objetivos específicos:**

Diagnosticar los problemas ambientales que se ponen de manifiesto en el Oleoducto Santa Cruz y en la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas.

Proponer un plan de acción para solucionar los problemas ambientales en el Oleoducto Santa Cruz y en la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas.

## **CAPÍTULO 1 Análisis bibliográfico**

Los avances presentados por Cuba en la “Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible”, en Johannesburgo, Sudáfrica se han obtenido gracias a la implementación del proyecto revolucionario y la política ambiental nacional e internacional. El paso inmediato está dirigido a lograr la inserción de nuestro país en la Cumbre y mantener los esfuerzos realizados encaminados al bienestar del Hombre y la comunidad en la búsqueda de un desarrollo sostenible.

El sistema de Estrategias Ambientales implementadas en la provincia de Matanzas a partir de 1998, posibilitó el fortalecimiento de las políticas sectoriales y territoriales hacia la sostenibilidad. La actualización de la Estrategia Provincial de Medio Ambiente hasta el 2010, se inserta en el proceso de evaluación y adecuación de la Estrategia Ambiental Nacional, requiriéndose para esta nueva etapa de trabajo de una adecuada planificación estratégica en el accionar, en función de dar mayor integralidad, coherencia y solidez a nuestro quehacer (Estrategia Ambiental Nacional, 2010).

Consecuentemente, se toman en consideración los lineamientos presentados por la Dirección del país, que propone “profundizar en los rasgos actuales que caracterizan la gestión ambiental, a saber: su integralidad, sistematicidad, armonía y coherencia, la coordinación interinstitucional, la descentralización de la atención del medio ambiente y la potenciación de las sinergias, enfatizando su vínculo con lo territorial, la participación social que toma por base el vínculo de la comunidad con la solución de sus problemas ambientales y una gestión participativa que busca relacionarse con los elementos culturales de la propia comunidad, la educación ambiental para el desarrollo sostenible, el acceso a la información ambiental y la creciente dimensión y participación internacional en los procesos de negociación sobre el medio ambiente y desarrollo (Estrategia Ambiental Nacional, 2010).

La integración del medio ambiente en todos los aspectos de la vida de las sociedades es, en la actualidad, un hecho innegable y aceptado como

permanente, sean cuales sean las diferencias que puedan existir en el ritmo y la velocidad con que esta integración se produzca en cada situación en concreto. El cambio en las pautas de comportamiento, individuales o asociativas, afecta sin duda, a todos los segmentos en que podamos estratificar a una sociedad o país y, entre ellos, al tramado de empresas y sectores económicos (Maciá, 2000).

En su origen la producción industrial era reconocida mas para sus beneficios económicos que por los inconvenientes físicos y ambientales en que incurre; que siguen siendo hoy en día para algunos países fenómenos aislados y negados, pero no se puede negar los efectos que la producción industrial ocasiona, como catástrofes naturales, daños irreparable al medio ambiente y al propio ser humano. Se llega a un punto en que no hay otra opción que buscar y emplear medidas de desarrollo sostenible de las industrias, tales que con su aplicación no solo se garantice ganancia y sostenibilidad de empresas, fábricas y otras unidades industriales, sino también garantizar el cuidado del medio ambiente. Es en este concepto se basa lo que se conoce como sistema de gestión ambiental (SGA), o sistema de gestión ambiental empresarial (SGAE).

La necesidad de mejorar el desempeño ambiental, económico y social, hace pensar en un proceso productivo o de servicio integral, desde los recursos que se utilizan para producir hasta qué y cómo se consumen (DOAM, 2000).

### **1.1 Gestión Ambiental.**

La Ley No. 81 de 1997 de Medio Ambiente de Cuba, define la gestión ambiental como el conjunto de actividades, mecanismos, acciones e instrumentos dirigidos a garantizar la administración y uso racional de recursos naturales, a través de su conservación, mejoramiento y monitoreo del medio ambiente y las del control de la actividad del hombre en esta esfera. El objetivo fundamental es lograr la sostenibilidad en el desarrollo, proteger la base de los recursos y la calidad ambiental, evitar la degradación del medio ambiente y mejorar la calidad de vida.



La figura 1.1 representa la relación entre la gestión ambiental y la producción más limpia como una de sus herramientas fundamentales. Se evidencia el ascenso hasta lograr el desarrollo sostenible a partir de la prevención continua.

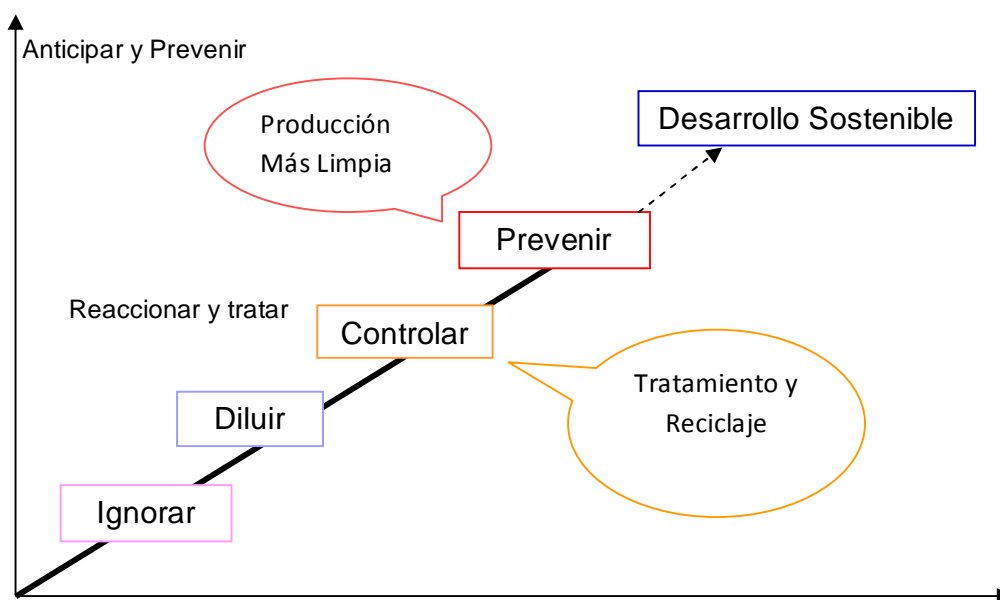


Figura 1.1 Gestión Ambiental

Ahorrar

Fuente: CITMA, 2006

Hace muchos años en las fábricas se están implementando sistemas para la reducción de la contaminación, tanto por razones económicas como para recuperar y proteger su imagen. Los precedentes más inmediatos de la producción más limpia son la minimización de residuos y la prevención de la solución, con los cuales tiene mucho en común. Sin embargo, desde los inicios de la revolución industrial se pueden encontrar antecedentes por motivos simplemente económicos. Siempre han existido industriales que han tenido claro que reducción de desechos y mejora de rendimientos económicos suelen ir asociados (Rigola, 1998). Popularmente se encontraron, la dilución y el tratamiento al final del tubo o

tratamiento final; la dilución es el uso de receptores para todos líquidos después del tratamiento primario, y tratamiento final es uso de procesos de reducir o eliminar contaminantes de residuales ya generadas.

La producción más limpia o P+L, se considera una de las actividades de la gestión ambiental, o mejor dicho una opción para lograr el desarrollo (DOAM, 2000).

## 1.2 Producción más limpia. Definición, Técnicas y metodología.

### 1.2.1 Contexto y definición de Producción más Limpia

La Producción más limpia es una estrategia para producir de forma eco eficiente y que generalmente encamina a las empresas por un camino necesario pero no suficiente hacia una economía sostenible. (Centro Nacional de Producción Más Limpia, 2009)

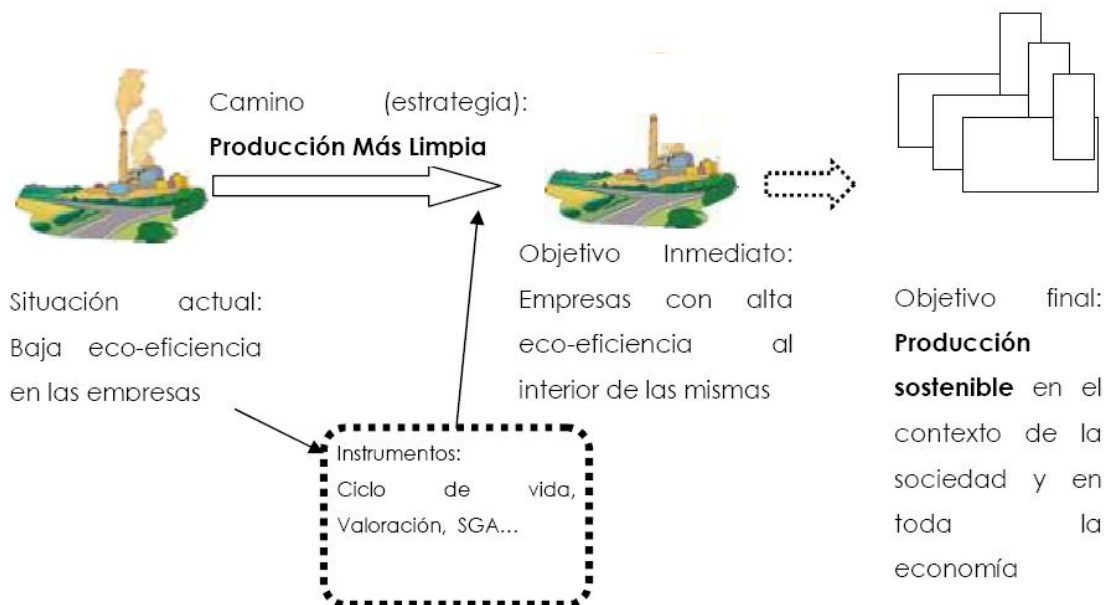


Figura 1.2 Producción más limpia y su contexto

Fuente: Espino, 2006

El desarrollo sostenible es el estado ideal del desarrollo. Existe controversia sobre el hecho de que una sola empresa pueda ser Sostenible<sup>1</sup>. Sin embargo, podemos

establecer que la contribución individual de las empresas a una sociedad sostenible puede ser de gran importancia. La eco-eficiencia es una meta a alcanzar (estado medible) y la Producción más limpia es el camino para llegar a ella. Instrumentos como el Análisis del Ciclo de Vida o la Administración Ambiental apoyan las estrategias de la Producción más limpia. (Espino, 2006).

El concepto de Producción Más Limpia ha alcanzado reconocimiento a nivel mundial como una estrategia preventiva para la protección del medio ambiente en las empresas. De acuerdo con el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (PNUMA), la Producción Más Limpia (PML) es la aplicación continua a los procesos, productos, y servicios, de una estrategia integrada y preventiva, con el fin de incrementar la eficiencia en todos los campos, y reducir los riesgos sobre los seres humanos y el medio ambiente (Centro Nacional de Producción Más Limpia, 2009)

La Producción Más Limpia puede ser aplicada a procesos usados en cualquier industria, a los productos y los servicios:

- ✓ En los procesos de producción: La producción más limpia incluye la conservación de la materia prima y la energía, la eliminación de materias primas tóxicas, y la reducción en cantidad y toxicidad de las emisiones y desperdicios antes de su salida del proceso.
- ✓ En los productos: La estrategia se enfoca en la reducción de los impactos a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, desde la extracción de la materia prima hasta la disposición final de los productos.
- ✓ En los servicios: La producción más limpia reduce el impacto ambiental del servicio durante todo el ciclo de vida, desde el diseño y uso de sistemas, hasta el consumo total de los recursos requeridos para la prestación del servicio.

El PNUMA define la Producción Más Limpia como: aplicación continua de una estrategia integrada de prevención a los procesos, productos y servicios, para

aumentar la eficiencia y reducir los riesgos a la vida humana y al medio ambiente. (Centro Nacional de Producción Más Limpia, 2009)

Este concepto fue definido sobre la base de cuatro criterios:

- ✓ la puesta en práctica de una estrategia ambiental preventiva.
- ✓ la conservación de materias primas y energía.
- ✓ la eliminación de los materiales tóxicos, y la reducción de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones y desechos antes de que se concluya el proceso productivo.
- ✓ la reducción de los impactos en todo el ciclo de vida del producto, desde que se extraen las materias primas hasta el destino final del mismo. (Centro Nacional de Producción Más Limpia, 2009)

Según el Consejo Mundial Industrial para el Desarrollo Ecológicamente Sostenible (WBCSD) de Suiza el concepto de la producción más limpia es la aplicación continua de estrategias de prevención de la contaminación integrales a procesos, productos y servicios para incrementar la eco-eficiencia y reducir el riesgo para los humanos y para el ambiente. (Miranda, 2011)

Según el Instituto Wupperthal de Alemania la Producción más limpia es el mejoramiento continuo de procesos industriales, productos y servicios para reducir el uso de recursos naturales, prevenir la contaminación desde la fuente generadora y reducir la generación de residuos, con la finalidad de minimizar el impacto en la población humana y en el ambiente. (Miranda, 2011)

De igual manera la Agencia de los Estados Unidos para la Protección Ambiental plantea que la Prevención de la Contaminación significa “reducción en la fuente”, como se define dentro del Acta de Prevención de la Contaminación y otras prácticas que reducen o eliminan la creación de contaminantes a través del incremento de la eficiencia en el uso de materias primas, energía, agua y de otros recursos, protección de los recursos naturales a través de la conservación. (Miranda, 2011)

Al analizar los conceptos mencionados y otros se puede concluir que todos los conceptos tienen un objetivo común “La prevención de la contaminación”. (Miranda, 2011).

La producción más limpia es diferente e importante porque está dirigida fundamentalmente a evitar la generación de residuos y emisiones y a disminuir el consumo de materias primas, materiales auxiliares, agua y energía contribuyendo a la elevación del desempeño económico y ambiental de la empresa. (Rigola 1998). La autora coincide plenamente con este planteamiento ya que Producción Más Limpia es un enfoque diferente de trabajo para la gestión ambiental pues resulta un elemento fundamental para el mejoramiento y desarrollo económico, social y ambiental.

En cuanto a los productos, esta estrategia tiene por objeto reducir todos los impactos durante el ciclo de vida del producto, desde la extracción de las materias primas hasta el residuo final. Con respecto a los servicios, supone la inclusión de aspectos medioambientales en el diseño y distribución de los servicios. La producción más limpia se consigue mediante la aplicación de los conocimientos, la mejora de la tecnología y el cambio de actitudes (PNUMA, 1994).

La producción más limpia es una opción de gestión ambiental en la empresa que incluye la prevención de la contaminación en origen y la minimización de las corrientes residuales, que son opciones que pretenden evitar la generación de contaminación como estrategia preferible al tratamiento finalista (DOAM, 2000).

La producción más limpia presenta una serie de ventajas ante los tratamientos a final de línea de la contaminación, y es por ello que, como estrategia de gestión ambiental en la empresa, es preferible, aunque se debe tener presente que los tratamientos al final de línea, de ámbito corrector, son complementarios (DOAM, 2000).

### **1.2.2 Técnicas de producción más limpia y su aplicación.**

La producción más limpia posee diversas formas de ejecución:

✓ **La producción más Limpia como estrategia integral de gestión.**

La producción más limpia es una estrategia de gestión empresarial que va más allá de objetivos concretos que puedan surgir puntualmente, y se traduce en una política que tiene en cuenta todo el proceso productivo en la empresa. Los tratamientos finalistas, en cambio, no tienen en cuenta todo el proceso productivo, y solamente se dedican a tratar efectos concretos sin afrontar su origen, y adoptan una postura a remolque de las problemáticas que vayan surgiendo (DOAM, 2000).

✓ **La producción más limpia como fuente de oportunidades.**

La producción más limpia optimiza los procesos que tienen lugar en la empresa, potencia la adaptación a las nuevas tendencias de cara a la eficiencia de los procesos, y posibilita el crecimiento y la competitividad de la empresa al mejorar sus condiciones de funcionamiento. Los tratamientos a final de línea, bien al contrario, no ofrecen nuevas oportunidades a la empresa, ya que responden solamente a la mitigación de las corrientes residuales que se generan. Se puede decir que la producción más limpia potencia el *software*, y hace posible un análisis, unas oportunidades y un modo de funcionamiento más eficiente en la empresa, y el tratamiento a final de línea solamente se basa en el *hardware*, en la inversión en equipamientos e instalaciones, en tratamientos externos o, lo que es lo mismo, en actuaciones sin valor añadido (DOAM, 2000).

✓ **La producción más limpia como estrategia adaptable.**

Al estar incorporada como estrategia en el proceso productivo, la producción más limpia responde automáticamente a las variaciones que se producen en este proceso (aumento de la productividad, incremento en el uso de determinadas materias, etc.), y se puede aplicar a un proceso concreto o en todos los procesos dentro de la empresa, a diferentes etapas de un proceso, o se puede iniciar por fases, respondiendo a las necesidades y posibilidades de la empresa. El

tratamiento a final de línea es menos adaptable, ya que solamente se concibe como fase suplementaria del proceso de producción y, por tanto, no puede responder tan fácilmente a los cambios que se producen en este proceso (DOAM, 2000).

Al ejecutarse la producción Más Limpia se generan beneficios:

✓ **La producción más limpia y los beneficios económicos**

Al aplicar medidas viables de producción más limpia, se ahorran costes de tratamiento de las corrientes residuales, y al fomentar medidas más eficientes, también se ahorra en el consumo de agua, energía, materias primas, etc. A la vez, la optimización de los procesos productivos a los que da lugar la producción más limpia puede permitir un aumento de la productividad de la empresa ya que se presenta un porcentaje de ahorro en tiempo susceptible de invertirse en el mismo proceso, o con una tecnología más limpia se puede aumentar al mismo tiempo la producción. El tratamiento a final de línea no prevé un ahorro de los costos para la empresa, sino que, por el contrario, supone un costo añadido, constante y creciente, tanto por el aumento de producción que pueda tener la empresa como por las nuevas reglamentaciones que puedan surgir (DOAM, 2000).

✓ **La producción más limpia y los beneficios ambientales**

Al prevenir la generación de contaminación y el uso más eficiente de los recursos, la producción más limpia es una opción más positiva para el medio ambiente. El tratamiento a final de línea también es una opción que reduce la presión contaminante sobre el medio receptor, aunque actúa después de que ésta se haya generado y no favorece el uso más eficiente del agua, la energía, las materias primas, etc. (DOAM, 2000).

Es criterio de la autora que además de beneficios económicos y ambientales, también la repercusión social de la Producción Más Limpia juega un papel fundamental que en la mayoría de los países se traduce en calidad de vida sustentada en el mejoramiento, desarrollo científico tecnológico

✓ **La producción más limpia como política integral de participación.**

La producción más limpia es una política integral que mejora y optimiza la estructura del trabajo y el nivel técnico de la empresa. Al mismo tiempo, es una estrategia que adopta todo el personal de la empresa, desde el operario a pie de máquina hasta el directivo de la empresa, con un proceso de aprendizaje y concienciación previos y que se refleja en unas mejores prácticas ambientales y productivas. El tratamiento a final de línea incluye una actuación consciente del directivo que propone la medida, y del técnico que la implanta, pero no fomenta una actuación responsable que incluya la participación y los beneficios derivados de todo el personal (DOAM, 2000).

✓ **La producción más limpia y la imagen de la empresa**

Toda estrategia que incorpora criterios ambientales favorece la imagen de la empresa. La producción más limpia y el tratamiento de las corrientes residuales cumplen este requisito, pero las tendencias actuales ponen de manifiesto que prevenir es mejor que corregir, tanto desde el punto de vista ambiental como económico y, por tanto, la prevención de la contaminación es la mejor imagen para la empresa.

Es evidente que no se puede gestionar correctamente lo que se desconoce y/o está insuficientemente identificado o medido; en definitiva, diagnosticado. Se precisa, pues, una herramienta de diagnóstico que permita a las empresas decidir las opciones y el grado de intensidad de cada una de ellas en el momento de diseñar su política ambiental. El DAOM es una de estas herramientas (DOAM, 2000).

La mayoría de las técnicas de P+L son comunes a varios procesos de fabricación y se puede emplear en muchas instalaciones sin variaciones significantes. Otras técnicas son propias de sectores industriales o de productos particulares; así



incluye una parte genérica, pero requieren una especificación, como mínimo, a nivel sectorial.

Entre las técnicas dispuestas que pueden ser aplicadas para efectuar cambios positivos hacia la producción más limpia, se encuentran:

- ✓ **Modificación de Tecnologías o cambios específicos del proceso:** modificaciones que tienden a disminuir la generación de desechos sólidos y peligrosos, ahorro en el consumo de agua y energía (Rigola, 1998)
- ✓ **Sustitución de materias primas o insumos:** la reducción o eliminación de materiales peligrosos que entren al proceso
- ✓ **Gestión de aprovisionamientos:** ofrece posibilidades de reducción de residuos que, en general, no requieren ninguna inversión o una inversión mínima. Una buena gestión de los aprovisionamientos puede reducir las cantidades de sustancias y/o de embalajes que de otra forma acabarían como residuo. También reduce el riesgo total por toxicidad asociado a productos caducados o contenedores contaminados por sustancias tóxicas que hay que eliminar
- ✓ **Modificación de Productos:** incluye acciones que van desde la sustitución del producto hasta cambios en la composición del mismo
- ✓ **Procedimientos de operación y mantenimiento:** las mejoras en la operación y mantenimiento alcanzan a las personas, a las instalaciones y a los procedimientos e instrucciones. En adecuado mantenimiento de las instalaciones permite tener un mejor control y manejo de los desechos, y prevención de pérdidas de insumos
- ✓ **Almacenaje y trasvases:** la función de almacenaje está destinada a regular las funciones que existen entre entrada de suministros y su consumo en la producción, y entre producción y la salida de los productos. Los suministros pueden ser de origen exterior, llegados a las instalaciones mediante un

transporte iniciado en la fuente de suministro, o bien productos intermedios originados en un proceso o etapa de fabricación preliminar (Rigola, 1998).

### **1.2.3. Metodología de la producción más limpia.**

La metodología de producción más limpia está integrada por tres etapas (Serrano, 2006) y cada una de ellas contempla varias actividades.

#### **Etapa I: Planeación y organización**

- Obtención del compromiso de la dirección de la empresa o institución; sirve como una fuerza impulsora para el proyecto, y implica la disposición de recursos para lograr el objetivo del proyecto.
- Establecer el equipo ejecutor del proyecto
- Realizar el diagnóstico ambiental de la empresa

#### **Etapa II: Estudio y Evaluación del Proceso**

- Recorrido de identificación de todos los problemas ambientales
- Desarrollo del diagrama de flujo del proceso
- Balances de Materia y Energía
- Consideraciones económicas o valoración económica

#### **Etapa III: Síntesis y valoración de alternativas**

- Identificación de todas soluciones (alternativas) para los problemas ambientales.
- Análisis de alternativas generadas
- Valoración económico de propuesta
- Plan de acción o implementación de propuesta
- Presentación del informe a la entidad.

El desarrollo de cada etapa trae consigo un efecto positivo que contribuye al desarrollo en todas sus dimensiones.

#### **1.2.4 Beneficios de la producción más limpia**

La aplicación de las técnicas de la producción más limpia trae beneficios para la empresa, el ser humano y el medio ambiente. (CITMA, 2010; Rigola, 1998). A continuación se relacionan los beneficios más comunes:

Para la Empresa:

- ✓ Incrementa sus beneficios económicos.
- ✓ Posibilita el acceso a nuevos mercados.
- ✓ Reduce el riesgo de sanciones de la autoridad ambiental.
- ✓ Permite la incorporación del proceso de mejoramiento continuo.
- ✓ Mejora el control de los costos y la satisfacción de criterios de inversión.

Para los Clientes:

- ✓ Muestra mayor confianza con una gestión de calidad y ambiental demostrable.
- ✓ Incrementa la sustentabilidad del producto y su aceptación por el cliente.
- ✓ Aumento de la vida útil del producto.
- ✓ Mayores cuidados en la disposición final de producto.
- ✓ Existe un estímulo para que la empresa piense más en el cliente y reduce el riesgo de esta de no satisfacer a sus clientes.

Para el Medio Ambiente:

- ✓ Uso racional de materias primas y otros insumos.
- ✓ Conservación de los recursos naturales.
- ✓ Disminución y control de los contaminantes.
- ✓ Armonización de las actividades con el sistema.

