

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**REDISEÑO DEL SISTEMA DE MANEJO DE GRASAS Y ACEITES EN UNA  
PLANTA PRODUCTORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS PARA  
ANIMALES**

**Realizado por:**

**Arlenis Berenice Castillo Canache**

**Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como  
requisito parcial para optar al Título de INGENIERO QUÍMICO**

**Puerto la Cruz, Mayo de 2011**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**REDISEÑO DEL SISTEMA DE MANEJO DE GRASAS Y ACEITES EN UNA  
PLANTA PRODUCTORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS PARA  
ANIMALES**

**ASESORES**

---

**Ing. Francisco Iturbe  
Asesor Industrial**

---

**Ing. Yraima Salas (M.Sc.)  
Asesor Académico**

**Puerto la Cruz, Mayo de 2011**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**REDISEÑO DEL SISTEMA DE MANEJO DE GRASAS Y ACEITES EN UNA  
PLANTA PRODUCTORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS PARA  
ANIMALES**

**JURADO CALIFICADOR**

---

**Ing. Yraima Salas (M.Sc.)  
Asesor Académico**

---

**Ing. Hernán Raven (M.Sc.)  
Jurado Principal**

---

**Ing. Luis Moreno  
Jurado Principal**

**Puerto la Cruz, Mayo de 2011**

## **RESOLUCIÓN**

***DE ACUERDO AL ARTÍCULO 41 DEL REGLAMENTO DE TRABAJOS DE GRADO:***

***“LOS TRABAJOS DE GRADO SON DE LA EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE Y SÓLO PODRÁN SER UTILIZADOS A OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO RESPECTIVO, EL CUAL LO PARTICIPARÁ AL CONSEJO UNIVERSITARIO”***

## **DEDICATORIA**

A Dios por ser mi guía en todo momento.

A mi madre Helen Y. Canache P. y mi padre Argeni R. Castillo R. que con tanto amor me apoyan en cada uno de mis pasos.

A mis hermanos Argenis Eduardo y Eduardo Rafael; espero que pronto ustedes también alcancen esta gran meta.

A mis amados abuelos, tíos, primos y toda mi querida familia; quienes siempre me han hecho sentir muy apreciada.

A mis amigos y compañeros de la Universidad de Oriente; que ya alcanzaron o están por alcanzar esta preciada meta.

Y por último a aquellas personas que no están físicamente conmigo pero a quienes he llevado en mi corazón y pensamiento desde el momento de su partida; Dios los tenga en su gloria.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por estar siempre a mi lado y darme la fortaleza necesaria para alcanzar esta meta; gracias por todas las bendiciones recibidas!!!

A mis maravillosos padres, por todos los esfuerzos que realizaron para sacarnos adelante a mí y a mis hermanos, por su dedicación y todo el apoyo brindado a lo largo de estos años.

A mis hermanos, gracias por ser una gran compañía a lo largo de mi vida, siempre han sido para mí un motivo para esforzarme más, espero haberles y seguirles dando siempre un buen ejemplo.

A mis abuelos por darme esta gran familia y siempre mantenerla muy unida con el paso de los años.

A cada uno de mis tíos y tías por siempre tratarme como su nena querida, siempre han sido mis ejemplos a seguir.

A toda mi familia por hacerme sentir que cada uno de mis pequeños logros era un gran paso y un orgullo para ustedes, gracias a todos esos momentos de apoyo he podido culminar esta etapa. En especial a mi tía bella Yanira Canache de Castillo; quien me ha consentido como nadie, te quiero muchísimo!!!

A la Universidad de Oriente y cada uno de los profesores que ayudaron en mi formación como profesional, Muchas gracias.

A mi asesora académica Ing. Yraima Salas, por guiarme en la realización de este proyecto, gracias por su inmensa colaboración y el tiempo brindado.

A la empresa Alimentos Súper S, C.A., por abrirme sus puertas y permitirme realizar allí las pasantías de grado para la culminación de mi carrera.

A mi asesor industrial Ing. Francisco Iturbe, por los conocimientos compartidos, palabras de apoyo, consejos profesionales y todo el tiempo dedicado a este proyecto, Muchas gracias.

## RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo fue rediseñar el sistema de manejo de grasas y aceites de la planta productora de alimentos balanceados para animales Súper S, C.A. El rediseño consistió en adecuar las instalaciones de la planta a las necesidades existentes en cuanto a preparación de diferentes mezclas formuladas de fluidos grasos y el procesamiento rápido de alimentos con diferentes requerimientos de dichos fluidos. Para cumplir con el objetivo planteado se realizaron diversos recorridos por el patio de tanques y se consultó al personal operativo para conocer las características actuales del sistema; a partir de la información recolectada se establecieron los parámetros de un tanque con agitación tipo balanza y los controles automáticos para el sistema de mezclado, se diseñó una nueva red de tuberías que distribuya los fluidos hacia el tanque de mezcla y el área interna de planta. Luego se caracterizaron las líneas de calentamiento de dichas tuberías para adecuarlas a las necesidades del sistema propuesto, además se programaron tres hojas de cálculos que permitieran el control y seguimiento operacional del sistema y por último se estudiaron los costos de la implementación del rediseño. El agitador seleccionado para el sistema fue de tipo propela con entrada lateral en el fondo del tanque, mientras que el control de la cantidad de fluidos grasos a pesar se realizó con sensores de movimientos tipo celdas de carga por tensión. Para el nuevo diseño fueron necesarios 40m de tuberías de 2" y 27m de tuberías de 3" y la bomba a instalar para el llenado del tanque debe tener un caudal de 80GPM que corresponde al modelo Viking KK.

## CONTENIDO

	pág.
<b>RESOLUCIÓN</b> .....	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>VI</b>
<b>RESUMEN</b> VII	
<b>CONTENIDO</b> .....	<b>VIII</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XII</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Presentación de la empresa.....	<b>1</b>
1.1.1. Historia y función.....	1
1.1.2. Funcionamiento de la planta .....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	<b>2</b>
1.3. Objetivos.....	<b>5</b>
1.3.1. Objetivo general .....	5
1.3.2. Objetivos específicos .....	5
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>7</b>
2.1. Antecedentes.....	<b>7</b>
2.2. Procesamiento de alimentos balanceados para animales.....	<b>9</b>
2.2.1. Recepción de materia prima .....	9
2.2.2. Secado de cereales.....	9
2.2.3. Molienda .....	10
2.2.4. Dosificación .....	10
2.2.5. Mezclado .....	11
2.2.6. Acondicionamiento .....	11
2.2.7. Granulación .....	12
2.2.8. Enfriamiento .....	12
2.2.9. Desmoronamiento .....	13
2.2.10. Tamizado.....	13
2.2.11. Recubrimiento de grasa .....	13
2.3. Grasas y aceites.....	<b>14</b>
2.3.1. Utilización de las grasas y aceites en los alimentos balanceados para animales .....	14
2.3.2. Tipos de grasas y aceites para la alimentación animal .....	15
2.3.3. Calidad de grasas y aceites .....	15
2.3.4. Grasas dosificadas en la planta .....	17
2.4. Agitación y mezcla de fluidos .....	<b>18</b>
2.4.1. Equipo de agitación.....	19