### **1.3 Estrategia para promover la producción limpia.**

Los gobiernos tienen un papel clave en la promoción de tecnologías más limpias y productos menos agresivos para el ambiente. En lugar de establecer medidas destinadas sólo a “controlar” la contaminación, deberían promover normas para prevenirla. Es común implementar “sistemas de tratamiento” -que a menudo crean nuevos problemas ambientales aplicados al final de los procesos industriales una vez generados los residuos. Los gobiernos deberían desarrollar políticas que favorezcan los productos de vida útil prolongada, las fuentes de energía limpia y renovable, el uso de materiales no tóxicos y reciclables y las tecnologías de producción más limpias (Green Peace-Argentina,2006).

Existen numerosas iniciativas que los gobiernos podrían llevar adelante:

- ✓ Dictar leyes de prevención de la contaminación, que obliguen a las industrias a implementar un plan de reducción de la generación de residuos y de utilización de materias primas tóxicas (Green Peace-Argentina, 2006).
- ✓ Garantizar y estimular el acceso público a la información. Las medidas que reconocen el derecho a la información de los ciudadanos exigen al gobierno a distribuir activamente información en temas tales como las emisiones y los planes de prevención de la contaminación de las industrias, como el contenido de tóxicos de los productos que consumen. Los ciudadanos tienen fácilmente acceso, por ejemplo, a la información sobre los niveles de contaminantes emitidos por la chimenea de una fábrica vecina.
- ✓ Conocer las características y particularidades de toda producción, servicio no es sólo un derecho básico de cualquier ciudadano, sino que ha demostrado servir de estímulo para disminuir la contaminación de ciertas industrias y el contenido de ingredientes tóxicos de algunos productos. (Riveir,2008).

Por ejemplo, desde 1986 existe en Estados Unidos una ley a través de la cual las industrias informan de una lista de más de 600 compuestos tóxicos distintos, qué cantidades de cada uno han liberado al medio ambiente o han

enviado a una planta de tratamiento. Esta información se publica en forma de inventario y está accesible en formato de libro o a través de una computadora personal. Según los datos que las industrias presentaron a las autoridades de ese país, las emisiones de contaminantes habrían disminuido entre 1988 y 1995 en un 43% (Green Peace-Argentina, 2006).

- ✓ Implementar políticas para extender la responsabilidad del fabricante de un producto. Actualmente, el fabricante sólo es responsable de los aspectos relacionados con una parte del ciclo de vida de sus productos. Extender la responsabilidad del fabricante supone que éste sea responsable de los impactos de la extracción de las materias primas que elige, de informar sobre los contenidos del producto o del destino de éste una vez concluida su vida útil. (Suárez, 2006)

Estas medidas exigen, por ejemplo, que los productos sean retornables, es decir, que vuelvan al fabricante una vez finalizada su vida útil. Frente a la invasión de productos usados, los fabricantes tienen un incentivo para desarrollar productos de vida más larga, reutilizables, fáciles de reparar y hechos de materiales más seguros que permitan su fácil reprocesamiento.

Hoy se producen objetos que son rápidamente descartados -papeles o plásticos para embalajes-, o que son tóxicos -pilas, pinturas, solventes-, y la responsabilidad de disminuir el daño ambiental recae sobre los consumidores que pagan crecientes impuestos al gobierno municipal para que se ocupe de la basura. Sin embargo, no son los consumidores, sino los fabricantes los que tienen en sus manos rediseñar el producto para solucionar el problema (Green Peace-Argentina, 2006).

- ✓ Prohibir o eliminar progresivamente los productos tóxicos. Estas medidas son básicas para evitar la contaminación. Algunos países ya han avanzado en la eliminación del plomo, el mercurio, el plástico PVC, los pesticidas, algunas pinturas (Green Peace-Argentina, 2006).

- ✓ Elaborar planes que faciliten la transición de los trabajadores afectados por el cierre de las industrias sucias (Green Peace-Argentina, 2006 Crear Centros de Producción Más Limpia que proporcionen apoyo técnico y proveer fondos para la investigación en tecnologías más limpias (Green Peace-Argentina, 2006).
- ✓ Influir en el mercado, favoreciendo el consumo de productos limpios y comprando productos más limpios para uso en las dependencias gubernamentales (Green Peace-Argentina, 2006).
- ✓ Establecer líneas de créditos blandos que faciliten la reconversión de las industrias (Green Peace-Argentina, 2006).
- ✓ Implementar reformas impositivas que graven la contaminación y el uso de recursos no renovables, generen fondos para la implementación de prácticas más limpias y proporcionen un estímulo económico para dejar de contaminar (Green Peace-Argentina, 2006).
- ✓ Detener el vertido (Basta de Vertidos Tóxicos) y la incineración de residuos tóxicos (Green Peace-Argentina, 2006).

La autora refiere que el éxito de la Producción Más Limpia parte del conocimiento de los problemas, las causas que lo originan y la caracterización de los factores afectados. El análisis de estos aspectos conlleva a las alternativas de solución más adecuadas.

#### **1.4 Principales causas de los problemas ambientales en el sistema empresarial en Cuba.**

El sistema empresarial cubano se caracteriza por la planificación rigurosa de la producción y los servicios, la racionalidad en el consumo y la calidad de la ejecución de la producción y los servicios.

No obstante, según Sánchez (2005), en las Empresas se presentan problemas ambientales motivados por:

- Manejos inadecuados del agua y la energía.
- Tecnologías atrasadas y obsoletas.

- Aplicación del mantenimiento como sistema curativo, no preventivo.
- Superficie calórica deteriorada.
- Controles automáticos atrasados.
- Sobre dimensionamiento de equipos.
- Inadecuada economía de escala.
- Ubicación de empresas en las cercanías de comunidades.
- Almacenes con materias primas obsoletas y sin las condiciones ambientales requeridas.
- Prácticas productivas / servicios incompatibles con el medio ambiente.
- Ausencia o deficientes sistemas de tratamientos de residuales.
- Altos consumos de energía por unidad de producto.
- Sistema de protección e higiene del trabajo deficitario.
- Baja productividad.

La autora opina que estos problemas se manifiestan en mayor o menor grado en las diferentes provincias, ello depende del tipo de industria o empresa que predomine y su desarrollo.

### **1.5. Principales problemas ambientales de la provincia de Matanzas.**

Los problemas ambientales identificados se consideran como los principales a partir de los criterios siguientes: incidencia en la calidad de vida de la población y afectaciones en los recursos que sustentan las actividades económicas del territorio. Estos son hacia los que hay que dirigir la atención y el esfuerzo de la gestión ambiental a partir de la concertación intersectorial e interinstitucional (Sánchez, 2005; Suárez, 2006):

- Deterioro en las condiciones higiénicas sanitarias del territorio.
- Contaminación de las aguas superficiales, subterráneas y marítimas.
- Degradación de los suelos.
- Deterioro de los hábitat naturales.
- Insuficiente forestación.
- Indisciplina social.
- Deterioro del patrimonio urbano.

- Deterioro de la calidad del aire.
- Deterioro de la infraestructura técnica y viales.
- Manejo inadecuado de los desechos biológicos.
- Manejo inadecuado de las zonas costeras.

En la estrategia ambiental provincial se exponen acciones encaminadas a minimizar o eliminar estos problemas. Su ejecución y control incentiva la cultura ambiental y el desarrollo.

### **Conclusiones parciales:**

1. La producción más limpia es una herramienta de la gestión ambiental, que ayuda a producir con eficiencia y sin ocasionar daños al medio ambiente.
2. La producción más limpia (PML) se define como la aplicación continua a los procesos, productos, y servicios, de una estrategia integrada y preventiva, con el fin de incrementar la eficiencia en todos los campos, y reducir los riesgos sobre los seres humanos y el medioambiente.
3. La metodología de Producción más Limpia propuesta por el PNUMA, consta de tres etapas:
  - ✓ Etapa I: Planeación y organización.
  - ✓ Etapa II: Estudio y Evaluación del Proceso
  - ✓ Etapa III: Síntesis y valoración de alternativas.
4. Es evidente que la producción más limpia en Cuba favorece la producción industrial ya que elimina desechos innecesarios y evita la contaminación del medio ambiente.



## CAPÍTULO 2 Metodología de la Investigación.

Para el desarrollo del trabajo, se confeccionó el siguiente esquema metodológico de la investigación:

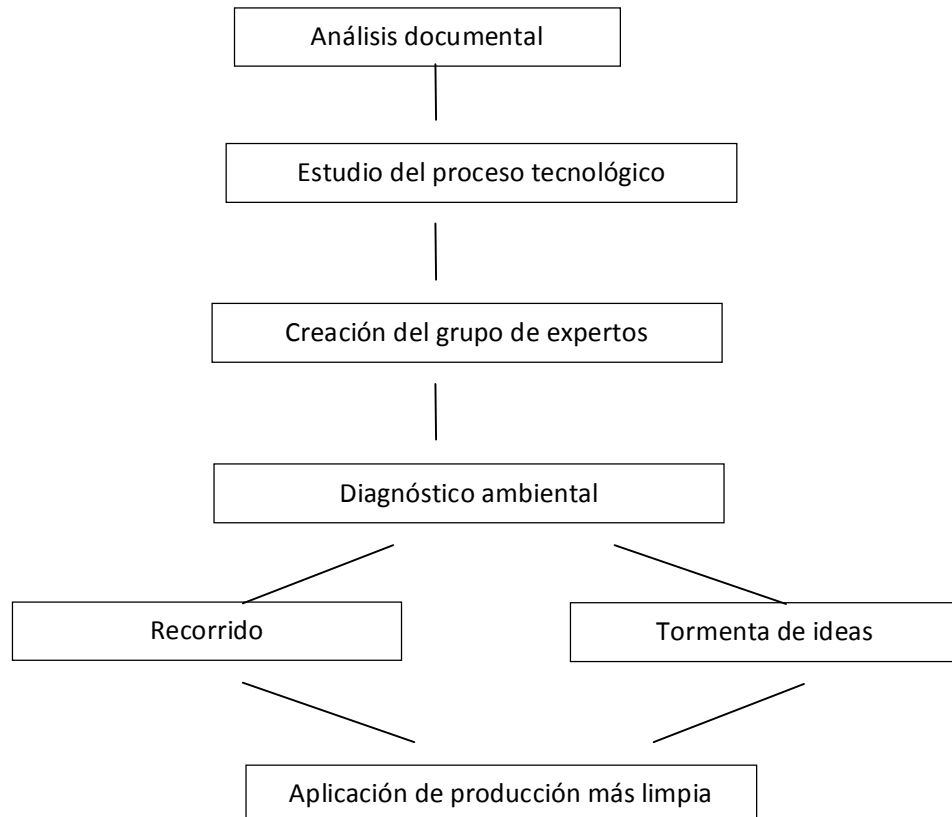


Figura 2.1. Esquema metodológico de la investigación.

Fuente: Elaboración propia.

## **2.1. Análisis documental.**

Para la realización de la investigación se revisaron los documentos existentes en la Empresa relacionados con la misma:

- ✓ Manual de operaciones. En éste documento se describe el proceso tecnológico y las características de la instalación, así como las reglas de seguridad y todo lo relacionado con el proceso tecnológico
- ✓ Norma de proceso de Base de Crudo y Suministro. Se describen las condiciones de proceso para todas las operaciones que se realizan, las alineaciones a realizar, los puntos de inspección, la frecuencia de muestreo.
- ✓ Manual del medio ambiente. Se describen las cuestiones relacionadas con el medio ambiente y el procedimiento en caso de derrames.
- ✓ Instrucción del puesto de trabajo. Se establecen las reglas de seguridad, deberes y derechos de los operadores.
- ✓ Procedimiento de Muestreo. Se describe la forma correcta de realizar el muestreo sin ocasionar derrames o errores operacionales.
- ✓ Procedimiento de recepción almacenamiento y entrega. Establece las alineaciones y el orden a seguir para realizar las operaciones de manipulación del crudo de forma segura evitando los errores operacionales y los derrames.

Los resultados del estudio de estos documentos aparecen en el capítulo 3.

## **2.2 Descripción del proceso tecnológico de la Base de en Tierra.**

- ✓ La Base en Tierra es el área que abarca más instalaciones de la Empresa Comercializadora de Combustibles, porque a su vez está dividida en varias secciones. En el siguiente esquema se muestran las subdivisiones del área:

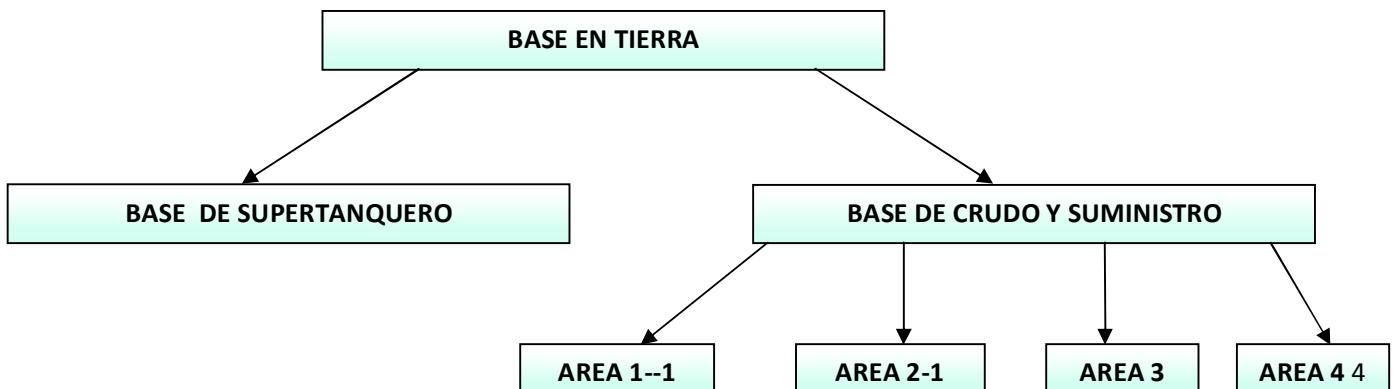


Figura 2.2 Esquema de la Base en Tierra de la Empresa Comercializadora de Combustibles.

Fuente: Elaboración propia

El diagrama de flujo de cada área se ilustra en el anexo 1.

El objetivo de la Base en Tierra es recibir, almacenar, y entregar productos (petróleo crudo nativo, nafta y fuel oil) .La recepción se realiza por oleoductos, pailas y buques tanques para el caso de crudo y por buques tanques para la nafta y el fuel oil. Las entregas se realizan por buques tanques y oleoductos en el caso del petróleo crudo nativo, y el fuel oil y la nafta se trasiega hacia la Terminal 320 (otra área de la Empresa) desde donde se cargan camiones y se entrega el fuel oil a los grupos electrógenos de Planta Martí. También se cargan vagones de ferrocarril con petróleo crudo nativo desde la estación de bombas del área 1-1. A continuación se describen cada una de estas áreas.

## **1. Base de Supertanquero.**

La Base de Supertanquero está compuesta por 4 tanques de 50 000 m<sup>3</sup>de capacidad (49, 50, 51 y 52) aunque en la actualidad está en fase de ampliación, pero hasta el momento estos son los que están instalados. El tanque 49 es de techo flotante, y los otros tres que están en reparación se le están instalando el techo de domo geodésico, que es una tecnología más avanzada porque evita la evaporación y otras dificultades que tiene la tecnología anterior. Cada uno de estos tanques tiene un manifold que permite conectar la salida del tanque a tres líneas principales que son de 1220 mm, 820 mm y 630 mm, las cuales sirven de enlace desde los muelles hasta esos tanques, permitiendo la recepción y entrega de producto a los buques, esta última se realiza por gravedad. EL producto almacenado puede ser petróleo crudo o fuel oil de acuerdo a las necesidades de la Empresa.

## **2. Base de Crudo y Suministro.**

La Base de Crudo y Suministro, cuenta con 4 áreas de trabajo, el Área 1-1, Área 2-1, Área 3 y Área 4.

### **✓ Área 1-1.**

El área 1-1 está compuesta por tres tanques receptores de crudo que son el 27, el 28 y el 29. El crudo se recibe de las productoras EPEP Centro y EPEP Occidente y es enviado a esos tanques pasando previamente por un intercambiador de calor que puede ser el IE 117 ó el IE 118. En estos intercambiadores se eleva la temperatura hasta 50 0C. Los tanques están provistos de serpentines de vapor para mantener la temperatura en 50 0C debido a que como no están aislados térmicamente hay pérdidas de calor por intercambio con el medio ambiente. En estos momentos los serpentines están fuera de servicio por estar averiados, lo que constituye un problema para mantener la temperatura del producto.

En esta área se elaboran las mezclas de Petróleo crudo nativo mejorado (PCNm) con viscosidades de 650, 1100 y 1400 cst a solicitud del cliente, para entregarlas por buques a las diferentes termoeléctricas del país (Felton, Mariel, Santiago de Cuba, Nuevitas, Cienfuegos). Para la entrega por buques el producto se hace pasar a través de dos filtros cestas situados antes de las bombas con el objetivo de retener las impurezas que contenga el crudo. A la entrada de los filtros existe un punto de inyector de nafta solvente donde se adiciona la cantidad de nafta necesaria para reducir la viscosidad del crudo al valor solicitado por el cliente. En este mismo punto se le añade un aditivo químico (Bycosín) que es un dispersante de asfáltenos, para evitar que estos precipiten y formen inquemados en las calderas. De los filtros va a las bombas que son de 660 m<sup>3</sup>/hora y están conectadas en paralelo (existen tres bombas, pero funcionan una o dos según los requerimientos del proceso). A la salida de las bombas se encuentran instalados dos intercambiadores de calor en serie, cuya función es incrementar la temperatura del producto para lograr de esta forma una temperatura final a la salida de la estación 1-1 de 60 °C. A continuación del intercambiador existen líneas que conducen el crudo hacia los diferentes muelles donde atracan los barcos (Muelle 1, Muelle 2, Muelle 3, Muelle 4 Bayona y Muelle 5 Frank País).

También en esta área se preparan mezclas de Petróleo crudo nativo mejorado para el bombeo a la Central Termoeléctrica de Santa Cruz, de la misma forma que para la entrega a buques, pero después del intercambiador se alinea hacia los tanques de bombeo a la Central Termoeléctrica situados en el área 4.

Otra operación que se hace es la carga de vagones de ferrocarril, la cual se realiza alineando el sistema de la misma forma que para el resto de las entregas, pero después de los intercambiadores se pasa el producto hacia la línea de 20 pulgadas de diámetro que lo conduce hasta el cargadero de ferrocarril, situado en la terminal 320. Esta operación se controla por la terminal 320 para evitar derrames de crudo.

✓ **Área 2-1.**

El **área No.2.1 o Base de Suministro** a las Centrales Termoeléctrica (CTE) está compuesta por dos sub. Áreas fundamentales: el área 2-1 (área de estación de cabecera de los oleoductos a las Centrales Termoeléctrica “Santa Cruz” y “Antonio Guiteras”) y área 2-2 (área de tanques).

El área 2-1 está compuesta por dos bombas de 120 m<sup>3</sup>/hora de caudal cada una para el Oleoducto a Central Termoeléctrica “Santa Cruz” con sus correspondientes filtros, intercambiadores y metro contador, dos bombas de 45 m<sup>3</sup>/hora de caudal de bombeo por el Oleoducto a “Santa Cruz”, dos bombas de tornillo de 90 m<sup>3</sup>/hora de caudal para el Oleoducto a Central Termoeléctrica. “Antonio Guiteras” con sus correspondientes filtros, intercambiadores y metro contador, dos bombas de tornillos de 440 m<sup>3</sup>/hora cada una para trasvasar productos del área 2-2, 1 tanque de *Slop* de 15 m<sup>3</sup> de capacidad con su bomba de achique, una bomba de inyectos de solvente conectada a los oleoductos de 30 m<sup>3</sup>/hora de caudal con el objetivo de disminuir la viscosidad del producto que se bombea en caso de una parada prolongada de los oleoductos.

El producto destinado al bombeo a Santa Cruz y a Guiteras se prepara en 4 tanques situados en el área 4, mediante la recepción de crudo por oleoducto o utilizando la bomba. El tanque se muestrea y certifica por el laboratorio y una vez aceptado por la termoeléctrica se pone en servicio entregando el producto hasta la estación 2-1. Allí pasa por el intercambiador de calor que eleva su temperatura hasta 85<sup>0</sup> C. a continuación pasa a través de un filtro cesta para retener cualquier partícula o impurezas que pueda dañar la bomba. El producto llega a la bomba que lo entrega directamente a la Central Termoeléctrica correspondiente. El oleoducto Guiteras está diseñado para una presión de bombeo de 10 bar y el Oleoducto Santa Cruz para 60 bar.

Las variables que se miden en el proceso son: temperatura, presión y caudal. Es necesario además conocer la viscosidad del producto, la temperatura y la presión se miden con termómetros y manómetros, y el caudal con un flujómetro situado en

la línea. Estos parámetros se registran en un modelo cada dos horas por parte del operador de la sala de Control.

El área 2-2 se compone por, dos tanques, el 30 y el 38, de 10 000 m<sup>3</sup> de capacidad que almacenan fuel oil los cuales están provistos de serpentines de vapor para mantener la temperatura del producto en 55 °C y los tanques 39, 41 y 42 de 1 000 m<sup>3</sup>, 5000 m<sup>3</sup> y 5000 m<sup>3</sup> de capacidad respectivamente para almacenar solvente.

### ✓ **Área 3**

El área 3 es el lugar destinado para la descarga de pailas (camiones cisternas) que transportan Petróleo crudo nativo mejorado procedente de los pozos de Jaruco y Puerto Escondido. Consiste en un descargadero que está conectado mediante una tubería soterrada, con los tanques 71 y 72, los cuales a su vez descargan a los tanques 27, 28 y 29 del área 1-1. La paila se parquea junto al descargadero y después de verificada su documentación se le pone el aterramiento y se procede a descargarla mediante mangueras que conectan el camión cisterna con la canal del descargadero. Durante el transcurso de la descarga se toman tres muestras, al inicio, a mitad de la carga y al final, para analizar la calidad del producto.

### ✓ **Área 4**

El Área 4 está compuesta por 4 tanques (33, 34, 35 y 36) de 10000 m<sup>3</sup> de capacidad destinados al Suministro de crudo a las Termoeléctricas, donde se almacena el crudo con la calidad requerida para cada termoeléctrica, los cuales están conectados a las bombas de la estación 2-1. También se encuentra el tanque 37 que tiene una capacidad de 50000 m<sup>3</sup> y en el que tiene facilidades para la recepción del crudo procedente de los Oleoductos centro y Occidente, así como para la entrega a buques tanques. Está conectado al intercambiador 117, lo que permite calentar el producto durante la recepción y en la entrega a buques tanques. Tiene un serpentín de vapor que mantiene la temperatura del crudo a 50 °C.

### **3. Sistema Contra Incendios.**

La base de crudo y suministro posee un sistema contra incendios enlazado con las áreas 1-1, 2-1, 3, 4, T 320 y Muelle de Frank País. Los tanques involucrados en esas áreas están dotados de anillos de enfriamiento que proyectan una cortina de agua a lo largo del techo y la superficie del tanque, sirve para el enfriamiento del tanque en caso de un incendio. Tienen un sistema de dosificación de espuma que se descarga al interior del tanque y solo se utiliza en caso de incendio del tanque, porque la espuma contamina el producto. También en cada cubeto existen hidrantes que tienen bocas y conexiones para mangueras que permiten aportar agua para la zona del cubeto.

El agua llega hasta el sistema desde el tanque 40 que a su vez se abastece del tanque de agua potable de la Empresa. A este tanque están conectadas 3 bombas eléctricas de 540 m<sup>3</sup>/hora cada una y una bomba de diesel que son las encargadas de suministrar el agua.

La base de supertanquero tiene también un sistema contra incendio, consistente en 2 cisternas donde se almacena el agua, conectadas a dos bombas eléctricas y una de diesel que suministran el agua a los tanques 49,50 ,51 y 52. Estos tanques tienen las mismas protecciones que los de la Base de Crudo descritos anteriormente incluyendo sistema de espuma.

Ambos sistemas pueden interconectarse entre sí y también existe una línea de agua de mar, que se intercepta con la línea de agua de incendios de Base de Supertanqueros, para de esta forma poder utilizar el agua de mar en caso de incendios.