2.4.2. Patrones de flujo .....	20
2.4.3. Prevención de formación de vórtices .....	21
2.4.4. Selección del agitador e intervalos de viscosidades.....	22
2.4.5. Parámetros operacionales .....	22
2.5. Instrumentación y control .....	<b>23</b>
2.5.1. Instrumentación de un sistema de control automático.....	24
2.5.2. Control por computadora.....	25
2.6. Aspectos generales sobre cálculos hidráulicos en tuberías .....	<b>26</b>
2.6.1. Flujo en tuberías: laminar y turbulento.....	26
2.6.2. Teorema de Bernoulli .....	27
2.6.3. Pérdidas de carga en tuberías (pérdidas primarias).....	28
2.6.4. Factor de fricción de Darcy .....	28
2.6.5. Pérdidas en accesorios (pérdidas secundarias).....	29
2.7. Aspectos generales de la transferencia de calor .....	<b>29</b>
2.7.1. Mecanismo de transferencia de calor .....	29
2.7.2. Sistema de calefacción y traceado de vapor de tuberías .....	31
2.8. Estudio económico .....	<b>32</b>
2.8.1. Costos de inversión.....	<b>32</b>
<b>CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO.....</b>	<b>33</b>
3.1. Elaboración del diagrama de flujo de proceso (DFP) y el diagrama tubería e instrumentación (DTI) del sistema actual.....	<b>33</b>
3.1.1. Cálculo del volumen de los tanques .....	36
3.1.2. Determinación de las características de las bombas.....	38
3.1.3. Identificación de equipos.....	38
3.1.4. Caracterización de las líneas de tuberías .....	38
3.2. Establecimiento de los parámetros de diseño y controles automáticos necesarios en un tanque de mezclado .....	<b>39</b>
3.2.1. Selección de agitador y parámetros para el mezclado .....	39
3.2.2. Diseño del sistema de pesado y de la estructura para mezclado .....	44
3.2.3. Elaboración de la lógica de control del sistema de mezclado .....	50
3.3. Diseño de una nueva red de tuberías para la distribución de grasas y aceites hacia el tanque de mezclado y el área interna de planta (dosificador de grasa y mezcladora).....	<b>51</b>
3.3.1. Selección de nueva red de tubería para la distribución de grasas y aceites.....	51
3.3.2. Determinación de longitudes de la nueva red de tuberías.....	53
3.3.3. Selección de la bomba para llenado del tanque y cálculos hidráulicos para la nueva red de tuberías .....	57
3.4. Adecuación de las líneas de calentamiento a las necesidades del sistema de manejo de grasas y aceites propuesto .....	<b>63</b>

3.4.1. Caracterización del sistema de vapor actual .....	63
3.4.2. Determinación de las necesidades teóricas de vapor para calentamiento.....	65
3.4.3. Diseño de las nuevas líneas de calentamiento para el sistema de grasas y aceites propuesto .....	70
3.5. Desarrollo de una base de cálculo computarizada que permita el control y seguimiento operacional del sistema.....	<b>70</b>
3.5.1. Control de tanques de almacenamiento .....	70
3.5.2. Actualización de materia prima .....	70
3.5.3. Control de tanque de mezcla .....	71
3.6. Estudio de los costos de la implementación del rediseño en el sistema .....	<b>72</b>
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>73</b>
4.1. Discusión de resultados .....	<b>73</b>
4.1.1. Elaboración del diagrama de flujo de proceso (DFP) y el diagrama de tubería e instrumentación (DTI) del sistema actual.....	73
4.1.2. Establecimiento de los parámetros de diseño y controles automáticos necesarios en un tanque de mezclado.....	76
4.1.3. Diseño de una nueva red de tuberías para la distribución de grasas y aceites hacia el tanque de mezclado y el área interna de planta (dosificador de grasa y mezcladora).....	90
4.1.4. Adecuación de las líneas de calentamiento a las necesidades del sistema de manejo de grasas y aceites propuesto .....	96
4.1.5. Desarrollo de una base de cálculo computarizada que permita el control y seguimiento operacional del sistema .....	99
4.1.6. Estudio de los costos de la implementación del rediseño en el sistema .....	102
4.2. Conclusiones.....	<b>104</b>
4.3. Recomendaciones.....	<b>105</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>106</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Dimensiones de los tanques cilíndricos para el almacenamiento de grasas y aceites .....	34
Tabla 3.2. Dimensiones de los tanques cónicos para el almacenamiento de grasas y aceites .....	34
Tabla 3.3. Dimensiones de los filtros del sistema .....	34
Tabla 3.4. Características del agitador del taque de dilución de melaza .....	34
Tabla 3.6. Propiedades fisicoquímicas de los fluidos grasos manejados en el sistema .....	35
Tabla 3.7. Características del agitador tipo propela y tipo turbina, para la selección final del equipo a utilizar .....	41
Tabla 3.8. Ángulos de ataque del agitador, según relación H/D del tanque (INOXPA, S.A., 2006) .....	43
Tabla 3.9. Parámetros de operación del agitador según capacidades del tanque (INOXPA, S.A., 2006) .....	43
Tabla 3.10. Valores normalizados para dimensiones de agitadores laterales de fondo (INOXPA, S.A., 2006) .....	44
Tabla 3.11. Ventajas y desventajas de las propuestas diseñadas para la nueva red de tuberías.....	52
Tabla 3.12. Tamaño y capacidad promedia de las bombas Viking .....	58
Tabla 3.13. Parámetros que influyen en la presión de las válvulas.....	59
Tabla 3.14. Inventario de accesorio y longitudes para el cálculo de presiones.....	61
Tabla 3.15. Coeficiente de pérdidas en accesorios para la línea de oleína .....	61
Tabla 3.16. Parámetros del vapor utilizado para el calentamiento en sistema de grasas y aceites .....	64
Tabla 4.1. Volúmenes de los tanques presentes en el sistema .....	73
Tabla 4.2. Código de identificación de los equipos del sistema actual .....	74
Tabla 4.3. Longitudes de cada línea de tubería .....	92
Tabla 4.4. Accesorios nuevos necesarios para cada línea de tubería .....	93
Tabla 4.5. Velocidades, Número de Reynolds, factor de fricción, coeficientes de pérdidas por accesorios y pérdidas totales en tuberías para cada línea de fluido	95
Tabla 4.6. Presiones a soportar por las válvulas, con y sin descarga de producto .....	95
Tabla 4.9. Costos de los materiales, equipos y accesorios recomendados para el rediseño del sistema.....	102

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Rango de viscosidades para agitadores (Ansó, Barge, & Demming, 2004)	22
Figura 3.1. Diagrama de medidas del tanque de almacenamiento de grasa	37
Figura 3.2. Configuraciones para el montaje de los sensores de peso	49
Figura 3.5. Propuesta N°1 para el diseño de la nueva red de tuberías	54
Figura 3.6. Propuesta N°2 para el diseño de la nueva red de tuberías	55
Figura 3.7. Propuesta N°3 para el diseño de la nueva red de tuberías	56
Figura 3.8. Referencia utilizada en el cálculo de presiones para el tanque de Oleína vegetal	58
Figura 3.9. Sistema actual de calentamiento	65
Figura 3.10. Tubería de vapor acompañante con ángulo selectivo de calentamiento	68
Figura 4.1. Diagrama de flujo de proceso del sistema actual	78
Figura 4.2. Diagrama de tubería e instrumentación del sistema actual	79
Figura 4.3. Tanque de mezclado con sistema de agitación instalado	83
Figura 4.4. Montaje seleccionado para la instalación de las celdas de carga	84
Figura 4.5. Estructura soporte para el tanque de mezclado tipo balanza	86
Figura 4.6. Diagrama de sistema de control propuesto	87
Figura 4.7. Interface propuesta para el monitoreo y control automático de la mezcla	89
Figura 4.8. Diagrama para la determinación de longitudes de la nueva red de tuberías	97
Figura 4.9. Propuesta para un sistema de calentamiento adecuado a la nueva red tuberías de grasas y aceites	100

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Presentación de la empresa

#### 1.1.1. Historia y función

Alimentos Súper S, C.A. Barcelona, es una planta de alimentos balanceados para consumo animal que procesa productos calificados para cerdos, aves y ganado; comienza su funcionamiento en 1985 como proyecto de diversificación de la empresa Molinos Nacionales, C.A. (MONACA) y en 1999 pasa a formar parte del Grupo La Caridad, se encuentra ubicada en la Zona industrial Los Montones en la 3era etapa, parcelas 42 y 43, municipio Simón Bolívar, estado Anzoátegui.

Su función principal es producción y comercialización de alimentos balanceados para una gran variedad animales, que aseguren un crecimiento rápido, el cual no podría ser obtenido con alimentos no balanceados. En la planta Súper S, C.A. los alimentos son producidos en forma de harinas, gránulos y semigránulos; para la producción de los gránulos y semigránulos se emplea una técnica llamada granulación o pelletización, que consiste en la compactación de mezclas de ingredientes en forma de harinas para formar unos granos de forma cilíndrica llamados *pellets*.

En la elaboración de estos alimentos se emplean cereales como el maíz y el sorgo en grandes cantidades, harinas, grasas, aceites, vitaminas, agua y otros. Durante todo el año se utilizan distintas fórmulas para un solo tipo de alimento, dependiendo del tiempo de cosecha de muchos cereales y la disponibilidad de la materia prima.