## 2.3 Análisis fenomenológico del proceso.

### 1. Área 1-1.

- ✓ Intercambiadores de calor IE 117 e IE 118. Ocurre el fenómeno físico de transferencia de calor por el intercambio de calor entre el petróleo crudo y el vapor con aumento de la temperatura hasta 50 °C.
- ✓ Tanques de almacenamiento 27,28 y 29. Ocurre el fenómeno físico de transferencia de calor por el intercambio de calor entre el petróleo crudo y el vapor de los serpentines con mantenimiento de la temperatura en 50 °C.
- ✓ Filtros. Ocurre Operación Unitaria de filtración. También hay reacción química por la dosificación de dispersante de asfáltenos, así como fenómeno físico por la reducción de viscosidad al adicionar nafta.
- ✓ Bombas. Ocurre la operación Unitaria de bombeo de líquidos viscosos.
- ✓ Intercambiadores de calor IE 201 A y B. Ocurre el fenómeno físico de transferencia de calor por el intercambio de calor entre el petróleo crudo y el vapor con aumento de la temperatura hasta 60 °C.

### 2. Área 2-1.

- ✓ Intercambiadores de calor IE 101 e IE 102. Ocurre el fenómeno físico de transferencia de calor por el intercambio de calor entre el petróleo crudo y el vapor con aumento de la temperatura hasta 80 °C.
- ✓ Filtros. Ocurre Operación Unitaria de filtración. Cuando se adiciona nafta solvente ocurre el fenómeno físico de reducción de viscosidad.
- ✓ Bombas. Ocurre la operación Unitaria de bombeo de líquidos viscosos.
- ✓ Tanques 41,42, 39. No ocurre operación unitaria. Su función es almacenar nafta solvente.

- ✓ Tanques 38 y 30. Ocurre el fenómeno físico de transferencia de calor por el intercambio de calor entre el fuel oil y el vapor de los serpentines con mantenimiento de la temperatura en 55 °C.

### 3 Área 3.

- ✓ Descargadero de pailas. No hay operación unitaria. Su función es descargar el crudo hacia los tanques 71 y 72.
- ✓ Tanques 71 y 72. No hay operación unitaria. Su función es almacenar el crudo recibido por pailas de forma transitoria, para de ahí enviarlo hacia los tanques receptores de crudo (27, 28 y 29).

### 4. Área 4.

- ✓ Tanques 33, 34 ,35 y 36. No hay operación unitaria. Su función es almacenar el producto que se suministra a las Central termoeléctrica.
- ✓ Tanque 37. Ocurre el fenómeno físico de transferencia de calor por el intercambio de calor entre el crudo y el vapor de los serpentines con mantenimiento de la temperatura en 50 °C.

#### 2.4 Creación del grupo de expertos.

Para la creación del grupo de expertos se utilizó el siguiente procedimiento:

Primeramente se determina la cantidad de expertos con la fórmula.

- ✓ Determinar la cantidad de experto :  $E_i = E_r * r$  ( Ecuación 2.1)

- ✓ Determinar si son competente:  $K = (K_c + K_a) / 2$  ( Ecuación 2.2)

**Donde:**  $E_i$  Número de expertos

$r$ : rama

$E_r$ : Experto por rama

$K$ : Coeficiente de competencia

$K_c$ : Coeficiente de competente

$K_a$ : Coeficiente de argumentación

Los resultados aparecen en el capítulo 3

Después de crearse el grupo de expertos y demostrar que tienen la competencia requerida para estas investigaciones, se procedió a realizar el diagnóstico ambiental.

## **2.5 Diagnóstico ambiental.**

El diagnóstico ambiental se realizó dando un recorrido por las instalaciones de la Empresa con vistas a detectar los problemas que afectan el medio ambiente, los cuales fueron discutidos por el grupo de compañeros seleccionados, utilizando el método de tormenta de ideas, donde cada uno dio su opinión al respecto así como las posibles soluciones que podían llevarse a cabo.

En reunión efectuada con los departamentos de seguridad industrial e inversiones se analizaron los problemas planteados y las posibles soluciones, estableciéndose por parte de la Empresa el compromiso de en determinado plazo darle solución a las diferentes situaciones, algunas de forma inmediata y otros a un plazo más largo ya que requiere de otros recursos e inversiones.

Después de realizarse el diagnóstico ambiental se procede a la aplicación de la producción más limpia.

### **2.5.1 Aplicación de las prácticas de producción más limpia.**

Para la aplicación de la producción más limpia se analizaron cada uno de los problemas detectados y se tomaron decisiones para solucionar cada uno de ellos, en los que estuvieron involucrados no solamente los expertos sino otros departamentos de la Empresa como Seguridad Industrial, UEB de operaciones, Mantenimiento, Dirección técnica e Inversiones.

Para el cálculo de los equipos de bombeo, diámetro de tuberías, altura mínima necesaria, se hace uso de la Ecuación del Balance de Energía Mecánica. (Pavlov 1961)

$$z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + Hb = z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + \sum hf_{1-2} \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

Como el diámetro de la tubería es diferente en cada tramo se calcula la velocidad en cada tramo, lo que es necesario para calcular las pérdidas de fricción. Conociendo el flujo ( $q$ ) y diámetro de la tubería ( $D$ ), la velocidad del fluido puede determinarse mediante la expresión:

$$v = \frac{4q}{\pi D^2} \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

Es necesario conocer el valor del Reynold para saber cómo es el régimen y el valor de  $\alpha$ , y con este determinar el factor de fricción. Para ello puede emplearse la siguiente expresión:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

Si  $Re \leq 2100$ : Régimen de flujo laminar y  $\alpha=2$

Si  $2100 < Re < 4000$ : Régimen de flujo de transición

Si  $Re > 4000$ : Régimen de flujo turbulento y  $\alpha=1$

Las pérdidas por fricción se calculan por la siguiente ecuación:

$$\sum hf = hf_{tubería} + hf_{accesorios} \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

Las pérdidas por fricción en la tubería se calculan por la siguiente ecuación:

$$f_{tubería} = f \frac{Lv^2}{2gD} \quad (\text{Ecuación 2.7})$$

El factor de fricción (f), depende de Re y de la rugosidad relativa ( $\varepsilon$ ) y puede determinarse mediante el Diagrama de (Figura 3.9 *Rosabal Vega, Julio M, 2006*).

La rugosidad relativa depende de la rugosidad absoluta (e) y del diámetro interno de la tubería, y se determina mediante la expresión:

$$\varepsilon = \frac{e}{D} \quad (\text{Ecuación 2.8})$$

La rugosidad absoluta (e) puede encontrarse en la bibliografía (Tabla 9 *Rosabal Vega, Julio M, 2006*).

Las pérdidas por fricción en los accesorios se calculan por la siguiente ecuación:

$$hf_{accesorios} = \frac{\sum Kiv^2}{2g} \quad (\text{Ecuación 2.9})$$

Para este cálculo se debe saber la cantidad de accesorios que hay en cada tramo y conocer el valor de los coeficientes de resistencia locales (Ki). Para flujo turbulento (Tabla 3.1 *Rosabal Vega, Julio M, 2006*), y para flujo laminar (Figura 3.24 *Rosabal Vega, Julio M, 2006*).

Despejando la carga de la bomba en la ecuación de la Energía Mecánica se obtiene que:

$$Hb = z_2 - z_1 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \sum hf_{1-2} \quad (\text{Ecuación 2.10})$$

Con la carga de la bomba y su caudal, en el Catálogo de curvas características para bombas ITUR, se selecciona la bomba adecuada.

Una vez seleccionada la bomba, debe verificarse si ocurre el fenómeno de cavitación, para ello se busca el NPSH de la bomba y se determina el NPSH del sistema. Si el  $NPSH_b > NPSH_{sist}$ , la bomba cavita, si ocurre lo contrario no lo hace.

Para determinar el NPSH del sistema se aplica la siguiente expresión:

$$NPSH_{sistema} = \frac{P_e - P_v}{\rho g} \quad (\text{Ecuación 2.11})$$

Para determinar la presión de entrada o succión de la bomba es necesario realizar otro Balance de Energía Mecánica, ahora ubicando el punto 2 a la entrada de la bomba.

Despejando la Presión de entrada en la ecuación de la Energía Mecánica se obtiene que:

$$P_e = \rho g \left( \frac{P_1}{\rho g} + z_1 - z_2 - \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \sum hf_{1-2} \right) \quad (\text{Ecuación 2.12})$$

Sustituyendo cada término se obtiene  $P_e$

Sustituyendo  $P_e$  en la ecuación se obtiene el NPSH del sistema

## 2.6 Análisis de la situación del Oleoducto Santa Cruz.

Se debatió ampliamente por parte del grupo de expertos para llegar a soluciones que aunque no fueran definitivas permitan continuar las operaciones de entrega a la Central Termoeléctrica Santa Cruz, ya que no se cuenta con el financiamiento necesario para la adquisición de los recursos que se necesitan para emprender una reparación total del oleoducto.

Los métodos de cálculos utilizados para las propuestas son el uso de la hoja de cálculo del programa Microsoft Excel (Riveiro 2000), que permite calcular los volúmenes necesarios de crudo y nafta para preparar mezclas a distintas viscosidades y a su vez el uso de la Ecuación del Balance de Energía Mecánica descrita en el epígrafe 2.5.1

La realización de los balances de masa en el tanque de suministro a las Central termoeléctrica nos permite calcular el caudal que se maneja en el tanque que está en operación, mientras que mediante el balance de energía se calcula la cantidad de vapor que necesita el intercambiador para elevar la temperatura del crudo hasta los valores requeridos .

Considerando que no existen pérdidas de calor debido a que los intercambiadores se encuentran aislados térmicamente y que todo el calor cedido por el vapor es absorbido por el petróleo crudo, el balance de calor resulta:

$$Q_{ced} = Q_{abs}$$

$$m_{vapor} \cdot \square = m_{petróleo\ crudo} \cdot C_p \cdot petróleo\ crudo \cdot \Delta T$$

$$\square \text{ (Entalpía de saturación del vapor)}$$

despejando se obtiene que:

$$m_{vapor} = (m_{petróleo\ crudo} \cdot C_p \cdot petróleo\ crudo \cdot \Delta T) /$$

El balance de masa realizado en los tanques de almacenamiento de crudo permitió determinar el flujo de petróleo crudo a la salida de estos. El resultado calculado como salida constituye la cantidad de crudo bombeado en el día, valor que es certificado por los inspectores de Cuba-Control. En caso de existir valores ilógicos Cuba- Control no certifica.

En otro caso, conocido este valor, es posible entonces determinar la cantidad de crudo que queda almacenado en estos tanques.

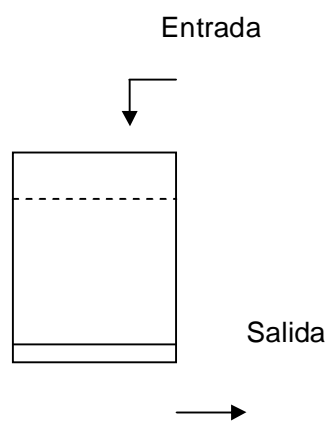


Figura 2.3: Tanque de almacenamiento

Fuente: Elaboración propia

En el balance de masa para el bombeo a la Central Termoeléctrica, la entrada a los tanques de almacenamiento es cero, porque se tratan de evitar las operaciones sucias.

Entrada =0

Las cantidades inicial y final se determinan midiendo el tanque con una lienza y multiplicando los mm por el área efectiva del tanque, que son los m<sup>3</sup> que hay en 1 mm.

Cantidad inicial + Cantidad que entra - Cantidad que sale = Cantidad final  
Cantidad que sale = Cantidad inicial - Cantidad final



También se realizó un análisis económico, en el cual se analizó cómo se comporta la estructura de costo en esa área de la empresa en las condiciones actuales, además se realizaron los cálculos del punto de equilibrio para determinar a partir de qué producción se comienza a obtener ganancias. Este análisis se realiza con las nuevas condiciones si se logran reducir los costos, permitiendo calcular el ahorro para las nuevas propuestas.

## **2.7. Consideraciones para la elaboración del plan de acción.**

La confección del plan de acción fue de forma conjunta con la dirección del área base Crudo y Suministro y otros especialistas de los diferentes departamentos con experiencia en la actividad.

El plan fue dirigido en base a dar cumplimiento a las propuestas de soluciones dadas, para esto después de realizar el recorrido y detectar los problemas existentes relacionados con la aplicación de la producción más limpia, cada uno de los integrantes del grupo de expertos , en base a su especialidad, dio su opinión de cómo llevar a cabo cada una de las propuestas, definiéndose las responsabilidades de cada uno así como los recursos necesarios y la factibilidad de realización de cada una de las propuestas.

En general el plan está encaminado a:

- ✓ Realizar y ejecutar los proyectos que se propongan por parte de los técnicos para solucionar los problemas que tengan modificaciones tecnológicas
- ✓ Realizar modificaciones en los parámetros de bombeo a la Central Termoeléctrica Santa Cruz para tratar de disminuir la frecuencia de rotura del oleoducto hasta que se lleve a cabo la reparación total.
- ✓ Realizar las modificaciones en la documentación técnica del área que permita efectuar la capacitación de los trabajadores con los cambios que se realicen.

## 2.8 Metodología para realizar los cálculos económicos.

Para calcular los indicadores económicos de la producción se utilizaron las siguientes fórmulas:

### 2.8.1. Cálculo de los costos fijos.

Los costos fijos responden a salario, seguridad social, amortización y la atención al hombre. Se determinan por la siguiente expresión:

$$CF = \text{Salario} + \text{Seg. Social} + \text{Amortización} + \text{Atención al hombre} \quad (\text{Ecuación 2.13})$$

En el caso de los costos variables, se valora materiales, combustible, energía, servicios productivos y otros gastos y se determina por la siguiente expresión

Cálculo de los costos variables

$$CV = \text{Materiales} + \text{Comb.} + \text{Energía} + \text{Mantenimiento} + \text{Serv. Productivos} + \text{Otros gastos} \quad (\text{Ecuación 2.14})$$

Cálculo del costo total

$$CT = CF + CV \quad (\text{Ecuación 2.15})$$

Cálculo de la ganancia

$$G = VP - CT \quad (\text{Ecuación 2.16})$$

Cálculo del valor de la producción

$$VP = N * (\text{pup}) \quad (\text{Ecuación 2.17})$$

Cálculo del costo unitario variable.

$$CUV = C_v / N \quad (\text{Ecuación 2.18})$$

CP/VP

Cálculo del punto de equilibrio.

$$N_0 = C_f / (\text{pup} - CUV) \quad (\text{Ecuación 2.19})$$

Donde:

$N$  = volumen de la producción.

$C_{\text{prod}}$  = costo de la producción.

$C_f$  = costos fijos.

$C_v$  = costos variables.

$P$  = valor de la producción.

$p_{\text{up}}$  = precio unitario del producto.

$CUV$  = costos unitarios variables.

Con las mismas fórmulas anteriores y las variaciones en los costos, como resultado de la inversión propuesta se recalculan todos los indicadores y se determina el nuevo punto de equilibrio.

## **CAPÍTULO 3 Análisis de los Resultados.**

En este capítulo, se muestran los resultados de las investigaciones realizadas en el área

Base de crudo y Suministro.

### **3.1. Resultados del análisis documental.**

Se estudiaron y analizaron los documentos reflejados en el epígrafe 2.1 lo que permitió a la autora adquirir información acerca del proceso tecnológico, las operaciones que se realizan, las reglas de seguridad, las legislaciones vigentes con respecto al medio ambiente, por lo que se pudo determinar cuáles son las partes del proceso en que se pueden producir impactos ambientales y las causas que originan los mismos.

El análisis documental permitió conocer las especificaciones de calidad de las materias primas y el producto final.

La materia prima utilizada para la preparación de los tanques destinados a la Central Termoeléctrica Santa Cruz es el Petróleo crudo nativo mejorado 1100 y para la Central termoeléctrica Antonio Guiteras es el Petróleo crudo nativo mejorado 1400 y a su vez este mismo producto es el que se entrega a la termoeléctrica por lo que las especificaciones de calidad para la materia prima y el producto final son las mismas.

### **3.2 Petróleo crudo nativo mejorado (PCNm).**

Descripción: Es un líquido negro y viscoso, obtenido a partir del crudo nacional por mezclas con un solvente adecuado.

Usos: Combustible de caldera para la generación de electricidad.

Envase y almacenamiento: Entrega a granel. Almacenamiento en tanques superficiales o soterrados.

Peligrosidad: Líquido inflamable clase II. Evítese el contacto con la piel.

Observaciones: Se aditiva con bycosin DP99001, dosificado en 100 ppm v/v

Todos los tipos de petróleo se componen de hidrocarburos, aunque también suelen contener unos pocos compuestos de azufre y de oxígeno; el contenido de azufre varía entre un 0,1 y un 5%. El petróleo contiene elementos gaseosos, líquidos y sólidos. La consistencia del petróleo varía desde un líquido tan poco viscoso como la gasolina hasta un líquido tan espeso que apenas fluye. Por lo general, hay pequeñas cantidades de compuestos gaseosos disueltos en el líquido; cuando las cantidades de estos compuestos son mayores, el yacimiento de petróleo está asociado con un depósito de gas natural.

Existen tres grandes categorías de petróleo crudo: de tipo parafínico, de tipo asfáltico y de base mixta. El petróleo parafínico está compuesto por moléculas en las que el número de átomos de hidrógeno es siempre superior en dos unidades al doble del número de átomos de carbono. Las moléculas características del petróleo asfáltico son los naftenos, que contienen exactamente el doble de átomos de hidrógeno que de carbono. El petróleo de base mixta contiene hidrocarburos de ambos tipos.

**Tabla 3.1 Especificaciones de materias primas y producto.**

<b>Índices de calidad</b>	<b>U/M</b>	<b>PCM-1400</b>	<b>PCM-1100</b>	<b>LIM</b>
Viscosidad a 50 °C	mm <sup>2</sup> /s	1400	1100	Máx.
Azufre total	% m/m	8.0	8.0	Máx.
Temp. de Inflamación	°C	ambiente	ambiente	
Temp. de fluidez	°C	+ 15	+ 15	Máx.
Carbón conradson	% m/m	15	15	Máx.
Densidad a 15 °C	g/cm <sup>3</sup>	0.9994	0.9959	Máx.
Gravedad a 15 °C	°API	10	10.5	Min.
Valor calórico neto	kcal/kg	9000	9000	Min.
Agua por destilación	% v/v	2.0	2.0	Máx.
Sedimentos por extracción	% m/m	0.15	0.15	Máx.
Cenizas	% m/m	0.10	0.10	Máx.
Asfáltenos	% m/m	18	18	Máx.
Vanadio	ppm	150	150	Máx.
Sodio	ppm	280	280	Máx.
Aluminio + Silicio	ppm	80	80	Máx.

Fuente: Catálogo de especificaciones de productos.

En la tabla anterior se reflejan las especificaciones que deben cumplir los productos solicitados por el cliente, para que se emita el certificado de calidad y sea aceptado por los clientes.

### **3.3. Creación del grupo de expertos**

Se determinó el grupo de expertos siguiendo la metodología explicada en el epígrafe 2.4, siendo seleccionados un total de 7 compañeros.

Se midió el grado de competencia determinándose que todos eran aptos para realizar la actividad ya que el coeficiente de competencia para cada uno de ellos resultó mayor que 0.5.

### **3.4 Diagnóstico ambiental.**

Después de realizado el recorrido por las distintas instalaciones de la Base en Tierra se detectaron los problemas siguientes por parte del grupo de expertos:

#### **3.4.1 Derrames en el área.**

##### **3.4.1.1 Derrames en el área de bombeo a las termoeléctricas (área 2-1)**

En el Área 2-1 se toman muestras de los bombeos a las Centrales termoeléctricas cada 12 horas. Según el procedimiento Métodos de Muestreo, antes de tomar la muestra hay que drenar durante 2 minutos el crudo, el cual es recolectado en un recipiente de 500 litros aproximadamente. Cuando este recipiente se llena, es necesario vaciarlo y para eso se contrata el servicio de un camión succionador (carro fosa), o cuando no es posible lo anterior se extrae el crudo con cubetas que se vierten en un tanque de slop situado en el área. Este método ocasiona derrames de crudo, ya que en ocasiones por descuido el crudo rebosa los bordes del recipiente, o también ocurren derrames en la operación de traslado de las cubetas al tanque de slop.

#### **3.4.1.2 Derrames en la estación receptoras de oleoductos. (Área 3)**

En esta área se toman muestras de los oleoductos cada 12 horas, de la misma forma que se describe en el epígrafe 3.4.1.1 El método empleado para vaciar el recipiente también es con el camión succionador (carro fosa) ocasionando derrames de crudo por reboso del recipiente.

#### **3.4.1.3 Derrame en el tanque slop del Intercambiador IE 117.**

Otra fuente de derrame detectada es en el área aledaña al intercambiador de calor ( IE 117) que está conectado a un tanque slop, para en caso de que la presión de crudo en el intercambiador sea superior a 5 kg/cm<sup>2</sup>, se dispara la válvula de seguridad pasando el crudo a dicho tanque. Este tanque tiene una capacidad de 5 m<sup>3</sup> y se drena mediante el succionador, pero con frecuencia se ha derramado, con la consiguiente afectación del medio ambiente.

En la actualidad estos derrames se limpian adicionado rocoso sobre el producto y recogiéndolo con palas, lo que es engorroso y se requiere de varios días de trabajo para limpiar el área afectada.

#### **3.4.2 Registros de drenajes de los tanques de combustible defectuosos.**

Los registros de los drenajes de los tanques de combustibles no están adecuadamente diseñados en esta Instalación, debido a que al drenar dichos tanques no tienen facilidades para aforar el flujo y por problemas de diseño y tupiciones, parte del volumen del agua residual no sigue el sistema de canalización, derramándose. Además los diámetros de la línea de drenaje son pequeños, lo que ocasiona restricciones del flujo.

#### **3.4.3 Sistema de drenaje y canalización.**

En general, el sistema de canalización de la Empresa se encuentra en mal estado técnico , por encontrarse tupido por tramos, debido a derrames de crudo nativo ocurrido en ocasiones, que al enfriarse incrementa la viscosidad , por lo que no



fluye y se endurece, causando tupiciones . Estas tupiciones no se han eliminado. También las canales se encuentran obstruidas por piedras u otros objetos que caen en las mismas.

La falta de acabado del cubeto de los tanques 30 y 38, ocasiona acumulaciones de agua de lluvia y producto, que se queda retenido y no drena hacia los canales.

Los tanques de la Base se drenan periódicamente y el agua drenada va al manto freático. Con la puesta en marcha de la planta de residuales es necesario conducir esa agua hacia el tanque #14 de la terminal 320, cuya función es alimentar la planta de residuales. En la actualidad los drenajes no van a ese tanque, por lo que se hace necesario diseñar un sistema de drenaje que conduzca el agua hasta dicho tanque, tanto desde los tanques de la base de crudo como los de Base en tierra.

#### **3.4.4 Residuales de calderas de producción de vapor.**

En esta área también se encuentra ubicada la casa de calderas, que en estos momentos vierte sus residuales hacia una laguna situada al fondo de la instalación. Esta laguna constituye un depósito de combustible, que provoca un impacto negativo al no recuperarse el hidrocarburo e infiltrarse el agua residual que contiene. En la época de lluvia el nivel de la laguna aumenta por encima del nivel de la canalización de la caldera, ocasionando inundaciones en la zona y derrames de crudo, lo que afecta al proceso de producción de vapor, porque se tiene que cerrar la purga continua y no se pueden realizar las extracciones de fondo, que son operaciones necesarias para el control de los parámetros de operación de la caldera.

#### **3.4.5 Roturas frecuentes del Oleoducto Santa Cruz.**

Desde el año 2006 han estado ocurriendo averías en el Oleoducto que con el transcurso de los años han incrementado su frecuencia y ya en el 2011 la situación es cada vez más alarmante. Producto de esas averías el crudo se

derrama por romperse el tubo conductor, contaminando suelos, sembrados, ríos y el mar. Aunque se han tomado diferentes medidas en años anteriores, no se ha podido controlar la situación.

Estos son los problemas detectados, los cuales serán analizados para proponer las alternativas de solución.

### **3.5 Aplicación de la producción más limpia.**

Para aplicar la Producción más limpia se realizó un análisis de cada uno de los problemas sus causas y posibles soluciones, las cuales se exponen a continuación.

#### **3.5.1 Propuestas de solución para los derrames en el área de bombeo a las termoeléctricas.**

##### **3.5.1.1 Instalación de un tanque recolector de muestras que descargue por gravedad al tanque slop de la estación 2-1.**

En el área de bombeo de la estación de bombas 2-1 junto a cada intercambiador de calor existe un tanque recolector de muestra de 0.5 m<sup>3</sup> aproximadamente cuya función es recoger el producto que se drena cada vez que se muestrean los bombeos (dos veces al día). Se propone sustituir el tanque por uno de mayor capacidad (1m<sup>3</sup>), para tener mayor capacidad de almacenamiento. Este tanque puede ser construido aprovechando una tubería de 1220 mm de diámetro que se encuentra en el área.

La altura necesaria del tanque sería:

$$V = \Pi d^2 / 4 * h \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

Donde:

$$V = 1\text{m}^3$$

$$d = 1200 \text{ mm} = 1.2 \text{ m}$$

$$h = 4 * V / \Pi d^2 = 0.89 \text{ m.}$$

Para la tubería a utilizar se propone un diámetro de 4 pulgadas que es el que se utiliza generalmente en la Empresa para este tipo de operación.

- ✓ **Cálculos de las pérdidas por fricción y altura necesaria para que el producto drene por gravedad hacia el tanque slop.**

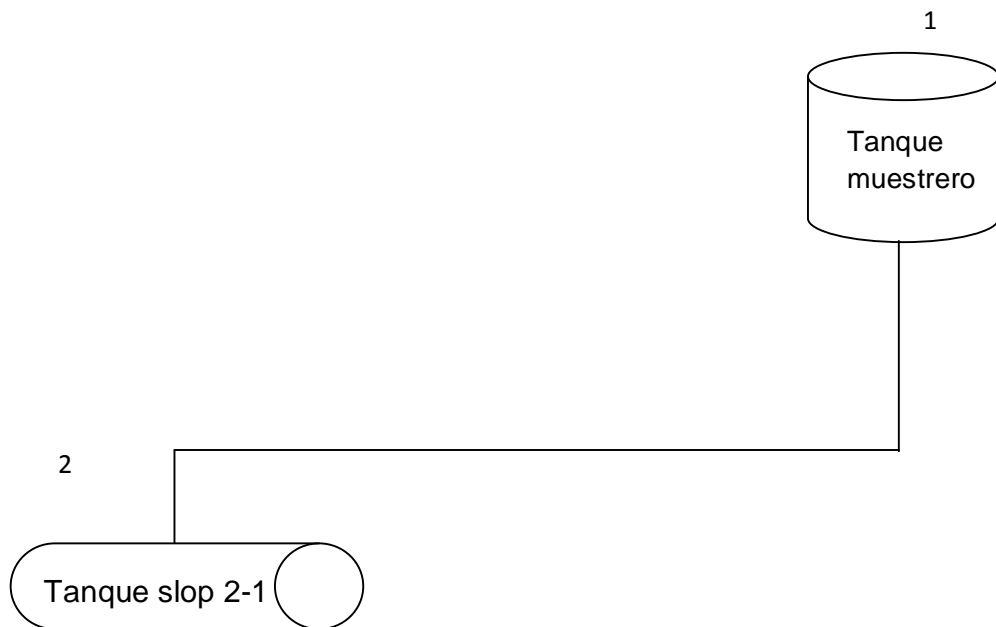


Fig. 3.1 Propuesta de interconexión del tanque de muestra y el tanque slop

Fuente: Elaboración propia

**Datos:**

Longitud de tubería (L) = 15 m

Velocidad 1 ( $v_1$ ) = 0 m/s

Diámetro de tubería (d) = 0.1016 m

Flujo de combustible (q) = 4 m<sup>3</sup>/hora = 0.0011 m<sup>3</sup>/seg

Densidad del combustible ( $\rho$ ) = 99 kg/m<sup>3</sup>

Aceleración de la gravedad (g) = 9,8 m/s<sup>2</sup>

Viscosidad del combustible ( $\mu$ ) = 1100cst= 0.0011m<sup>2</sup>/s

Altura 2( $Z_2$ ) = 0 m

En este sistema calcularemos la mínima ( $Z_1$ ) necesaria para que vaciar el tanque por gravedad.

Para esto utilizaremos la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\rho g} + z_1 + \frac{\alpha(v_1)^2}{2g} + Hb = \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \frac{\alpha(v_2)^2}{2g} + \sum Hf \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

En esta expresión todavía hay incógnitas que se deben calcular, como es el caso de la velocidad 2 que se calcula con la siguiente ecuación:

$$v_2 = \frac{q}{A} = \frac{4q}{\pi d^2} \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

$$v_2 = 0,137 \text{ m / s}$$

Las pérdidas por fricción se calculan por la siguiente ecuación:

$$\sum Hf = Hf_{\text{tubería}} + Hf_{\text{accesorios}} \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

para este cálculo se debe saber que en el sistema existen:

5 codos de 90° ( $K = 0,75$ )

2 válvulas de compuerta abierta ( $K = 0,17$ )

luego se tiene que conocer el valor del Reynold para saber cómo es el régimen y con este determinar el factor de fricción:

$$Re = \frac{v d}{\nu} \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

$$Re = 12 .65$$

Este resultado indica que estamos en presencia de régimen laminar donde  $\alpha$  es 2 y el factor de fricción se calcula por la siguiente expresión:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (\text{Ecuación 3.6})$$

$$f = 5.055$$

Teniendo todo lo necesario para calcular las pérdidas se pasará a calcular por separado cada una de ellas:

$$Hf_{\text{tubería}} = \frac{fLv^2}{2gd} \quad \text{en la tubería} \quad (\text{Ecuación 3.7})$$

$$Hf_{\text{tubería}} = 0.7153m$$

$$Hf_{\text{accesorios}} = \frac{\sum Kv^2}{2g} \quad \text{en los accesorios} \quad (\text{Ecuación 3.8})$$

$$Hf_{\text{accesorios}} = 0,0039 \text{ m}$$

$$\text{TOTAL} = 0.7192 \text{ m}$$

Despejando en la ecuación de Bernoulli se obtiene

$$z_1 = 0.72m$$

Esta es la altura necesaria, por lo que no hay dificultades para el vaciado, ya que el tanque slop está a un 1.5 m por debajo del nivel del piso donde se ubicará el tanque.

### 3.5.1.2 Interconexión del tanque slop del IE 117 con el tanque slop de la estación 2-1 para vaciar el tanque del IE 117 por gravedad.

Se propone interconectar el tanque slop del IE 117 con el tanque de slop de la estación 2-1 y vaciar el producto por gravedad. Para esto se dispone de una tubería de 4 pulgadas de diámetro, siguiendo el mismo criterio que en el epígrafe 3.4.1.3.

- **Cálculos de las pérdidas por fricción y altura necesaria para que el producto drene por gravedad hacia el tanque slop.**

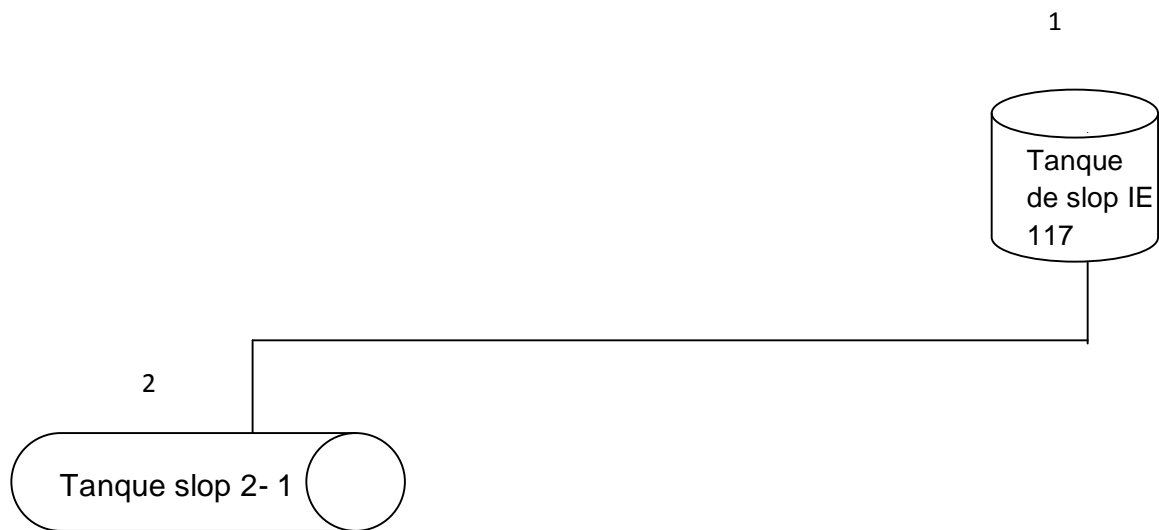


Fig. 3.2 Interconexión del tanque del intercambiador 117 con el tanque slop

Fuente: Elaboración propia

Siguiendo la misma metodología planteada en el capítulo 2 se preparó una hoja de cálculo de Microsoft Excel donde se programaron todos los cálculos, obteniendo con resultado que la altura necesaria para vaciar el tanque en una hora es de 5.974 metros.

Los resultados aparecen en la tabla 3.2

**Tabla 3.2 Cálculo de la altura requerida y las pérdidas por fricción**

Cálculo de la altura requerida para vaciar el tanque				
Datos	Símbolo	Fórmula	Valor	U/M
Flujo	Q		5	m³/h
Diámetro	D		0.1016	m
Longitud	l		100	m
Densidad	$\rho$		0.99	T/m³
Viscosidad	$\mu$		1100	cst
Visc. cinemática	$\nu$		0.0011	m²/s
Altura requerida	Z1	$Z1=Z2+V^2/2g +Hf$	5.974226122	m
Altura punto final	Z2		0	m
Cantidad de codos de 90			10	
Válvulas de compuerta de 4 "			2	
K del codo de 90	K1		0.75	
K de válvula de compuerta	K2		0.17	
Aceleración de la gravedad	g		9.8	m/s²
$\epsilon$			0.0018	
Pérdidas por fricción	hf	$hf= f*l/D*v^2/2g+Eni*ki*v^2/2g$	5.972728776	m
Área de flujo	A	$A= \pi d^2/4$	0.008107339	m²
Velocidad	v	$v= Q/A$	0.171312554	m/s
Numero de Reynold	Re	$Re=vD/\nu$	15.82305048	
Factor de fricción	f	$f=64/Re$	4.044732088	flujo laminar

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla de resultados se calcula la altura requerida que es de 5.9 m y como la diferencia de nivel entre los dos tanques de slop es de 10 m, el tanque se puede vaciar en menos de una hora, por lo que es factible llevar a cabo esta alternativa.

- **Interconexión del tanque recolector de muestra de la estación receptora de oleoductos con el descargadero de pailas para vaciarlo por gravedad.**

Se propone instalar un tanque recolector de muestras similar al descrito en el epígrafe 3.5.1.1 (1 m<sup>3</sup> de capacidad) e interconectarlo con el descargadero de pailas que se encuentra en un área cercana, vaciar el producto por gravedad. Para esto se dispone de una tubería de 4 pulgadas de diámetro, siguiendo el mismo criterio que en el epígrafe 3.5.1.1.

- **Cálculos de las pérdidas por fricción y altura necesaria para que el producto drene por gravedad hacia el descargadero de pailas.**

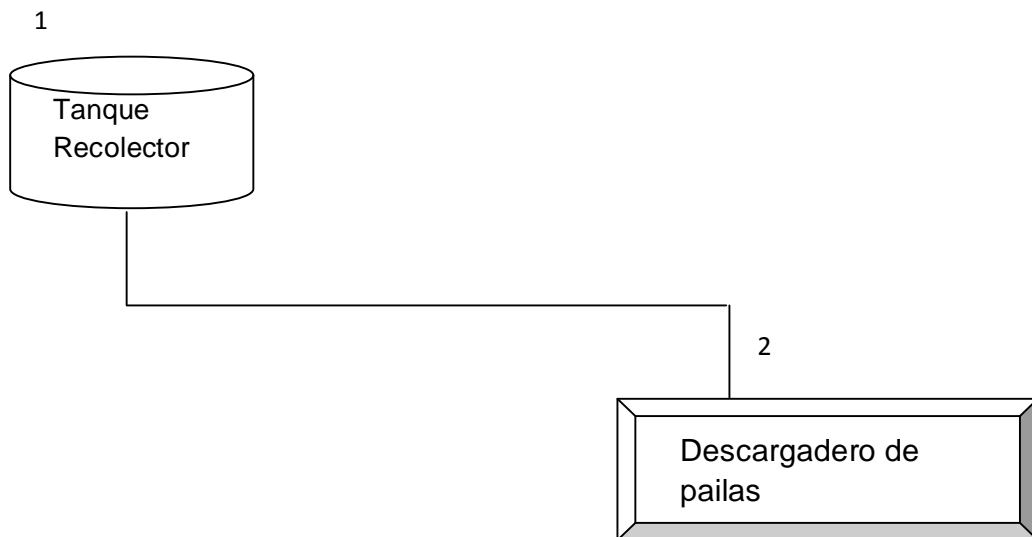


Fig 3.3 Interconexión del tanque recolector al descargadero de pailas

Fuente: Elaboración propia



Siguiendo la misma metodología planteada en el epígrafe 1-2 se preparó una hoja de cálculo de Microsoft Excel donde se programaron todos los cálculos, obteniendo con resultado que la altura necesaria para vaciar el tanque en una hora es de 1.19 metros.

Los resultados aparecen en la tabla 3.3

**Tabla 3.3 Cálculo de la altura necesaria para vaciar el tanque en 1 hora.**

Cálculo de la altura requerida para vaciar el tanque en una hora				
Datos	Símbolo	Fórmula	Valor	U/M
Flujo	Q		2	m <sup>3</sup> /h
Diámetro	D		0.1016	m
Longitud	l		50	m
Densidad	$\rho$		0.99	T/m <sup>3</sup>
Viscosidad	$\mu$		1100	cts.
Visc cinemática	$\nu$		0.0011	m <sup>2</sup> /s
Altura requerida	Z1	$Z1 = Z2 + V^2/2g + Hf$	1.193597036	m
Altura punto final	Z2		0	m
Cantidad de codos de 90			6	
Válvulas de compuerta de 4 "			2	
K del codo de 90	K1		0.75	
K de válvula de compuerta	K2		0.17	
Aceleración de la gravedad	g		9.8	m/s <sup>2</sup>
$\epsilon$			0.0018	
Pérdidas por fricción	hf	$hf = f \cdot l / D \cdot v^2 / 2g + \sum K_i \cdot v^2 / 2g$	1.193357461	m

Área de flujo	A	$A = \pi d^2 / 4$	0.008107339	m <sup>2</sup>
Velocidad	v	$v = Q/A$	0.068525022	m/s
Número de Reynold	Re	$Re = vD/\nu$	6.329220191	
Factor de fricción	f	$f = 64/Re$	10.11183022	flujo laminar

Fuente: Elaboración propia

En la tabla de resultados se calcula la altura requerida que es de 1.19 m y como la diferencia de nivel es de 2 m, el tanque se puede vaciar en menos de una hora, por lo que es factible llevar a cabo esta alternativa.

### **3.6 Propuesta de solución para los registros de drenajes de los tanques de combustible.**

En reunión efectuada con los expertos y el departamento e tecnología se propone la ampliación de diámetro de las tuberías de drenaje de los tanques de 2 a 4 pulgadas, así como el diseño e instalación de medidores de flujo tipo vertederos para aforar las cantidades drenadas. Esto fue aprobado por el consejo de dirección de la Empresa y en estos momentos ya se han diseñado por parte de la Empresa los registros de drenaje de cada tanque y están en fase de ejecución.

### **3.7 Propuestas de solución para los drenajes de los tanques de combustible.**

Los tanques de la base en tierra (49, 50, 51 y 52) al igual que los de la base de crudo y suministro, drenan el agua a sus respectivos cubetos y de ahí el cubeto drena hacia los diferentes terrenos por lo que se proponen las siguientes alternativas para conducir esos drenajes hacia la planta de residuales. Teniendo en cuenta la posición de los tanques cuyos drenajes serán objeto de estudio se decidió analizar dos propuestas, agrupando los tanques según su ubicación. A continuación se analizan. Las propuestas tecnológicas.

**3.7.1 Construcción de una cisterna rectangular de concreto de 100 m<sup>3</sup> de capacidad en la cual se reciben los drenajes de los tanques 49,50,51 y 52 e instalación de una bomba que entregue el agua hacia el tanque 14 de la T 320.**

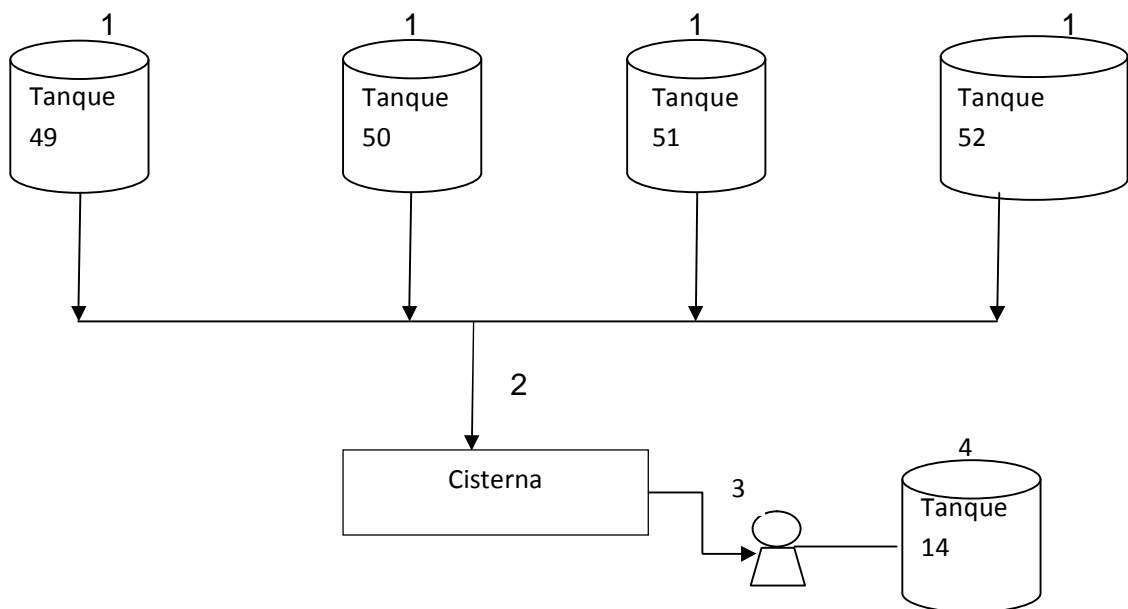


Fig 3.4 Esquema del sistema de drenaje hacia tanque 14

Fuente: Elaboración Propia

Primeramente se realizó un recorrido por el área para definir el lugar donde se colocaría la cisterna determinándose que en la zona situada frente al laboratorio y el almacén existe espacio suficiente y condiciones apropiadas para situar la cisterna. De acuerdo con el espacio disponible se determinó que las dimensiones de la cisterna serían de 8 metros de largo y 6.5 metros de ancho, y 3 metros de altura.

Cálculo de la capacidad.

$$C= L *a* altura operacional$$

$$C = 8 \cdot 6.5 \cdot 2$$

$$C = 104 \text{ m}^3$$

Para determinar si el agua fluye por gravedad desde los tanques 49, 50, 51 y 52 se procedió a realizar el cálculo mediante una hoja de cálculo de Microsoft Excel utilizando la metodología explicada en el capítulo 2. Los resultados aparecen en la tabla 3.4.

**Tabla 3.4 Cálculo de la altura necesaria para que retorne el agua por gravedad**

<b>Cálculo de la altura necesaria.</b>			
Datos	Símbolo	Valor	UM
Flujo	Q	10	m <sup>3</sup> /h
Diámetro	D	4	pulg
Longitud	l	100	m
Densidad	$\rho$	1	T/m <sup>3</sup>
Viscosidad	$\mu$	0.3	cst
Visc cinemática	$\nu$	0.000003	m <sup>2</sup> /s
Presión en tanque (Abs)	P1	1.03	kg/cm <sup>2</sup>
Altura tanques	Z1	5.28612894	
Altura cisterna	Z2	5	m
Cantidad de codos de 90		7	
K del codo de 90	K1	0.75	
Aceleración de la gravedad	g	9.8	m/s <sup>2</sup>
$\epsilon$		0.0019685	

Presión manométrica en el tanque	kg/cm <sup>2</sup>	0	
Cantidad de codos de 45		3	
K del codo de 45		0.35	
Válvulas de cuña		3	
K del válvula de cuña		0.17	
Pérdidas por fricción	hf	0.28612894	m
Área de flujo	A	0.00810734	m <sup>2</sup>
Velocidad	v	0.34262511	m/s
Número de Reynold	Nre	11603.5703	
Factor de fricción	f	0.03299223	
Presión en tanque (Abs)	P2	1.03	kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia

Los resultados reflejados en la tabla 3.4 reflejan que se necesitan 5.28 m de altura. Como la altura disponible es de 10 m la ubicación de la cisterna es correcta.

Para el cálculo de la presión de descarga de la bomba se confeccionó una hoja de cálculo de Microsoft Excel utilizando la metodología descrita en el capítulo 2. Los resultados aparecen en la tabla 3.5

**Tabla 3.5 Cálculo de la presión de descarga de la bomba.**

<b>Cálculo de la bomba necesaria</b>				
<b>Datos</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Valor</b>	<b>UM</b>
Flujo	Q		100	m <sup>3</sup> /h
Diámetro	D		5	pulg
Longitud	l		1168	m
Densidad	ρ		1	T/m <sup>3</sup>
Viscosidad	μ		0.3	cts.
Visc cinemática	ν		0.0000003	m <sup>2</sup> /s
Presión en el punto 2 tanque ( absoluta)	P2		1.03	kg/cm <sup>2</sup>
Altura al nivel del piso	Z1		1	
Altura tanque 14	Z2		6	m
Cantidad de codos de 90			32	
Válvulas de compuerta			2	
K del codo de 90	K1		0.75	
K de válvula de compuerta	K2		0.17	
aceleración de la gravedad	g		9.8	m/s <sup>2</sup>
ε			0.0015748	
Presión manométrica en el tanque	kg/cm <sup>2</sup>		0	
Cantidad de codos de 45			2	
K del codo de 45	K3		0.35	
Perdidas por fricción	Hf	$H_f = f \cdot l / D \cdot v^2 / 2g + \sum E_{ni} \cdot k_i \cdot v^2 / 2g$	56.4875144	m
Área de flujo	A	$A = \pi d^2 / 4$	0.01266772	m <sup>2</sup>
Velocidad	v	$v = Q / A$	2.1928007	m/s <sup>2</sup>
Numero de Reynold	Nre	$N_{re} = vD / \nu$	928285.628	

Factor de fricción	f	$f=1/(-2\log(E/3.7)+(6.81/Re)^{0.9})^2$	0.02231368	
Presión de descarga	P1	$P1/\gamma=Z2+P2/\gamma+Hf-z1$	7.18	kg/cm <sup>2</sup>
Carga de la Bomba	Hb	$Hb=Z2+\frac{\alpha(v_2)^2}{2g} + \sum Hf - \frac{P_1}{\rho g} + z_1$	63.4	m

En la tabla 3.5 se refleja que la presión de descarga de la bomba debe ser de 7.18 kg/cm<sup>2</sup>, para un caudal de 100 m<sup>3</sup>/hora. La carga de la bomba es de 63.4m

Para el cálculo del NPSH de la bomba se preparó otra hoja de Microsoft Excel utilizando la metodología explicada en el capítulo 2 los resultados aparecen en la tabla 3.6

**Tabla 3.6 Cálculo del NPSH de la bomba en la 2-1**

Cálculo del NPSH de la bomba en la 2-1				
Datos	Símbolo	Fórmula	Valor	U/M
Flujo	Q		100	m <sup>3</sup> /h
Diámetro	D		3	pulg
Longitud	l		2	m
Densidad	ρ		1	T/m <sup>3</sup>
Viscosidad	μ		0.3	cts.
Visc cinemática	ν		0.0000003	m <sup>2</sup> /s
Presión en tanque	P1		1.67424632	kg/cm <sup>2</sup>
Altura al nivel del piso	Z1		2	
Altura succión	Z2		1	m
Cantidad de codos de 90			1	
Válvulas de compuerta			1	

K del codo de 90	K1		0.75	
K de válvula de compuerta	K2		0.17	
Aceleración de la gravedad	g		9.8	m/s <sup>2</sup>
ε	ε		0.002624672	
Presión manométrica en la succión	kg/cm <sup>2</sup>		0.64424632	
Presión de vapor del agua	m		0.5	m
Pérdidas por fricción	hf	$hf=f \cdot l/D \cdot v^2/2g + \sum E_{ni} \cdot k_i \cdot v^2/2g$	3.001302805	m
Área de flujo	A	$A=\pi d^2/4$	0.004560378	m <sup>2</sup>
Velocidad	v	$v=Q/A$	6.091113045	m/s
Número de Reynold	Nre	$Nre= vD/\nu$	1547142.713	
Factor de fricción	f	$f=1/(-2\log(E/3.7)+(6.81/Re)^{0.9})^2$	0.025356429	
Presión en la succión	P2	$P1-Z2-Hf+Z1-v^2/2g$	6.445041168	m
NPSH	NPSH	$NPSH= P2-PV/\rho$	5.942463197	m

Fuente: Elaboración propia

Los resultados reflejados en la tabla anterior indican que el NPSH del sistema es de 5.94 m, por lo tanto se puede utilizar una bomba de NPSH menor de 5.5 m para que la bomba no cavite.