### **1.1.2. Funcionamiento de la planta**

El proceso de fabricación comienza con la recepción de las materias primas, en caso de que sean cereales dependiendo del grado de humedad con que se reciban pasan al secado, cuando éstos están en el nivel deseado son sometidos al proceso de molienda para producir harinas con una óptima textura y posteriormente ser mezclados con otras materias primas mediante las formulas balanceadas, hasta obtener una correcta homogenización. El material logrado hasta este punto, en algunos casos, resulta en el alimento final fabricado. Sin embargo; generalmente, el producto en forma de harina no es adecuado, de manera que se comprime bajo condiciones especiales para formar gránulos, los cuales se presentan como medio efectivo para suministrar el alimento a los animales.

Los pellets son obtenidos luego del mezclado por compactación o prensado de la mezcla a través de las aberturas de una matriz o molde, estos gránulos serán cómodamente ingeridos por el animal para de esta manera obtener los nutrientes balanceados necesarios. Una vez concluido la producción del alimento, el despacho puede ser a granel o en sacos.

### **1.2. Planteamiento del problema**

Los alimentos balanceados procesados en Súper S, C.A. son mezclas homogéneas de varios ingredientes, formulados en cantidad y proporción para satisfacer en lo posible todas las necesidades alimenticias y nutricionales de una especie animal. El proceso de elaboración de dichos alimentos consta de varias etapas: recepción y almacenamiento de materia prima, secado o acondicionamiento de cereales, molienda, pesaje, mezclado, dosificación de grasas y aceites, pelletizado, enfriamiento y empaque.

Para lograr un verdadero alimento balanceado y no una simple mezcla de ingredientes son muchas las consideraciones y controles que hay que

tomar en cuenta a lo largo del proceso productivo. Una de las principales etapas a controlar es la dosificación de grasas y aceites, ya que estas materias primas representan la principal fuente de energía en los alimentos y tienen numerosos efectos positivos sobre la productividad animal. Los fluidos grasos empleados en Súper S, C.A., según las necesidades nutricionales de cada animal son la oleína vegetal, grasa amarilla, sebo animal y aceite de soja; éstos antes de ser dosificados primero pasan por un sistema donde se realiza su recepción, filtrado, almacenamiento y finalmente su distribución hacia el área deseada.

La dosificación de los fluidos grasos se realiza según los requerimientos formulados del producto final, en el caso de alimentos con textura en polvo o harina se realiza directamente en la etapa del mezclado. En los alimentos en gránulos o *pellets* y semigránulos la dosificación depende del porcentaje final de grasas y aceites, si el alimento lleva menos de 2% se realiza igualmente por la mezcladora y en caso de necesitar más de 2% se agregaran post-pelletizado; a través de un dosificador también llamado *Coater*. Esta metodología de trabajo se debe a que la adición de grandes cantidades de grasas y aceites antes del pelletizado pueden afectar tanto la calidad del gránulo como el funcionamiento adecuado de los equipos del proceso; agregar muchos fluidos grasos antes del proceso de pelletizado produce gránulos menos densos y sólidos, ya que se forma una capa de grasa en la superficie de las partículas y los ingredientes en la fase de acondicionamiento no absorben el vapor necesario para romper las células que contienen almidón (gelatinización) por lo cual la materia pierde la capacidad de mantener la forma en la cual ha sido prensada, un exceso de grasa también puede ocasionar la formación de trozos de masas o bolas que tienden a adherirse en los equipos, elementos de transporte, contenedores, etc.

La cantidad y variedad de productos elaborados en la planta han variado con el paso de los años, haciendo necesario un proceso productivo más rápido; debido a la disponibilidad de la materia prima nacional se han creado nuevas formulaciones de alimentos balanceados, las cuales requieren de la mezcla de diferentes tipos de grasas y aceites. Actualmente la planta no cuenta con un sistema que permita pesar y mezclar éstos fluidos lo que hace difícil la preparación de las diferentes mezclas formuladas, hasta ahora la elaboración de dichas mezclas se realiza de manera manual siendo las cantidades agregadas muy inexactas; cabe destacar que la mezcla final obtenida no es homogénea por lo que el paso de cada grasa hacia el dosificador se lleva a cabo casi por separado. Otra característica del sistema en funcionamiento es que posee una sola línea de tubería que conecta los tanques de almacenamiento con las bombas que distribuyen los fluidos hacia la mezcladora y el dosificador, al estar vinculada una sola tubería con las dos bombas se hace imposible el procesamiento al mismo tiempo de dos alimentos con diferentes formulaciones en cuanto a productos grasos, lo que hace necesario esperar a que un alimento esté completamente terminado para poder enviar otra grasa y/o aceite hacia planta y empezar la elaboración de un nuevo alimento balanceado.