Resumiendo los resultados obtenidos se necesita una bomba de 100 m<sup>3</sup>/hora, presión de descarga de 7 kg/cm<sup>2</sup> y NPSH menor de 5.5 m. y Head de 63..4



**3.7.2 Construcción de una cisterna de concreto de 100 m<sup>3</sup> de capacidad en la cual se reciben los drenajes de los tanques 27,28,29,33,34,35 36 y 37 e instalación de una bomba que entregue el agua hacia el tanque 14 de la T 320.**

Para analizar esta variante también se realizó un recorrido por el área para definir el lugar donde se colocaría la cisterna determinándose que en la zona situada frente a la caldera , en el espacio situado antes del cargadero de vagones de la T 320 existe espacio suficiente y condiciones apropiadas para situar la cisterna. De acuerdo con el espacio disponible se determinó que las dimensiones de la cisterna serían de 8 metros de largo y 6.5 metros de ancho, y 3 metros de altura o sea, similares a la analizada en Para determinar si el agua fluye por gravedad desde los tanques 27, 28, 29, 33, 34,35 36 y 37 se procedió a realizar el cálculo mediante una hoja de cálculo de Microsoft Excel utilizando la metodología explicada en el capítulo 2. Este cálculo se realizó para el tanque 37 que es el más alejado y por tanto la condición más crítica porque las pérdidas por fricción son mayores.

Los resultados aparecen en las tabla3.7

**Tabla 3.7 Cálculo de la altura requerida para que el agua fluya por gravedad.**

<b>Cálculo de la altura requerida</b>				
<b>Datos</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Valor</b>	<b>UM</b>
Flujo	Q		10	m <sup>3</sup> /h
Diámetro	D		4	pulg
Longitud	l		1000	m
Densidad	$\rho$		1	T/m <sup>3</sup>
Viscosidad	$\mu$		0.3	cst
Visc cinemática	$\nu$		0.000003	m <sup>2</sup> /s
Presión en tanque (Abs)	P1		1.03	kg/cm <sup>2</sup>
Altura tanques	Z1	$Z1 = P2/\gamma + Hf - P1/\gamma + Z2$	7.10782468	m
Altura cisterna	Z2		5	m
Cantidad de codos de 90			30	
K del codo de 90	K1		0.75	
Aceleración de la gravedad	g		9.8	m/s <sup>2</sup>
$\epsilon$			0.0019685	
Presión manométrica en el tanque	kg/cm <sup>2</sup>		0	
Cantidad de codos de 45			2	
K del codo de 45			0.35	
válvulas de cuña			2	
K del válvula de cuña			0.17	
Pérdidas por fricción	hf	$f \cdot l / D \cdot v^2 / 2g + \sum K_i \cdot v^2 / 2g$	2.10782468	m
Área de flujo	A	$\pi d^2 / 4$	0.00810734	m <sup>2</sup>

Velocidad	v	Q/A	0.34262511	m/s
Número de Reynold	Nre	$vD/\nu$	11603.5703	
Factor de fricción	f	$1/(-2\log(E/3.7)+(6.81/Re)^{0.9})^2$	0.03299223	
Presión en tanque (Abs)	P2		1.03	kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla se necesitan 7.1 metros de altura, para que el agua drenada retorne a la cisterna, lo que es factible, ya que la diferencia real es de 10 m.

El resto de los tanques se encuentran más cerca del punto final por lo que las pérdidas por fricción son menores y no tienen problemas para el retorno.

Para el cálculo de la presión de descarga de la bomba se confeccionó una hoja de cálculo de Microsoft Excel Los resultados aparecen en la tabla 3.8.

**Tabla 3.8 Cálculo de la presión de descarga de la bomba.**

Cálculo de la bomba necesaria				
Datos	Símbolo	Fórmula	Valor	UM
Flujo	Q		100	m <sup>3</sup> /h
Diámetro	D		5	pulg
Longitud	l		1000	m
Densidad	$\rho$		1	T/m <sup>3</sup>
Viscosidad	$\mu$		0.3	cst
Visc cinemática	$\nu$		0.0000003	m <sup>2</sup> /s
Presión en el punto 2 tanque ( absoluta)	P2		1.03	kg/cm <sup>2</sup>

Altura al nivel del piso	Z1		1	
Altura punto inyector	Z2		6	m
Cantidad de codos de 90			20	
Válvulas de compuerta			2	
K del codo de 90	K1		0.75	
K de válvula de compuerta	K2		0.17	
Aceleración de la gravedad	g		9.8	m/s <sup>2</sup>
ε			0.001574803	
Presión manométrica en el tanque	P2		0	
Cantidad de codos de 45			2	
K del codo de 45	K3		0.35	
perdidas por fricción	hf	$hf=f \cdot l/D \cdot v^2/2g + \sum E_{ni} \cdot k_i \cdot v^2/2g$	47.03824491	m
Área de flujo	A	$A=\pi d^2/4$	0.01266772	m <sup>2</sup>
Velocidad	v	$v=Q/A$	2.192800696	m/s
Número de Reynold	Nre	$Nre=vD/\nu$	928285.628	
Factor de fricción	f	$f=1/(-2\log(E/3.7)+(6.81/Re)^{0.9})^2$	0.022313683	
Presión de descarga (absoluta)	P1	$P1=Z2+P2/\gamma+Hf-z1$	6.235258005	kg/cm <sup>2</sup>
Carga de la Bomba	Hb	$Hb=Z2+\frac{\alpha(v_2)^2}{2g} + \sum Hf - \frac{P_1}{\rho g} + z_1$	54.03	m

Fuente: Elaboración Propia

Según los resultados de la tabla anterior se necesita una presión de descarga de 6.23 kg/cm<sup>2</sup>,

Para el cálculo del NPSH de la bomba se preparó otra hoja de Microsoft Excel utilizando la metodología explicada en el capítulo 2 y los resultados aparecen en la tabla 3.9

Tabla 3.9 Cálculo del NPSH de la bomba para los tanque del 27 al 37

Cálculo del NPSH de la bomba				
Datos	Símbolo	Fórmula	Valor	UM
Flujo	Q		100	m <sup>3</sup> /h
Diámetro	D		3	pulg
Longitud	l		2	m
Densidad	$\rho$		1	T/m <sup>3</sup>
Viscosidad	$\mu$		0.3	cst
Visc cinemática	$\nu$		0.0000003	m <sup>2</sup> /s
Presión en tanque	P1		1.03	kg/cm <sup>2</sup>
Altura al nivel del piso	Z1		2	
Altura succión	Z2		1	m
Cantidad de codos de 90			1	
Válvulas de compuerta			1	
K del codo de 90	K1		0.75	
K de válvula de compuerta	K2		0.17	
Aceleración de la gravedad	g		9.8	m/s <sup>2</sup>
$\varepsilon$			0.002624672	

Presión manométrica en la succión	kg/cm <sup>2</sup>			
Presión de vapor del agua	m		0.5	m
perdidas por fricción	hf=	$f \cdot l / D \cdot v^2 / 2g + \sum K_i \cdot v^2 / 2g$	3.001302805	m
Área de flujo	A=	$\pi d^2 / 4$	0.004560378	m <sup>2</sup>
Velocidad	v=	Q/A	6.091113045	m/s
Número de Reynold	Nre=	$vD / \nu$	1547142.713	
Factor de fricción	f	$1 / (-2 \log(E/3.7) + (6.81/Re)^{0.9})^2$	0.025356429	
Presión en la succión	P2		6.445041168	M
NPSH			5.942463197	M

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados reflejados en la tabla anterior indican que el NPSH del sistema es de 5.94 m, por lo tanto se puede utilizar una bomba de NPSH menor de 5.5 m para que la bomba no cavite.

Resumiendo se necesita para esta variante una bomba de 100 m<sup>3</sup>/hora presión de descarga 7 kg/cm<sup>2</sup> y un NPSH menor de 5.9 m y Head de 54.03m.

### 3.8 Propuestas de solución para disminuir las roturas del Oleoducto Santa Cruz.

Ante la situación que ha estado presentando el Oleoducto de Santa Cruz se realizó un estudio previo para determinar las causas que originan las frecuentes roturas, para lo cual se realizó un diagrama causa y efecto.

Según (Valls, F. 2002) un diagrama causa - efecto es una técnica que muestra la relación entre una característica y los factores que la determinan. En su estructura básica se observan, por un lado las causas (factores) que provocan los efectos y por otro el efecto o característica analizada. Esta técnica se conoce, además con el

nombre referido, con el de diagrama de espina de pescado (por su estructura). De la buena elaboración de un diagrama causa - efecto depende su utilidad posterior. A continuación se recoge una serie de etapas que son básicas en el proceso que ocupa. En primer lugar, es necesario definir el problema de calidad a analizar, identificar la característica efecto que lo mida, colocarla en un recuadro a la derecha y, a su izquierda, dibujar una flecha que finalice justo en el recuadro. A continuación se deben identificar los factores (causas) que determinan el efecto.

En este trabajo se realizó un Diagrama Causa – Efecto de pequeñas ramas (diagramas de afinidad), analizándose cada una de las causas que ocasionan el problema (rotura del oleoducto), así como medidas para solucionar cada causa.

### **3.8.1 Resultado del Análisis Causa - Efecto. (Anexo 2)**

Las roturas cada vez más frecuentes ocasionadas en el oleoducto a la Central Termoeléctrica “Santa Cruz” están fundamentadas en la mayoría de los casos por la existencia de lugares donde el espesor de la tubería es muy pequeño y no resiste los cambios bruscos de presión, producto del alto nivel de corrosión que tiene dicho sistema según dictaminó el Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) en su informe de Noviembre de 2005 correspondiente al Proyecto 2702. Etapa 2. Dictamen sobre el estado de los ductos: Gasoducto Jaruco – Mario Fortuny y Oleoducto Super-tanqueros Matanzas –Central Termoeléctrica “Santa Cruz”.

El mal estado técnico está influenciado por las falta de recursos porque no se hacen las reparaciones con todos los elementos necesarios y no se sustituyen los tramos dañados, solamente se colocan parches en el punto de la avería. Otro factor que influye en el estado técnico es que una gran parte del oleoducto se encuentra soterrado y no permite la inspección visual del mismo. Además en ocasiones se producen accidentes con equipos de trabajo como excavadoras, cargadores frontales que provocan la rotura del mismo, debido a que se ha deteriorado la traza del oleoducto.

Otra causa que influye en las roturas es la ocurrencia de paradas frecuentes, producto de la permanencia del crudo dentro del conducto del oleoducto por parada de la operación de bombeo, lo que provoca un enfriamiento del petróleo crudo, que se traduce en un aumento de su viscosidad, ocasionando que cuando se reanuda de nuevo el bombeo las presiones aumentan, alcanzando valores mayores de lo que permite el estado técnico del oleoducto, trayendo como consecuencia la rotura del mismo.

Las paradas frecuentes están dadas por problemas de bombeo, o sea, roturas de la bomba por fallos mecánicos o por mantenimiento y por falta de fluido eléctrico. Otra de las paradas es por falta de vapor que a su vez son ocasionadas por problemas de la caldera, que impiden brindar el servicio de calentamiento y parar el bombeo.

Por la alta cobertura, momento a partir del cual la central termoeléctrica tiene sus capacidades llenas, es otra de las causas que propicia las roturas en la red conductora. Esta alta cobertura es ocasionada por las paradas de la central termoeléctrica por baja disponibilidad de tanques en la misma, además se instalaron dos unidades de consumo de gas acompañante de petróleo que provocan una disminución considerable del consumo de petróleo crudo para la combustión y también está en dependencia de cuantas unidades están produciendo para la Red Nacional.

Se han realizado mediciones por parte de los especialistas de corrosión de la Empresa y del Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) detectándose que el tubo presenta corrosión localizada y pérdida en el espesor en varios tramos. Este alto nivel de corrosión se debe a que no funciona la protección catódica, debido a falta de energía eléctrica. También la falta de recursos (tuberías y accesorios) no permite que las reparaciones sean completas, en los tramos reparados se retiran las coquillas y no se reponen después de las reparación por no haber existencia de la misma, en esos lugares se deposita el agua lo que acelera la velocidad de la corrosión.



El otro factor que tiene influencia en la rotura del oleoducto son los errores operacionales, ya que por desconocimiento y falta de capacitación de los operadores, violándose los pasos a realizar durante el proceso de arrancada y parada del sistema. Esta situación se agudiza más por la fluctuación del personal ya que constantemente los operadores causan baja y son sustituidos por personal de nuevo ingreso que es necesario capacitar, evidenciándose que no se cuenta con operadores de experiencia.

Atendiendo al análisis anterior se decidió realizar un análisis estadístico del comportamiento de las presiones de bombeo durante los años 2009,2010 y 2011, para conocer cuál había sido el comportamiento de las presiones de roturas, ya que en análisis realizados por otros compañeros en los años 2006 y 2007 se podía observar que cada año el oleoducto se rompía con mayor frecuencia y con menos presión.

Los resultados del análisis estadístico son:

### **3.8.2. Análisis de las presiones en los años 2009,2010 y 2011.**

#### **➤ Análisis técnico del Oleoducto “Santa Cruz”.**

A medida que han pasado los años el comportamiento de la presión en el punto inicial ha ido descendiendo, y por consiguiente la presión de trabajo del Oleoducto, por ejemplo en el año 2009 la presión osciló entre 30 y 40 atm, ya en el 2010 los valores de presión se encontraron entre 20 y 30 atm y para el 2011 la presión siempre estuvo por debajo de 20 atm. Como se puede apreciar en todos los casos se trabajaron a presiones por debajo de la presión para la cual se diseñó el Oleoducto (60 atm). (Anexo 3).

Entre las principales causas del descenso de la presión está el estado técnico del Oleoducto, específicamente la disminución del espesor de las paredes de los conductos del mismo, producto a la corrosión, por lo cual se ha tomado como estrategia por parte de la empresa disminuir la presión de trabajo, ya que es un factor que incide directamente en la ocurrencia de averías.

Los valores de presiones de roturas reportados durante los años 2009, 2010 y 2011, al ser sometidos a la prueba de normalidad en el paquete estadístico Statgraphic, (Anexo 4) demuestran que los datos tomados en estos años, siguen una distribución normal, esto significa que los análisis estadísticos son válidos y que los datos fueron tomados correctamente. Esta prueba se realizó para un 90 % de confiabilidad.

Para los años 2009, 2010 y 2011 las pruebas de hipótesis se realizaron comparando los valores de presión contra el valor propuesto para la entrega de crudo a la central termoeléctrica (20 bar).

En el año 2009 la hipótesis nula plantea que los valores de presión son iguales a 20, mientras que la hipótesis alternativa plantea que los valores tomados están por encima de 20 kg/cm<sup>2</sup>.

Esta prueba fue realizada para un 95 % de confiabilidad.

Para el caso de las presiones en el año 2009, la prueba de hipótesis aceptada resultó ser la alternativa, como el valor del P. Value es menor que el de  $\alpha$ , se rechaza la hipótesis nula, por lo que se demuestra de esta forma, que los valores de presión en ese momento eran superiores a 20.

Para el año 2010, las pruebas de hipótesis se realizaron comparando los valores de presión contra el valor propuesto para la entrega de crudo a la central termoeléctrica (20 kg/cm<sup>2</sup>).

La hipótesis nula plantea que los valores de presión son iguales a 20, mientras que la hipótesis alternativa plantea que los valores tomados están por encima de 20 bar.

Esta prueba fue realizada para un 95 % de confiabilidad.

Para el caso de las presiones en el año 2010, la prueba de hipótesis aceptada resultó ser la alternativa, como el valor del P. Value es menor que el de  $\alpha$ , se rechaza la hipótesis nula, por lo que se demuestra de esta forma, que los

valores de presión a la que ocurre la rotura del oleoducto en ese momento era superior a 20 bar.

Para el año 2011, las pruebas de hipótesis se realizaron comparando los valores de presión contra el valor propuesto para la entrega de crudo a la central termoeléctrica (20 kg/cm<sup>2</sup>).

La hipótesis nula plantea que los valores de presión son iguales a 20, mientras que la hipótesis alternativa plantea que los valores tomados están por debajo de 20 bar .

Para el caso de las presiones en el año 2011, la prueba de hipótesis aceptada resultó ser la alternativa, como el valor del P. Value es menor que el de  $\alpha$ , se rechaza la hipótesis nula, por lo que se demuestra de esta forma, que los valores de presión a la que ocurre la rotura del oleoducto en ese momento era inferior a 20 bar.

Durante el año 2011 se realizaron pruebas para tratar de bombear a menor presión, pero no dieron resultado, porque no era posible vencer la resistencia que ofrece el Oleoducto.

Cuando se comparan los resultados del análisis estadístico de los años 2009, 2010 y 2011 se observa que el oleoducto se rompe con presiones cada vez menores, siendo 20 el límite inferior para los requerimientos del sistema, por tanto se propone fijar este parámetro como presión de operación.

➤ **Análisis de las viscosidades.**

En los años 2009 y 2010, la viscosidad del producto a la salida de la estación 2-1 era de 1100 cst que es lo pactado con el cliente .Teniendo en cuenta el comportamiento de las presiones anteriores, en el año 2010 se comenzó a preparar una mezcla en línea destinada al suministro a la central termoeléctrica Santa Cruz con una viscosidad de 450 cst, para facilitar las condiciones de bombeo. Con esto no se obtuvieron buenos resultados, porque la mezcla no era uniforme y se producían cambios en la viscosidad que empeoraban la situación, ya que el oleoducto tenía zonas en que la viscosidad era más alta que en otras.

Ante esta situación se procedió a realizar una nueva propuesta para mejorar estos resultados.

- **Análisis estadístico para determinar la viscosidad promedio del crudo que se recibe en la Empresa.**

Para determinar la estrategia a utilizar se realizó un análisis estadístico del comportamiento de las viscosidades de los dos oleoductos y las pailas durante los primeros 6 meses del año 2011 determinándose la viscosidad promedio y la distribución estándar de los resultados para cada una de las corrientes recibidas. Los resultados del análisis estadístico fueron los siguientes.

**Tabla 3.10. Resultados de las viscosidades promedio.**

<b>Resultados de las viscosidades promedio</b>		
<b>Procedencia</b>	<b>Viscosidad</b>	
<b>EPEP Centro</b>	800	cst
<b>EPEP Occidente</b>	1190	cst
<b>Pailas occidente</b>	250	cst

Fuente: Elaboración propia

### **3.8.3 Desarrollo de la estrategia de trabajo.**

En base a las cantidades recibidas diariamente (promedio) y con los resultados del análisis estadístico se procedió a calcular la viscosidad resultante de la mezcla de las corrientes de EPEP Centro y las pailas, utilizando para esto la hoja de cálculo de Microsoft Excel Viscosidad y Mezcla, que tiene como datos de entrada la viscosidad del pesado, la viscosidad del ligero y la fracción del ligero (esta última se calcula a partir de las cantidades recibidas).

Como resultado de la aplicación de los cálculos se obtiene una viscosidad de 623 cts. Esto está en dependencia de la cantidad recibida de cada una de las corrientes, se realizaron los cálculos en base a 4000 m<sup>3</sup> de crudo centro y occidente y 1000 m<sup>3</sup> de pailas recibidos diariamente.

Para definir la estrategia de preparación de los tanques para la central termoeléctrica Santa Cruz se utilizó la hoja de cálculo viscosidad y mezcla y partiendo de la viscosidad del oleoducto centro y la de las pailas se pudo fijar el tiempo de bombeo y la viscosidad de salida de la 1-1 necesaria.

Los resultados de los cálculos aparecen en la tabla 3.11

**Tabla 3.11 Cálculos de las mezclas**

<b>Cálculos de las mezclas</b>		
<b>Datos</b>	<b>Valor</b>	<b>U/M</b>
Volumen a preparar	8262	m <sup>3</sup>
Viscosidad de centro	800	cts
viscosidad de salida de la 1-1	300	cts
Viscosidad del fondaje	450	cts
Tiempo de bombeo	8	h
Caudal	600	m <sup>3</sup> /h
Volumen bombeado	4800	m <sup>3</sup>
Fracción del ligero	0.58	
Viscosidad resultante	440	cst
Cantidad de nafta a utilizar	105.6	m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se puede apreciar que para preparar un tanque para la central termoeléctrica Santa Cruz con una viscosidad de 440 cts. es necesario entregar durante 8 horas de trabajo desde la 1-1 con una bomba y a la vez recibir en el tanque el Oleoducto Centro. De esta forma se preparan alrededor de 9000 m<sup>3</sup> con una viscosidad cercana a 450 cts.,

### 3.9 Balance de masa.

Para el bombeo a la central termoeléctrica se utiliza un tanque el cual es preparado previamente. Se prepara vertiendo los oleoductos en el tanque y por bombeo de la estación 1-1. Si se realiza un balance de masa en el tanque se puede determinar la cantidad entregada diariamente a la central termoeléctrica y la cantidad recibida por oleoductos para la preparación del tanque

Balance de masa en la preparación del tanque. El tanque se prepara recibiendo el Oleoducto Centro y bombeando desde la estación 1-1 durante 8 horas.

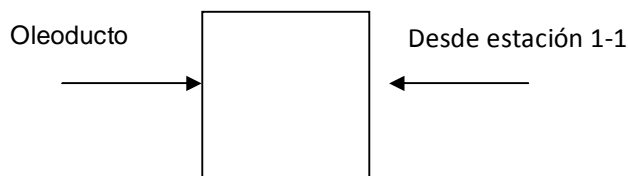


Fig 3.5 Esquema de preparación de un tanque para bombear a la termoeléctrica.

Fuente: Elaboración propia

#### Datos:

Fondaje = 1242,3104t

Existencia final = 9131,7t

Bomba = 658,68 t /hora\*8 hora= 5269.4 ton

Salida = 0 porque no se puede entregar a la termoeléctrica hasta que el tanque no esté certificado y aceptado por el cliente.

$$\text{Fondaje} + \text{entrada} - \text{salida} = \text{existencia final} \quad (\text{Ecuación 3.9})$$

Despejando la entrada, queda que:

$$\text{Entrada} = \text{existencia final} - \text{fondaje} \quad (\text{Ecuación 3.10})$$

$$\text{Entrada} = 7889,3896 \text{ t}$$

$$\text{Entrada} = \text{oleoducto} + \text{bomba} \quad (\text{Ecuación 3.11})$$

Despejando oleoducto:

$$\text{Oleoducto} = \text{entrada} - \text{bomba} \quad (\text{Ecuación 3.12})$$

$$\text{Oleoducto} = 3952,08 \text{ t}$$

Esto nos permite calcular la cantidad recibida por oleoducto.

Balance de masa para el bombeo a Santa Cruz, la entrada es cero, porque hay que evitar las operaciones sucias.

**Datos:**

$$\text{Inicio} = 9150 \text{ t}$$

$$\text{Entrada} = 0$$

$$\text{Final} = 8083 \text{ t}$$

$$\text{Inicio} + \text{entrada} - \text{salida} = \text{final} \quad (\text{Ecuación 3.13})$$

Despejando salida

$$\text{Inicio} - \text{final} = \text{salida} \quad (\text{Ecuación 3.14})$$

$$\text{Salida} = 1064,87 \text{ t.}$$

Con el balance de masa podemos conocer las cantidades y los flujos de entrada y salida en los tanques que almacenan el combustible que es bombeado a Santa Cruz..El resultado calculado como salida es el valor bombeado a Santa Cruz en el día, lo cual es certificado por los inspectores de Cuba-Control. En caso de existir valores ilógicos Cuba- Control no certifica.

### 3.10 Balance de energía.

El balance de energía se realiza para calcular la cantidad consumida de vapor para garantizar la temperatura de bombeo a la central termoeléctrica

Se realizó en el intercambiador el cual es de tubo y coraza, donde el vapor circula por los tubos y el crudo por la coraza. Tiene 370 horquillas, de diámetros  $\frac{3}{4}$  pulgadas, con longitudes de 2 000 mm, de un solo paso. Tiene un área de transferencia de 84.5 m<sup>2</sup>. Esta construído de acero ACTM-A516.

#### Datos

Masa del combustible = 45 m<sup>3</sup>/hora

Cp = 0,47 kcal / kg°C

T inicial = 45 °C

T final = 75 °C

$\lambda$  = 513, 10 kcal. / kg.

$$Q = m_c * C_p * \Delta T \quad (\text{Ecuación 3.15})$$

$$Q = 45 \text{ m}^3 * 998 \text{ kg/m}^3 * 0,47 \text{ kcal. / kg}^\circ\text{C} * (75^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C})$$

$$Q = 633231 \text{ kcal/hora}$$

Mv en el intercambiador 2-1 Santa Cruz

$$Q = m_v * \lambda \quad (\text{Ecuación 3.16})$$

$$Mv = Q / \lambda \quad (\text{Ecuación 3.17})$$

$$Mv = 633231 \text{ kcal/h} / 513,10 \text{ kcal / kg}$$



$M_v = 1234.12 \text{ kg/hora}$

$M_v = 1.23 \text{ t/hora}$

Los resultados del balance de energía nos muestra la masa de vapor que es necesario para calentar el crudo en el intercambiador, el cual posteriormente será bombeado para Santa Cruz, la cual es suficiente para que el crudo salga con la temperatura adecuada.

### 3.11 Cálculo de la altura mínima necesaria en el tanque.

Teniendo en cuenta la propuesta de cambio de parámetros del Oleoducto Santa Cruz, es necesario calcular cual es la altura mínima que debe tener el producto dentro del tanque para evitar que la bomba cavite.

Planteando la ecuación de Bernoullí entre el tanque y la succión de la bomba se puede realizar el cálculo.

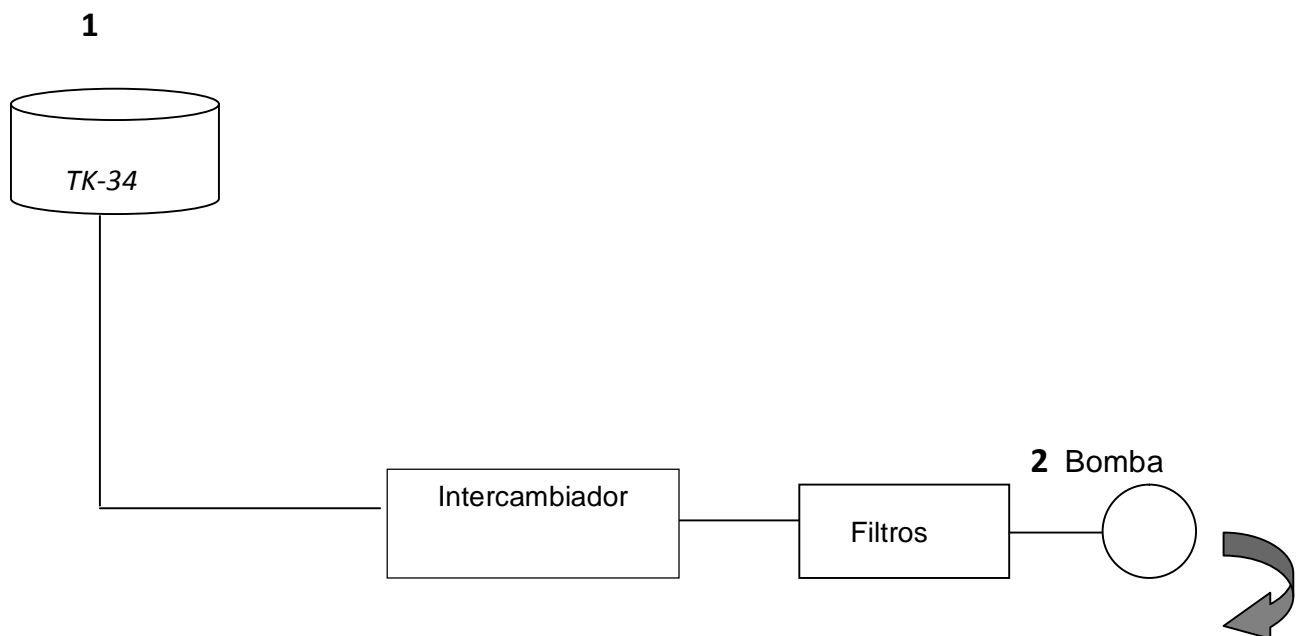


Fig. 3.6 Sistema de bombeo a la central termoeléctrica Santa Cruz

Fuente: Elaboración propia

### Datos

Longitud de tubería (L) = 2000 m

Velocidad 1 ( $v_1$ ) = 0 m/s

Diámetro de tubería (d) = 0,406 m

Caída de presión en el intercambiador ( $\Delta P_{int}$ ) = 45 000 Pa

Caída de presión en el filtro ( $\Delta P_{filtro}$ ) = 30000 Pa cada uno.

Flujo de combustible (q) = 45 m<sup>3</sup>/hora

Presión de vapor (Pv) = 86 000 Pa

NPSH de la bomba = 5 m

Presión 1 ( $P_1$ ) = 101 325 Pa (atmosférica)

Densidad del combustible ( $\rho$ ) = 997 kg/m<sup>3</sup>

Aceleración de la gravedad (g) = 9,8 m/s<sup>2</sup>

Viscosidad del combustible ( $\mu$ ) = 450 cst = 0.00045 m<sup>2</sup>/s

Altura 2 ( $Z_2$ ) = 0 m

Con respecto al nivel del mar:

∴ de la succión de la bomba a la base del tanque 34 hay 15 m

En este sistema calcularemos la mínima altura que debe alcanzar el combustible en el tanque para que la bomba no cavite.

Para esto utilizaremos la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\rho g} + z_1 + \frac{\alpha_1 (v_1)^2}{2g} + Hb = \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \frac{\alpha_2 (v_2)^2}{2g} + \sum Hf \quad (\text{Ecuación 3.18})$$

En esta expresión todavía hay incógnitas que se deben calcular, como es el caso de la velocidad 2 que se calcula con la siguiente ecuación:

$$v_2 = \frac{q}{A} = \frac{4q}{\pi d^2} \quad (\text{Ecuación 3.19})$$

$$v_2 = 0.096 \text{ m/s}$$

La presión 2 o presión de entrada de la bomba se calcula por la ecuación:

$$NPSH_{\text{sistema}} = \frac{P_2 - P_v}{\rho g} \quad (\text{Ecuación 3.20})$$

Donde:

Se calcula la mínima altura que va a alcanzar el combustible en el tanque considerando el NPSH de la bomba igual al del sistema.

$$P_2 = 134853 \text{ Pa}$$

Las pérdidas por fricción se calculan por la siguiente ecuación:

$$\sum Hf = Hf_{\text{int}} + Hf_{\text{filtro}} + Hf_{\text{tuberia}} + Hf_{\text{accesorios}} \quad (\text{Ecuación 3.21})$$

para este cálculo se debe saber que en el sistema existen:

80 codos de 90° (K = 0,75)

12 válvulas de compuerta abierta (K = 0,17)

luego se tiene que conocer el valor del Reynolds para saber cómo es el régimen y el valor de  $\alpha$ , y con este determinar el factor de fricción:

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (\text{Ecuación 3.22})$$

$$Re = 87.11$$

Este resultado indica que estamos en presencia de régimen laminar donde  $\alpha$  es 2 y el factor de fricción se calcula por la siguiente expresión:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (\text{Ecuación 3.23})$$

$$f = 0.7346$$

teniendo todo lo necesario para calcular las pérdidas se pasará a calcular por separado cada una de ellas:

$$Hf_{int} = \frac{\Delta P_{int}}{\rho g} \quad \text{en el intercambiador} \quad (\text{Ecuación 3.24})$$

$$Hf = 4,606 m$$

$$Hf_{filtros} = 2 \frac{\Delta P_{filtros}}{\rho g} \quad \text{en los dos filtros} \quad (\text{Ecuación 3.25})$$

$$Hf_{filtros} = 6,141 m$$

$$Hf_{tubería} = \frac{fLv^2}{2gd} \quad \text{en la tubería} \quad \text{(Ecuación 3.26)}$$

$$Hf_{tubería} = 1.75m$$

$$Hf_{accesorios} = \frac{\sum Kv^2}{2g} \quad \text{en los accesorios} \quad \text{(Ecuación 3.27)}$$

$$Hf_{accesorios} = 0,029m$$

$$\Sigma Hf = 12.49m \quad \text{TOTAL}$$

∴ despejando en la ecuación de Bernoulli nos queda

$$z_1 = 15.92m$$

Esta es la altura final pero no la mínima del combustible en el tanque, para ello se tienen que restar los 15 m que hay desde la succión de la bomba hasta la base del tanque, quedando:

$$\text{Altura mínima del combustible en el tanque } 34 = 0.92 \text{ m}$$

Después de analizadas todas las propuestas y en base a los resultados obtenidos se estableció el siguiente plan de acción.

### 3.12 Plan de acción.

El plan fue dirigido a dar cumplimiento a las propuestas de soluciones dadas.

- ✓ Realizar y ejecutar proyecto para el drenaje de los tanques recolectores de muestras al tanque de slop
- ✓ Realizar y ejecutar proyecto de interconexión del tanque de slop del IE 117 y el de la estación de bombas 2-1.
- ✓ Modificar la instrucción de operación para el bombeo a Santa Cruz.
- ✓ Implantar la instrucción de operación.
- ✓ Capacitación de los operadores con los nuevos cambios.

- ✓ Continuar con los estudios de corrosión a largo plazo para garantizar que se aplique la protección catódica.
- ✓ Estudio de factibilidad por los organismos competentes para analizar la posible reparación del oleoducto.
- ✓ Utilizar un producto más ligero para el bombeo a Santa Cruz.
- ✓ Utilizar la operación permanente con las bombas de 45m<sup>3</sup> /h.
- ✓ Instalar estaciones de protección catódica automáticas.

### **3.13 Posibles alternativas.**

Después de efectuado los recorridos por el área y en coordinación con el personal especializado en la actividad se definieron las posibles alternativas o vías de solución para los mismos:

- ✓ Instalar un tanque recolector de muestras que a su vez descargue por gravedad hacia el tanque slop de la 2-1.
- ✓ Interconectar el tanque slop del IE 117 al tanque slop de la 1-1
- ✓ Definir nuevos parámetros de bombeo para el Oleoducto Santa Cruz.
- ✓ Verificar el estado actual del oleoducto para definir los tramos que están en peor estado.
- ✓ Ampliación del diámetro de las tuberías de drenaje de los tanques e instalación de medidores de flujo tipo vertederos.
- ✓ Continuar los trabajos de montaje de la planta de tratamiento de residuales.
- ✓ Efectuar la reparación de las canalizaciones de los residuales según planes de inversiones de la Empresa. .
- ✓ Estudio de los problemas de corrosión, que influyen sobre el oleoducto.

Se escoge como alternativa inmediata la modificación de los parámetros de bombeo a la central termoeléctrica, aunque esta no es la solución definitiva porque el oleoducto está en malas condiciones técnicas y aunque se reduce el número de roturas no se erradican totalmente. La solución a más largo plazo sería al sustitución del Oleoducto que si daría solución completa al problema pero requiere de inversión y recurso.

### 3.14 Implementación de las prácticas de Producción Más Limpia.

Según las tareas incluidas en el presupuesto, se ejecutan las siguientes:

Actividad	Responsable	Participantes	Fecha
Realizar y ejecutar el proyecto e instalación del tanque recolector de muestras	Jefe de mantenimiento y jefe de inversiones	Tecnólogos , proyectistas, mecánicos	Diciembre 2012
Realizar y ejecutar el proyecto de interconexión de los tanques de slop	Jefe de mantenimiento y jefe de inversiones	Tecnólogos , proyectistas, mecánicos	Diciembre 2012
Modificar la instrucción de operación para el bombeo a Santa Cruz	Jefe de área y tecnólogo	Tecnólogo , Jefe de área y operadores	Septiembre 2012
Implantar la instrucción de operación	Jefe de área y tecnólogo	Tecnólogo , Jefe de área y operadores	Septiembre 2012
Capacitación de los operadores con los nuevos cambios	Jefe de área y tecnólogo	Tecnólogo , Jefe de área y operadores	Septiembre 2012
Continuar con los estudios a largo plazo de la corrosión para garantizar la protección catódica	Jefe de inversiones, jefe técnico	Especialista de inversiones	Diciembre 2013

Estudio de factibilidad por organismo competente para analizar la posible reparación del oleoducto.	Jefe de inversiones, Y la empresa de investigaciones y proyecto del petróleo	Especialista de inversiones	Diciembre 2013
Instalar estaciones de protección catódica automática	Jefe de inversiones y jefe de automática	Técnico de inversiones y automático	Diciembre 2013
Reparación del oleoducto.	Jefe de inversiones y mantenimiento	Técnico de inversiones , brigada de mantenimiento	Diciembre 2014

Fuente: Elaboración Propia



#### Capítulo 4. Análisis económico

El presupuesto de gastos es un sistema que contiene, de forma estimada (Plan) los recursos necesarios para la ejecución de un programa de distribución expresado en valores y proyectado de acuerdo con las condiciones que se asume trabajará la empresa.

Sus principales objetivos son:

Establecer un compromiso planificado sobre los límites de recursos humanos materiales y financieros a emplear para la distribución de una cantidad determinada en base a:

3. Una mayor utilización de la fuerza de trabajo.
4. Una utilización eficaz de las capacidades instaladas.
5. Utilizar las normas de consumo establecidas.

Para el año 2009 la producción de crudo 1100 para Santa Cruz se comportó de la siguiente forma:

Por conceptos de gastos su ejecución es como sigue.

Concepto	Costos (\$)	Tipo de costo
Materiales	7563.6	CV
Combustibles	2704.68	CV
Energía	10984.56	CV
Salario	10777.08	CF
Seguridad Social	17542.8	CF

Amortización	73656.36	CF
Mantenimiento	58433.28	CV
Servicios Productivos	10990.2	CV
Otros gastos	1833	CV
Atención al hombre	1410.36	CF
Total	195895.92	

Fuente: Elaboración Propia.

**Los costos fijos:**

CF = Salario + Seg. Social + Amortización + Atención al hombre

CF = 103386.6 \$

Los costos variables:

CV = Materiales + Combustible + Energía + Mantenimiento + Servicios Productivos + Otros gastos

CV = 92509.32 \$

Los costos totales:

CT = CF + CV

CT= 195895.92\$/año

PCNm	Volumen de prod. (m <sup>3</sup> )	Venta (pup) \$/m <sup>3</sup>
CantidadTotal de PCNM	246220	3.0755

$$G = VP - CT$$

$$VP = V * (\text{pup})$$

$$VP = 246220 * 3.0755$$

$$VP = \$ 757249.61/\text{año}$$

$$G = \$ 757249.61/\text{año} - 195895.92\$/\text{año}$$

$$G = 561353.69\$/\text{año}$$

#### **4.1 Cálculo del punto de equilibrio (Ver anexo 5)**

$$CUV = C_v / N = 0.375718138\$/\text{m}^3$$

$$CP/VP = 0.258693986$$

$$N_0 = C_f / (\text{pup} - CUV) = 38294.42721\text{m}^3$$

**Donde:** N = volumen de la producción

$C_{\text{prod}}$  = costo de la producción

$C_f$  = costos fijos (salario, seguridad social, amortización y otros gastos monetarios).

$C_v$  = costos variables (materia prima, combustibles y energía).

P = valor de la producción.

pup = precio unitario del producto

CUV = costos unitarios variables

Los resultados económicos muestran resultados favorables pues los principales indicadores de eficiencia, el costo por peso, son de 0,37 pesos gastados sobre

los pesos distribuidos, altamente factibles, pues nos indica que por cada peso distribuido se obtiene de utilidad 0.63 pesos.

Si se eliminan las roturas del oleoducto y los derrames de crudo, se incrementaría el volumen de producto entregado a la Central termoeléctrica, por lo que realizando una inversión que permita reparar el oleoducto y recuperar el resto de las muestras, se aumentaría entonces el valor de la producción (VP), incrementando la ganancia y se desplaza el punto de equilibrio hacia la izquierda. Para esto se requiere una inversión consistente en sustituir el oleoducto por uno nuevo, y realizar modificaciones internas para interconectar los tanques de muestras y del IE117 al tanque slop de la 2-1

#### 4.2 Análisis económico después de las modificaciones.

Concepto	Costos (\$)	Tipo de costo
Materiales	7563.6	CV
Combustibles	2704.68	CV
Energía	10200	CV
Salario	10777.08	CF
Seguridad Social	17542.8	CF
Amortización	73656.36	CF
Mantenimiento	15436.5	CV
Servicios Productivos	1850.6	CV
Otros gastos	1023	CV
Atención al hombre	1410.36	CF
Total	142164.98	

Fuente: Elaboración propia

Los costos fijos son los mismos que antes de las modificaciones.

**CF = Salario + Seg. Social + Amortización + Atención al hombre**

CF = \$ 103386.6

**CV = Materiales + Combustible + Energía + Mantenimiento + Servicios Productivos + Otros gastos**

CV = \$ 38778.38

**CT = CF + CV**

CT = \$ 142464.98

PCNm	Volumen de prod. (m <sup>3</sup> )	Venta (pup) \$/m <sup>3</sup>
Cantidad Total de PCNM	247720	3.0755

$G = VP - CT$

$VP = V * (pup)$

$VP = 247720 * 3.0755$

VP = \$ 761862.86 /año

$G = \$ 761862.86 /año - 142464.98 \$/año$

#### 4.3 Cálculo del punto de equilibrio (Ver anexo 6)

$$CUV = C_v / N = 0.156541\$ / m^3$$

$$CP/VP = 0.186$$

$$N_0 = C_f / (p_{up} - CUV) = 35418.999m^3$$

**Donde:** N = volumen de la producción

$C_{prod}$  = costo de la producción

$C_f$  = costos fijos (salario, seguridad social, amortización y otros gastos monetarios).

$C_v$  = costos variables (materia prima, combustibles y energía).

P = valor de la producción.

$p_{up}$  = precio unitario del producto

CUV = costos unitarios variables

Como conclusión de este análisis estadístico, se puede establecer que realizando las alternativas propuestas se logra desplazar el punto equilibrio hacia la izquierda de forma tal que con un menor nivel producción se comienza a obtener ganancia en menos tiempo.

## Conclusiones

Con la realización del presente trabajo se llegan a las siguientes conclusiones:

1. Los problemas detectados en el Oleoducto de Santa Cruz y en la Empresa Comercializadora de combustible fueron: derrames en las áreas de bombeo y estación receptora, drenajes con diseño no adecuado, canalizaciones de los drenajes en mal estado tecnológicos, roturas frecuentes del oleoducto Santa Cruz por no tener protección catódica y otras causas.
2. La aplicación de prácticas de producción más limpia eliminó los problemas ambientales con respecto a los derrames por roturas del oleoducto de Santa Cruz y en la Empresa Comercializadora de combustible por lo que queda validada la hipótesis
3. La interconexión de los tanques slop y los tanques recolectores de muestras así como la variación de los parámetros de bombeo y la recolección de los drenajes constituyeron alternativas de solución a los problemas existentes en el oleoducto.
4. Como alternativa de solución inmediata para las roturas del Oleoducto Santa Cruz se propone bombear a  $20 \text{ kg/cm}^2$  de presión y con una viscosidad de 450 cts., para facilitar el bombeo a la Central termoeléctrica.
5. La solución definitiva para las roturas del Oleoducto Santa Cruz es la reparación total del Oleoducto y restablecer la protección catódica.
6. El análisis económico permitió comprobar que realizando las alternativas propuestas se logra desplazar el punto equilibrio hacia la izquierda de forma tal que con un menor nivel producción se comienza a obtener ganancia en menos tiempo.

## **RECOMENDACIONES**

- ✓ Presentar los resultados de la inversión para su aprobación al consejo Técnico de la Empresa Comercializadora Combustible.
- ✓ Continuar el estudio hasta la reparación total del oleoducto.



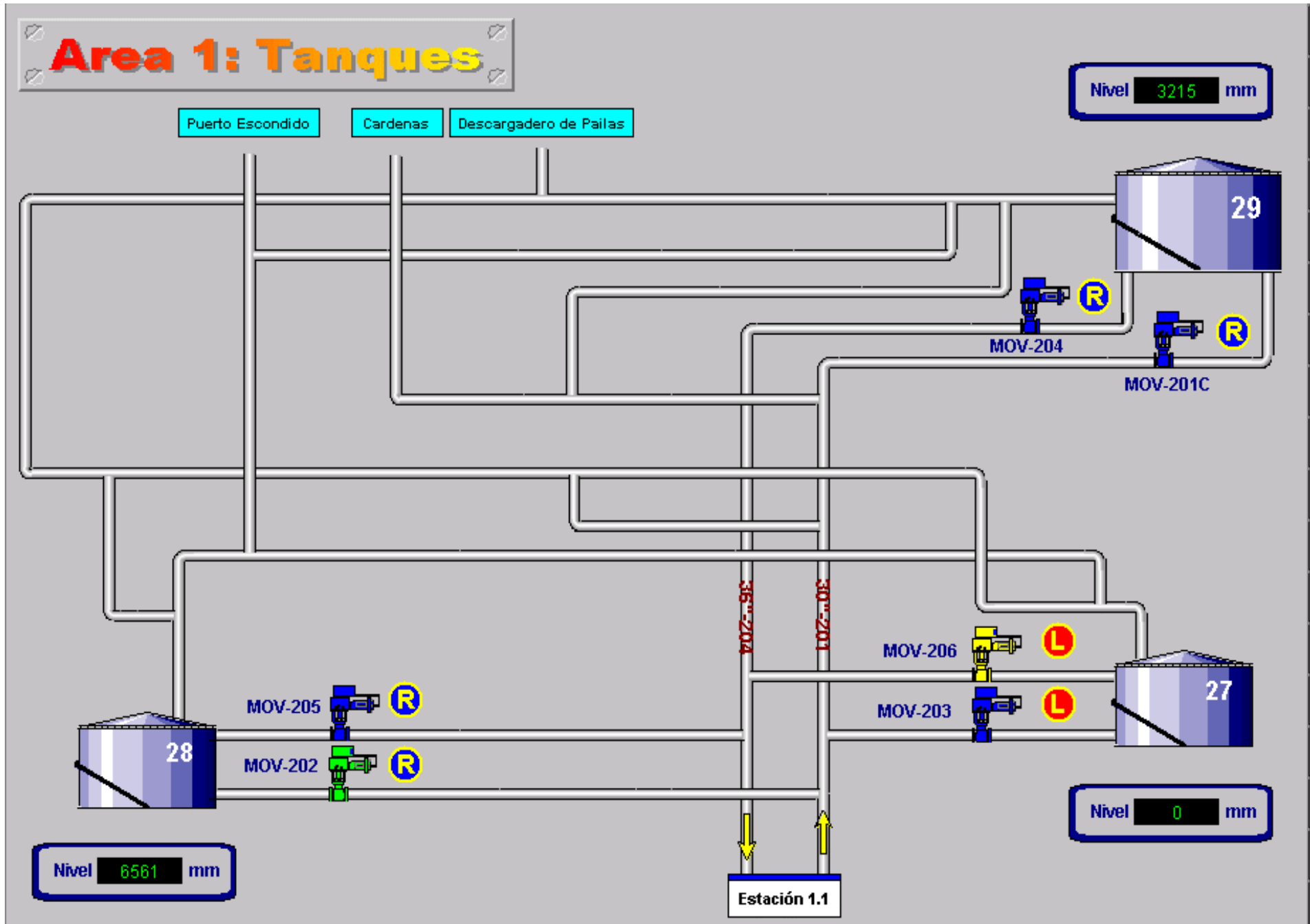
## **Bibliografía.**

1. Bradley, H. (1992). Petroleum Engineering Handbook. United States of America.
2. CITMA (2010). Estrategia Ambiental Nacional 2011-2015. Editorial Academia. La Habana.
3. Centro Nacional de Producción Más Limpia (2009) Manual de introducción a la producción más limpia en la industria. Colectivo autores Argentina, Disponible en <http://www.unep.ch/basel/>, consultado el día 30 de abril 2010.
4. CITMA. Junio, 1998 Elementos metodológicos para la introducción de prácticas de producción más limpia. Alternativa para el aprovechamiento económico de residuales. Centro de Información, Divulgación y Educación Ambiental (CIGEA),
5. CM OP/P0101 Procedimiento de recepción almacenamiento y entrega de combustibles. Versión 08 (2012).
6. CM OP/P0102 Procedimiento de muestreo .Versión 6 (2012).
7. CM-OP/I 0108 Puesta en marcha del Oleoducto CTE Este Habana después de una parada prolongada. Versión 03 (2011).
8. DOAM, Diagnostico Ambiental de Oportunidades de Minimización (2000), Centre d' Actividades Regionales para la Producción más Limpia, ONU, ISBN 84-393-5126-7.
9. Espino, Alfredo (2006), Conferencia Producción Más Limpia, Agencia Medio Ambiente, disponible en CD ROM en la empresa.
10. Estrategia provincial del medio ambiente (2008) disponible en <http://www.atenas.inf.cu>.
11. Folleto Universidad para todos. Medio ambiente.
12. Green Peace Argentina (2006) Estrategias para promover la P+L, Green Peace Internacional, disponible en <http://www.greenpeace.com>
13. Keenan, J. (1969). Steam Tables. Edition Vancouver. British Columbia. February 1978.

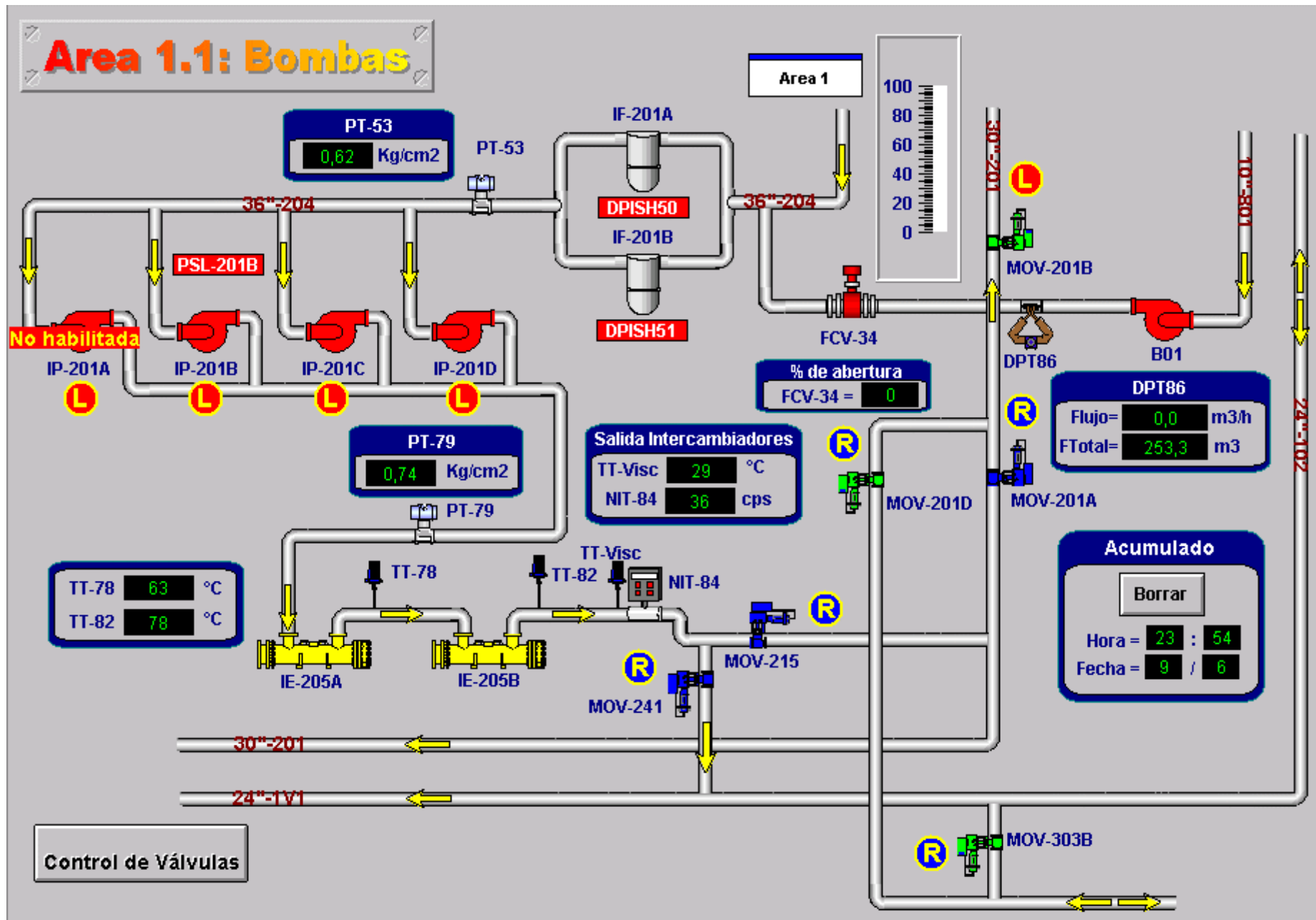
14. KERN, Q, DONALD (1969). Procesos de Transferencia de Calor. Edición Revolucionaria.
15. Rigola Lapena Miquel (1998), Producción Mas Limpia. Rubes Editorial, S.L Siclila
16. Manual de Operaciones. (Julio 1999). Base de Crudos y Suministro. Supertanquero. Matanzas.
17. Martínez La Rosa, Edila. PNUMA, por un presente que no embargue el futuro, disponible en <http://www.radiominas.icrt.cu> . Diciembre 2011.
18. Miranda Torrent, Maritza. 2011. Propuesta de Producción Más Limpia para la ENPA UEB Matanzas.
19. MC CABE, WARREN. L y SMITH JULIAN .C. (1986) Operaciones básicas de Ingeniería Química. Edición revolucionaria. La Habana.
20. NEIB 004:2010. Norma de proceso BCS. 2010.
21. PAVLOV, F.K; ROMANKOV, G.P; NOSKOV, A.A. (1981). Problemas y Ejemplos para el curso de Operaciones Básicas y Aparatos en la Tecnología Química. Editorial Mir Moscú
22. PERRY'S, R.H et al. (1984) Chemical Engineers' Handbook. 6 Edition. Mc. Graw Hill. Book. Co. Inc. New York. 3T.
23. Pino Álvarez Ana. Servicio informativo sobre producción más limpia dirigido al usuario y/o cliente, disponible en <http://www.bibliociencias.cu>.
24. PNUMA; Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 1994.
25. Procedimiento de recepción almacenamiento y entrega de combustibles. Versión 08 (2012).
26. Proyecto Técnico Oleoductos Matanzas. Especialidad Tecnológica. Tomo 2. Planos No. 102. Mayo 1985.
27. Riveiro Pino, Carlos. (2008). Cálculo de viscosidad de las mezclas de crudo, disponible en CD ROM en la Empresa.
28. Rodier J, Analysis of water John Wiley and sons, New York 1975.
29. Rosabal Vega, Julio M.; 2006. Garcell Puyans, Leonel. *Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas*. Tomo I. Editorial Pueblo y Educación. La Habana.

30. Sánchez Perera, Manuel MSc.(2006), Principales Problemas Ambientales de las Empresas en la Provincia de Matanzas, CITMA Territorial Matanzas, disponible en CD ROM en la empresa.
31. Serrano Méndez, Juana. (2006). Protección Ambiental y Producción Más Limpia. Curso de Universidad para todos. Editorial Academia
32. Suárez García, Lydia MSc.(2006), Conferencia sobre el Sistema de Gestión Ambiental Empresarial, disponible en CD ROM en la Empresa.
33. UNEP Guidelines for assessing industrial environmental criteria for the siting of industry. Supplementary material Atkins Reserch Development London 1979.

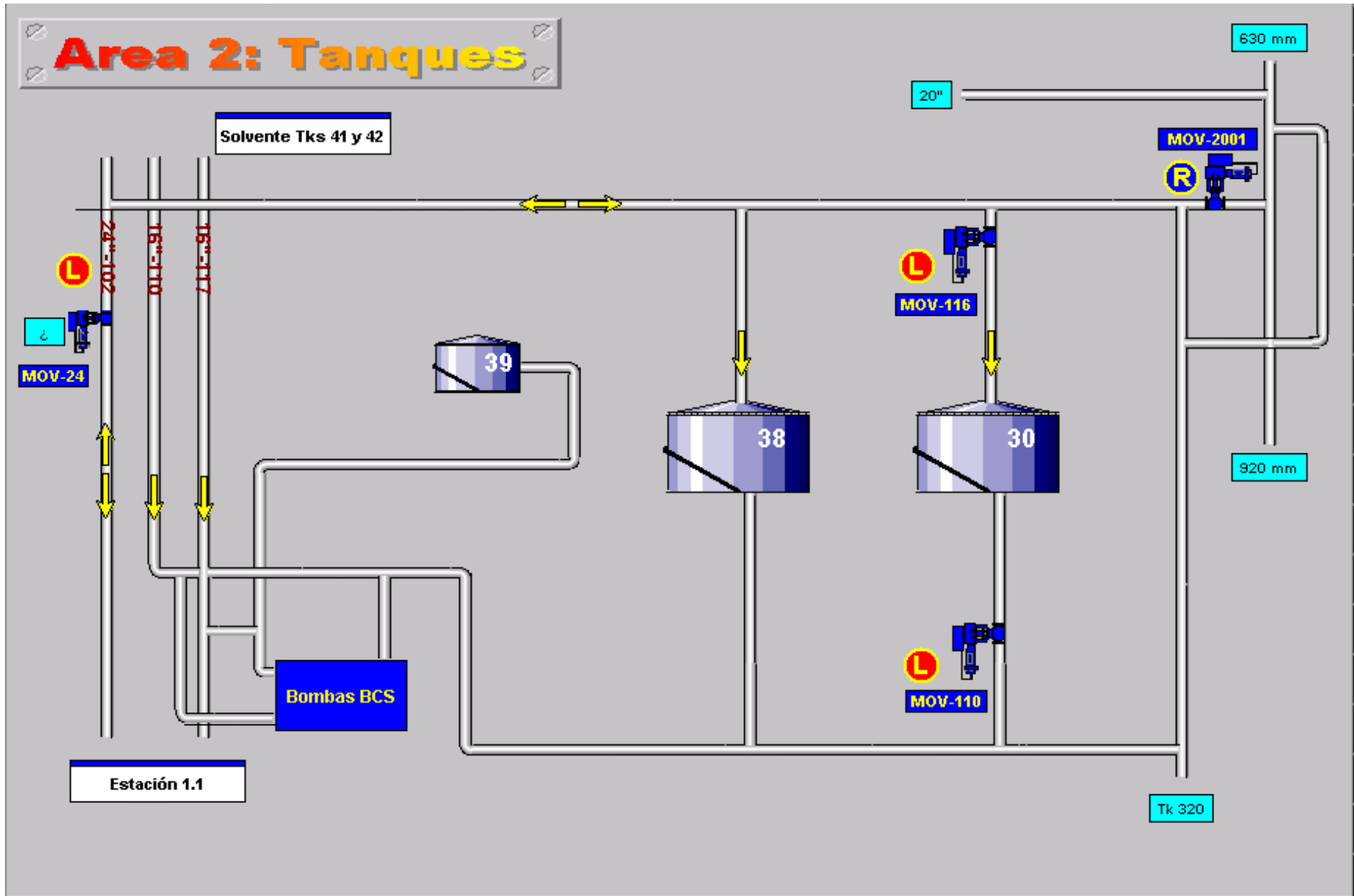
# Anexo 1: Diagrama de Flujo del área 1



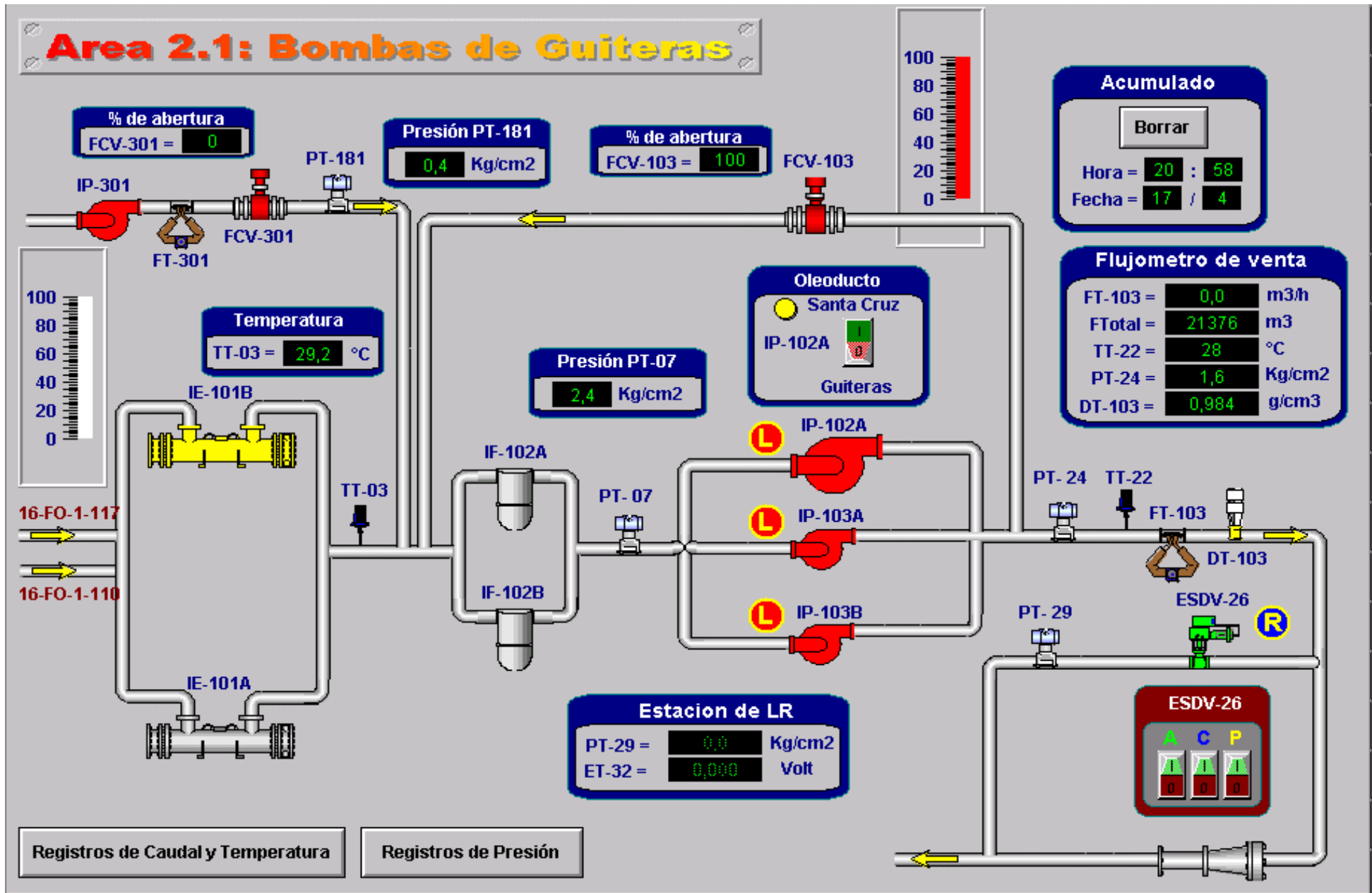
Anexo 1: Diagrama de Flujo del área 1.1



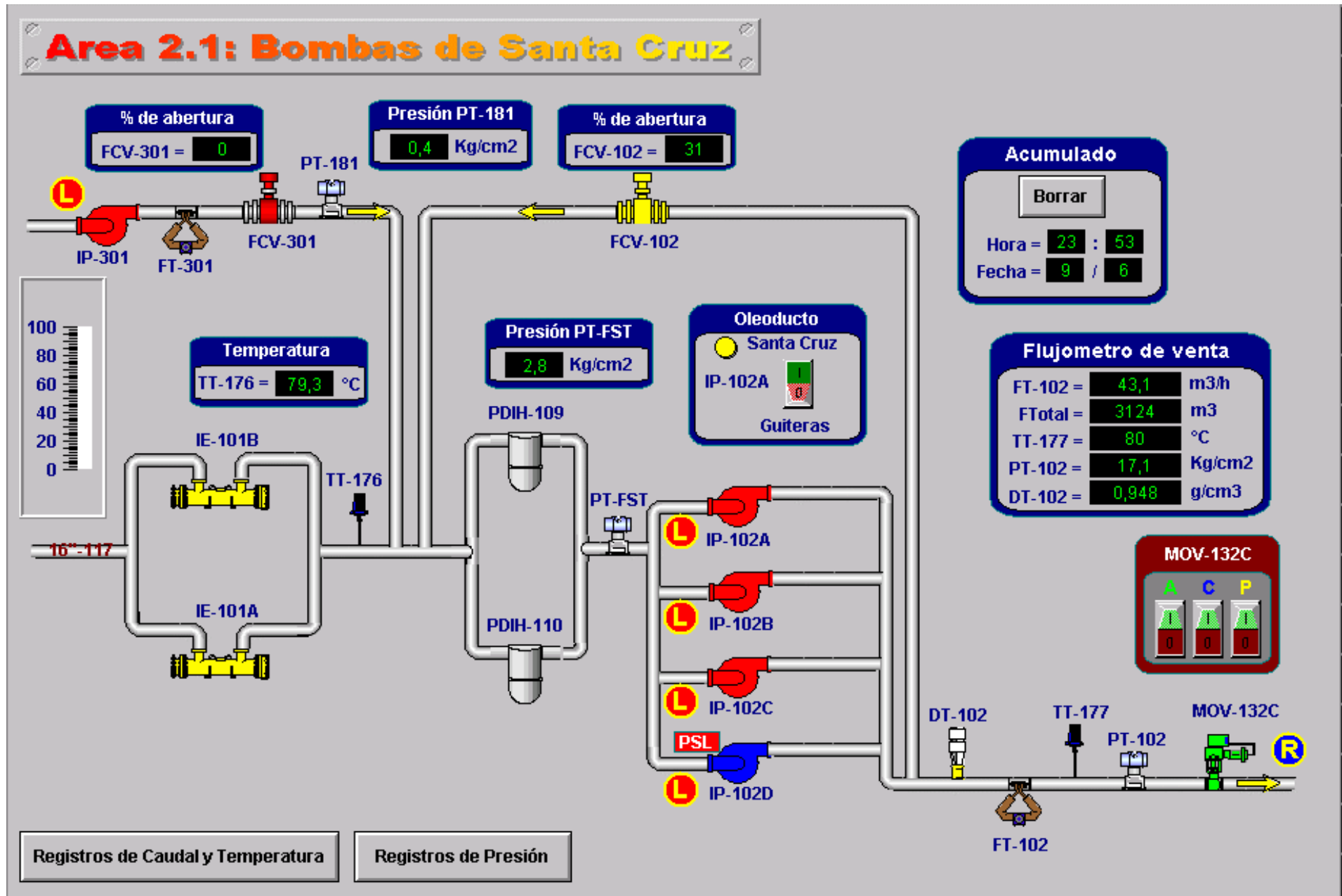
Anexo 1: Diagrama de Flujo del área 2



Anexo 1: Diagrama de Flujo del área 2.1

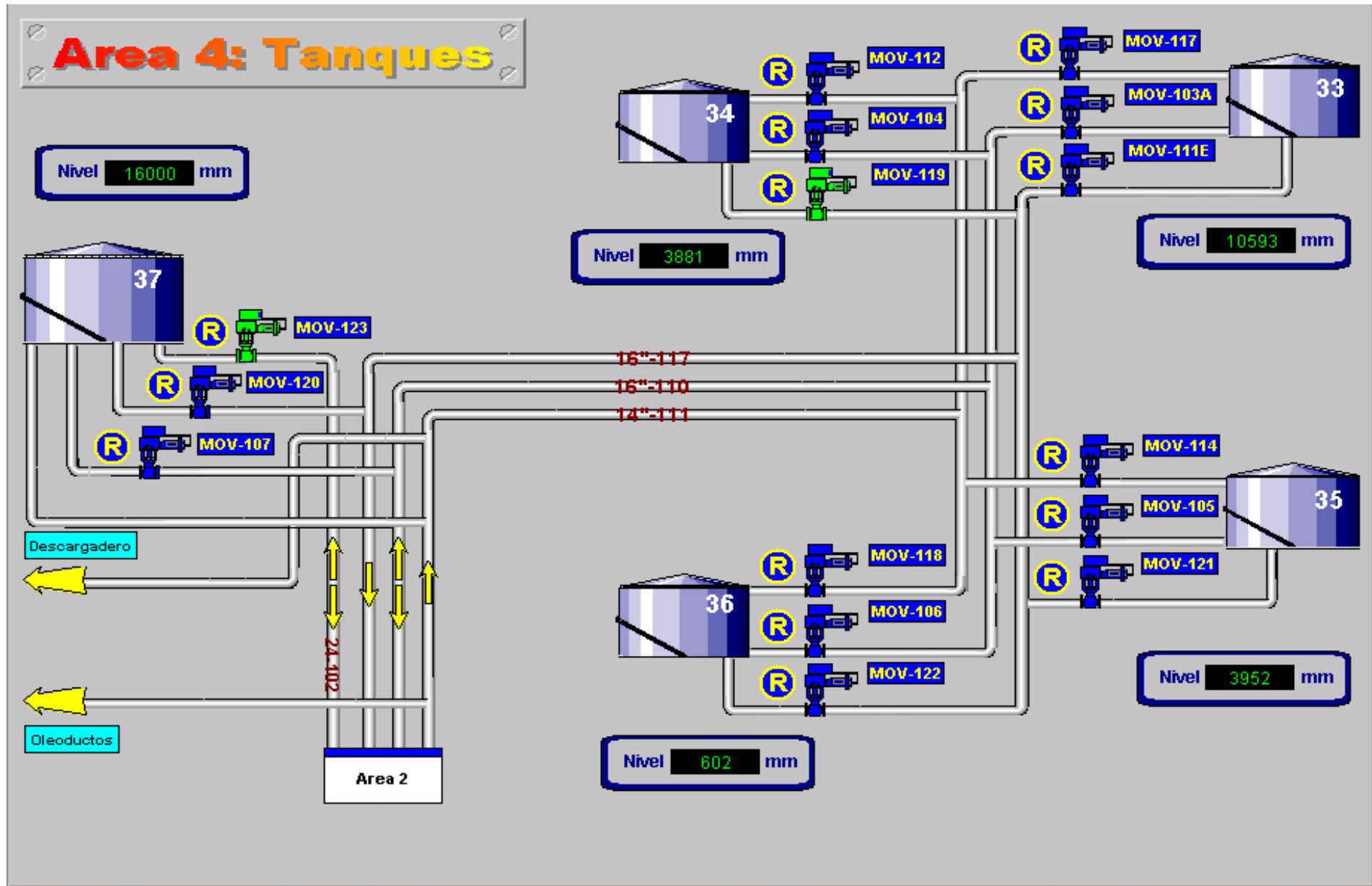


Anexo 1: Diagrama de Flujo del área 2.1

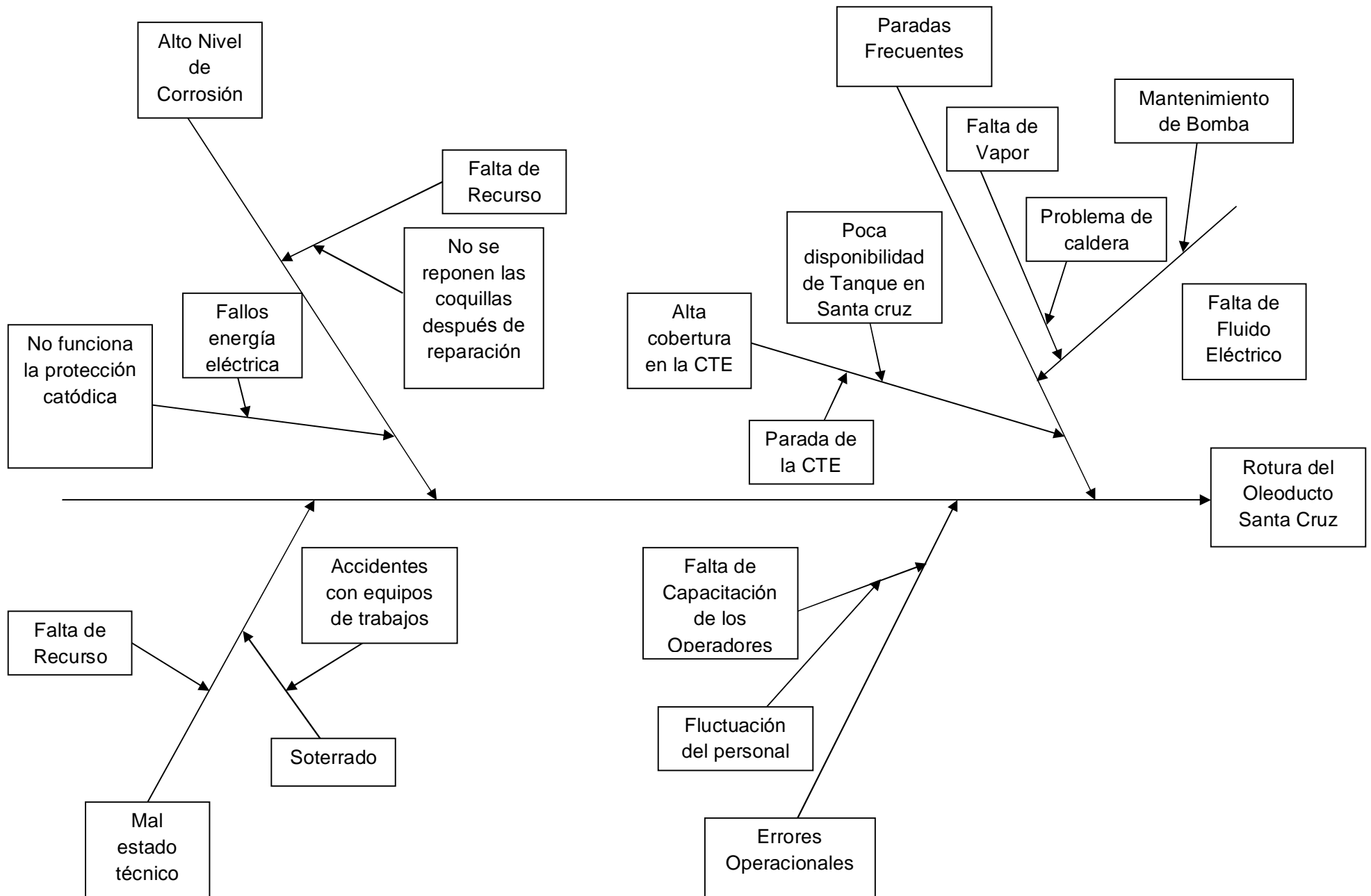




Anexo 1: Diagrama de Flujo del área 4



## Anexo 2: Diagrama Causa - Efecto



### Anexo 3: Presiones de Ruptura del Oleoducto

Presión 2009	Presión 2010	Presión 2011
41	29	17.3
32.6	26	18
31	24.7	18.2
21.48	27	18.7
25.6	20.5	19
	28	18
	20	19.2
	22	19
		17.5
		19

## Anexo 4: Análisis Estadístico

### Resumen Estadístico para presión 2009

Frecuencia = 5

Media = 30.336

Varianza = 55.0365

Desviación típica = 7.41866

Mínimo = 21.48

Máximo = 41.0

Rango = 19.52

Asimetría tipi. = 0.394829

Curtosis típicada = 0.0428286

Coef. de variación = 24.455%

El StatAdvisor

-----

Esta tabla muestra el resumen estadístico para presión 2009. Incluye las medidas de tendencia central, medidas de variabilidad, y medidas de forma. De particular interés están los coeficientes de asimetría y curtosis estandarizados que pueden utilizarse para determinar si la muestra procede de una distribución normal. Los valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican alejamiento significativo de normalidad que tendería a invalidar cualquier test estadístico con respecto a la desviación normal. En este caso, el valor del coeficiente de asimetría estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

El valor del coeficiente de curtosis estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

## Prueba de normalidad

### Contraste Chi-cuadrado

---

Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-cuadrado
menor o igual	30.336	2	2.50	0.10
mayor	30.336	3	2.50	0.10

---

Datos insuficientes para efectuar el contraste de chi-cuadrado.

Estadístico DMAS de Kolmogorov = 0.180114

Estadístico DMENOS de Kolmogorov = 0.135662

Estadístico DN global de Kolmogorov = 0.180114

P-Valor aproximado = 0.996903

Estadístico EDF	Valor	Forma Modificada	P-Valor
-----------------	-------	------------------	---------

---

Kolmogorov-Smirnov D	0.180114	0.469413	>=0.10*
----------------------	----------	----------	---------

Anderson-Darling A^2	0.181444	0.224991	0.8215*
----------------------	----------	----------	---------

Kolmogorov-Smirnov D	0.180114	0.469413	>=0.10*
----------------------	----------	----------	---------

Anderson-Darling A^2	0.181444	0.224991	0.8215*
----------------------	----------	----------	---------

---

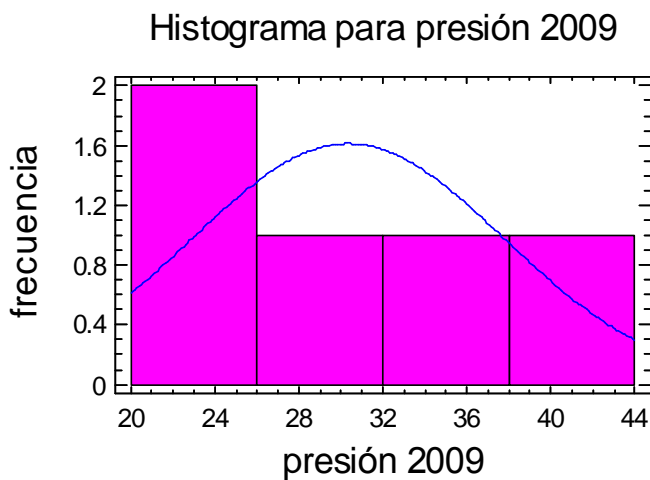
\*Indica que el p-valor se ha comparado con las tablas de valores críticos especialmente construido para el ajuste de la distribución actualmente seleccionada. Otros p-valores están basados en tablas generales y pueden ser muy conservadores.

El StatAdvisor

-----

Esta ventana muestra los resultados de los test ejecutados para determinar si presión 2009 puede ser modelado adecuadamente por distribución normal. El test chi-cuadrado no se ha ejecutado porque el número de observaciones era demasiado pequeño.

Dado que p-valor más pequeño de los test realizados es superior o igual a 0.10, no podemos rechazar que presión 2009 proceda de una distribución normal con un nivel de confianza de al menos un 90%.



### Prueba de Hipótesis

-----

Media de la Muestra = 30.33

Desviación Típica de la Muestra = 7.41

Tamaño de la Muestra = 5

95.0% inferior límite de confianza para la media: 30.33 - 7.06465 [23.2654]

Hipótesis Nula: media = 20.0

Alternativa: mayor que

Estadístico t calculado = 3.11722

p-Valor = 0.0178109

Rechazar la hipótesis nula para  $\alpha = 0.05$ .

El StatAdvisor

-----

Este análisis muestra los resultados de realizar el contraste de hipótesis referente a la media de una distribución normal. Las dos hipótesis a considerar son:

Hipótesis Nula:  $\mu = < 20.0$

Hipótesis Alternativa:  $\mu > 20.0$

Dada una muestra de 5 observaciones con una media de 30.33 y una desviación típica de 7.41, el estadístico t calculado es igual a 3.11722. Puesto que el p-valor para el test es inferior a 0.05, la

hipótesis nula se rechaza para el 95.0% de nivel de confianza. Los límites de confianza muestran que los valores de  $\mu$  soportado por los datos son superiores o iguales a 23.2654.

#### **Resumen Estadístico para presión 2010**

Frecuencia = 8

Media = 24.65

Varianza = 11.9086

Desviación típica = 3.45088

Mínimo = 20.0

Máximo = 29.0

Rango = 9.0

Asimetría tipi. = -0.295867

Curtosis típicada = -0.970762

Coef. de variación = 13.9995%

El StatAdvisor

-----

Esta tabla muestra el resumen estadístico para presión 2010. Incluye las medidas de tendencia central, medidas de variabilidad, y medidas de forma. De particular interés están los coeficientes de asimetría y curtosis estandarizados que pueden utilizarse para determinar si la muestra procede de una distribución normal. Los valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican alejamiento significativo de normalidad que tendería a invalidar cualquier test estadístico con respecto a la desviación normal. En este caso, el valor del coeficiente de asimetría estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

El valor del coeficiente de curtosis estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

### Prueba de Normalidad para presión 2010

#### Contraste Chi-cuadrado

-----

Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-cuadrado
menor o igual	23.7757	3	3.20	0.01
mayor	23.7757	5	4.80	0.01

-----

Datos insuficientes para efectuar el contraste de chi-cuadrado.

Estadístico DMAS de Kolmogorov = 0.153734

Estadístico DMENOS de Kolmogorov = 0.152179

Estadístico DN global de Kolmogorov = 0.153734

P-Valor aproximado = 0.991547



Estadístico EDF Valor Forma Modificada P-Valor

-----

Kolmogorov-Smirnov D	0.153734	0.479488	$\geq 0.10^*$
Anderson-Darling A <sup>2</sup>	0.288586	0.325787	0.5216*

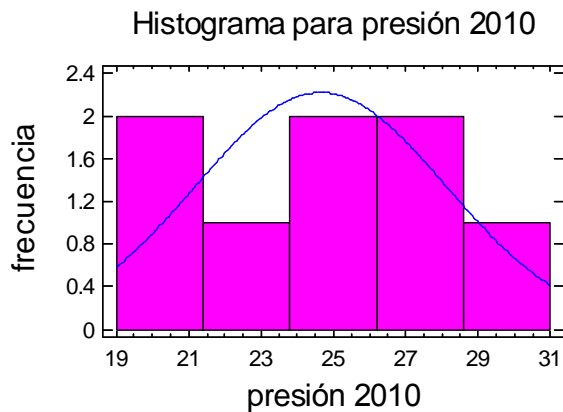
-----

\*Indica que el p-valor se ha comparado con las tablas de valores críticos especialmente construido para el ajuste de la distribución actualmente seleccionada. Otros p-valores están basados en tablas generales y pueden ser muy conservadores.

El StatAdvisor

-----

Esta ventana muestra los resultados de los tests ejecutados para determinar si presión 2010 puede ser modelado adecuadamente por distribución normal. El test chi-cuadrado no se ha ejecutado porque el número de observaciones era demasiado pequeño. Dado que p-valor más pequeño de los tests realizados es superior o igual a 0.10, no podemos rechazar que presión 2010 proceda de una distribución normal con un nivel de confianza de al menos un 90%.



Prueba de Hipótesis

-----

Media de la Muestra = 24.65

Desviación Típica de la Muestra = 3.45

Tamaño de la Muestra = 8

95.0% inferior límite de confianza para la media: 24.65 - 2.31094 [22.3391]

Hipótesis Nula: media  $\leq$  20.0

Alternativa: mayor que

Estadístico t calculado = 3.81223

p-Valor = 0.00330436

Rechazar la hipótesis nula para  $\alpha = 0.05$ .

El StatAdvisor

-----

Este análisis muestra los resultados de realizar el contraste de hipótesis referente a la media de una distribución normal. Las dos hipótesis a considerar son:

Hipótesis Nula:  $\mu \leq 20.0$

Hipótesis Alternativa:  $\mu > 20.0$

Dada una muestra de 8 observaciones con una media de 24.65 y una desviación típica de 3.45, el estadístico t calculado es igual a 3.81223. Puesto que el p-valor para el test es inferior a 0.05, la

hipótesis nula se rechaza para el 95.0% de nivel de confianza. Los límites de confianza muestran que los valores de  $\mu$  soportado por los datos son superiores o iguales a 22.3391.

### **Resumen estadístico para presión 2011**

Frecuencia = 10

Media = 18.39

Varianza = 0.465444

Desviación típica = 0.682235

Mínimo = 17.3

Máximo = 19.2

Rango = 1.9

Asimetría tipi. = -0.498779

Curtosis típicada = -0.888008

Coef. de variación = 3.70981%

El StatAdvisor

-----

Esta tabla muestra el resumen estadístico para presión 2011. Incluye las medidas de tendencia central, medidas de variabilidad, y medidas de forma. De particular interés están los coeficientes de asimetría y curtosis estandarizados que pueden utilizarse para determinar si la muestra procede de una distribución normal. Los valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican alejamiento significativo de normalidad que tendería a invalidar cualquier test estadístico con respecto a la desviación normal. En este caso, el valor del coeficiente de asimetría estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

El valor del coeficiente de curtosis estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

#### **Prueba de Normalidad para presión 2011**

Contraste Chi-cuadrado

-----

Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-cuadrado
menor o igual	18.2172	5	4.00	0.25
mayor	18.5628	5	4.00	0.25

-----

Datos insuficientes para efectuar el contraste de chi-cuadrado.

Estadístico DMAS de Kolmogorov = 0.117559

Estadístico DMENOS de Kolmogorov = 0.214372

Estadístico DN global de Kolmogorov = 0.214372

P-Valor aproximado = 0.747634

Estadístico EDF	Valor	Forma Modificada	P-Valor
-----------------	-------	------------------	---------

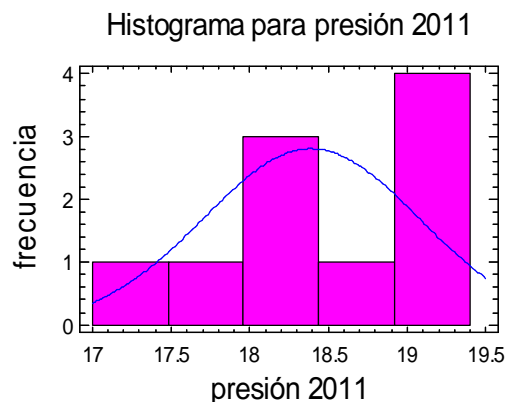
Kolmogorov-Smirnov D	0.214372	0.733382	>=0.10*
----------------------	----------	----------	---------

Anderson-Darling A^2	0.455018	0.499382	0.2094*
----------------------	----------	----------	---------

\*Indica que el p-valor se ha comparado con las tablas de valores críticos especialmente construido para el ajuste de la distribución actualmente seleccionada. Otros p-valores están basados en tablas generales y pueden ser muy conservadores.

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de los test ejecutados para determinar si presión 2011 puede ser modelado adecuadamente por distribución normal. El test chi-cuadrado no se ha ejecutado porque el número de observaciones era demasiado pequeño. Dado que p-valor más pequeño de los test realizados es superior o igual a 0.10, no podemos rechazar que presión 2011 proceda de una distribución normal con un nivel de confianza de al menos un 90%.



## Prueba de Hipótesis

-----

Media de la Muestra = 18.39

Desviación Típica de la Muestra = 0.68

Tamaño de la Muestra = 10

95.0% superior límite de confianza para la media:  $18.39 + 0.394184$  [18.7842]

Hipótesis Nula:  $\mu \Rightarrow 20.0$

Alternativa: menor que

Estadístico t calculado = -7.48716

p-Valor = 0.0000187143

Rechazar la hipótesis nula para  $\alpha = 0.05$ .

## El StatAdvisor

-----

Este análisis muestra los resultados de realizar el contraste de hipótesis referente a la media de una distribución normal. Las dos hipótesis a considerar son:

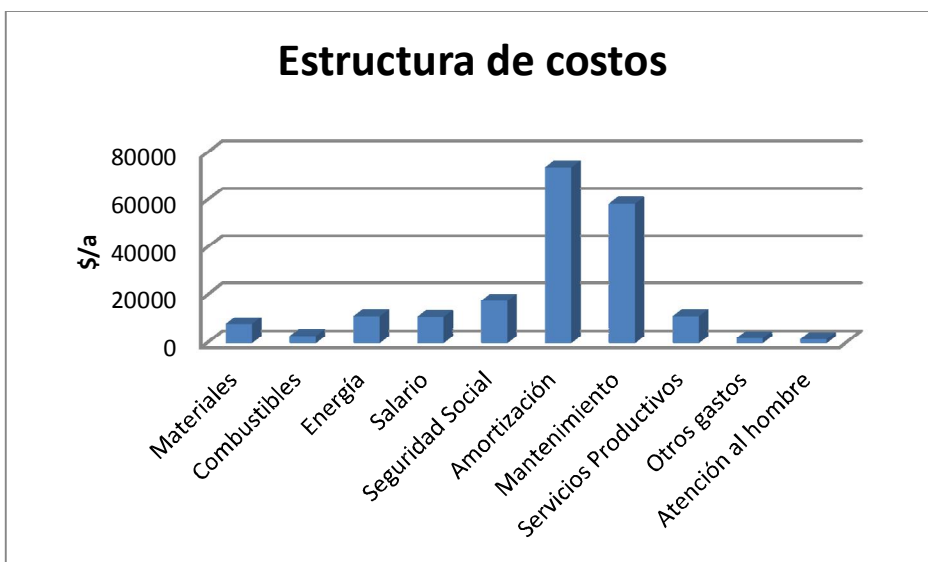
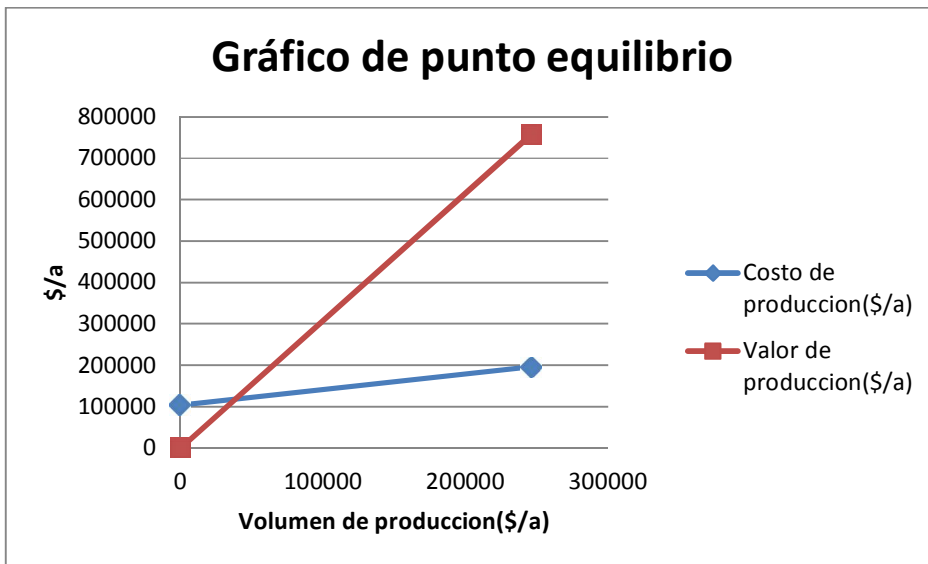
Hipótesis Nula:  $\mu \Rightarrow 20.0$

Hipótesis Alternativa:  $\mu < 20.0$

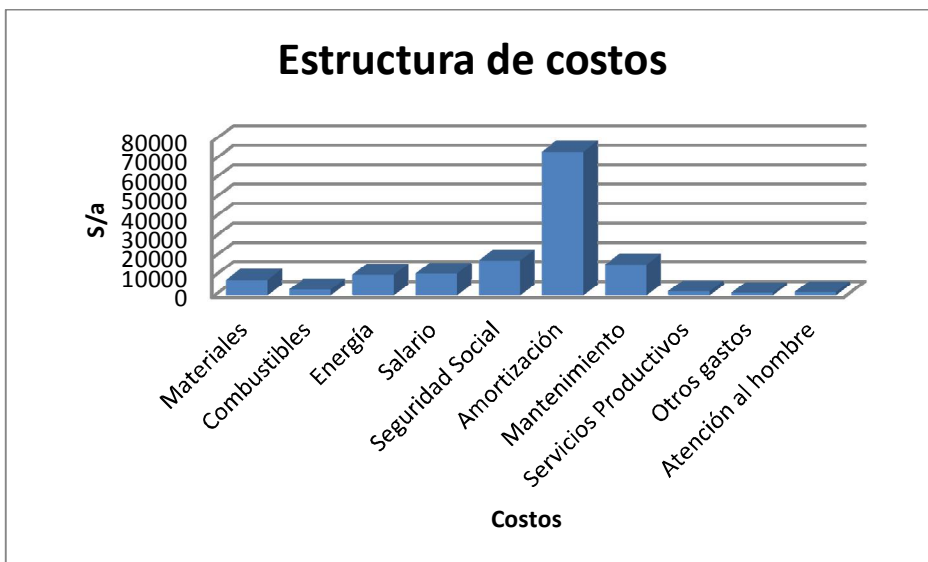
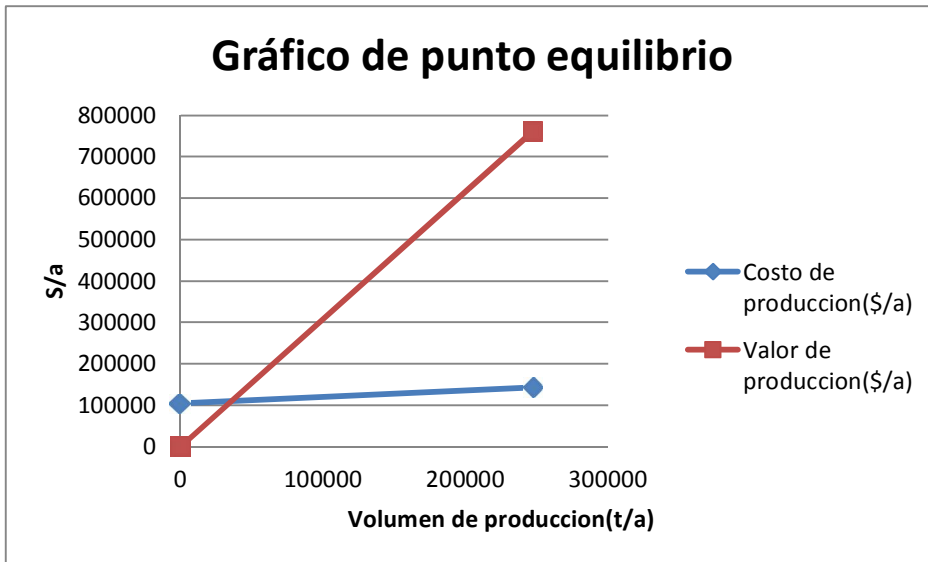
Dada una muestra de 10 observaciones con una media de 18.39 y una desviación típica de 0.68, el estadístico t calculado es igual a -7.48716. Puesto que el p-valor para el test es inferior a 0.05, la

hipótesis nula se rechaza para el 95.0% de nivel de confianza. Los límites de confianza muestran que los valores de  $\mu$  soportados por los datos son inferiores o igual a 18.7842.

## Anexo 5: Gráfica de punto equilibrio y Estructura de costo para Punto 1



## Anexo 6: Gráfico de punto equilibrio y estructura de costo de Punto 2



## Anexo 7: Reseñas Fotográficas



Fig. 1. Acumulación de petróleo producto de una avería.



Fig. 2. Afectaciones en la costa del litoral norte. Bacunayagua.