Por otro lado, en todo sistema para grasa y aceites debe existir un sistema de calefacción a fin de que el producto manejado se mantenga líquido y homogéneo, el sistema de calentamiento existente en Súper S, C.A. no cumple totalmente con este objetivo, en algunos puntos las líneas actuales de vapor no satisfacen las necesidades de calentamiento por lo cual los fluidos manejados tienden a solidificarse y se dificulta su distribución.

A causa de éstos inconvenientes se genera una disminución no sólo en la velocidad de producción sino también en la calidad de los productos terminados; ante esta problemática en el presente trabajo se realizó un rediseño en el sistema de manejo de grasas y aceites para adecuar las

instalaciones de la planta a las necesidades de producción. Para lograr este objetivo se establecieron parámetros de diseño y controles automáticos de un tanque de mezclado, se diseñó una nueva red de tuberías que distribuya los fluidos hacia el tanque de mezcla y el área interna de planta, luego se adecuaron las líneas de calentamiento de dichas tuberías a las necesidades del sistema propuesto, además se desarrolló una base de cálculo computarizada que permita el control y seguimiento operacional del sistema y por último se estudiaron los costos de la implementación del rediseño.

El rediseño en el sistema permite una dosificación más controlada y un aprovechamiento de las numerosas ventajas que ofrecen las grasas y aceites; también ayuda a disminuir las pérdidas de tiempo en el proceso de producción, garantiza la calidad del producto terminado, evita consumos energéticos innecesarios y ahorra una serie de gastos relacionados con el reproceso de productos fuera de especificación.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Rediseñar el sistema de manejo de grasas y aceites en la planta productora de alimentos balanceados para animales Súper S, C.A. ubicada en Barcelona- Edo. Anzoátegui.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

1. Elaborar el diagrama de flujo de proceso (DFP) y el diagrama de tubería e instrumentación (DTI) del sistema actual.
2. Establecer los parámetros de diseño y controles automáticos necesarios en un tanque de mezclado.

3. Diseñar una nueva red de tuberías para la distribución de grasas y aceites hacia el tanque de mezclado y el área interna de planta (dosificador de grasa y mezcladora).
4. Adecuar las líneas de calentamiento a las necesidades del sistema de manejo de grasas y aceites propuesto.
5. Desarrollar una base de cálculo computarizada que permita el control y seguimiento operacional del sistema.
6. Estudiar los costos de la implementación del rediseño en el sistema.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

Inaquiza (2010), llevó a cabo un diseño, construcción y prueba de un sistema de agitación para el mezclado de pinturas líquidas para la línea arquitectónica de la empresa La Magia del Color de la ciudad de Riobamba provincia del Chimborazo- Ecuador. El propósito era mezclar homogéneamente pintura, consideró la carga máxima tanto del tarro de pintura (20 litros), como los elementos que constituyen el gabinete de mezclado, de ésta manera se seleccionó los elementos necesarios, tanto para diseño como la construcción. El sistema de agitación para el mezclado de pintura líquida final fue el más adecuado, considerando que debe tener dos movimientos específicos a la vez y un sistema de control de tiempo.

Sarcos (2009), realizó una reconstrucción mecánica del sistema de agitación del tanque de mezcla (Blonger), 2 etapas para desmenuzación de sílice, pendespato y caolines. La habilitación del sistema de agitación la realizó con la finalidad de proporcionar una mayor cantidad de pasta mezclada y agitada, la misma que pasa por el sistema de tamizado y luego por medio de bombas neumáticas es enviada a las máquinas que contienen moldes utilizados para el llenado. El estudio resalta los materiales y maquinaria a utilizarse en una mezcla o agitación, así como una reseña de los tipos de agitadores existentes y los flujos producidos.

Núñez y Sánchez (2009), diseñaron e implementaron un sistema automático para permitir la elaboración y dosificación de lodos para fabricar pinturas por medio de una receta ingresada por el usuario. A la arquitectura existente se incorporó un PLC con el cual se desarrolló un programa para

controlar válvulas electro neumáticas, el encendido motores y celdas de carga con su respectivo indicador. La automatización de este sistema, además de proporcionar cierta facilidad para el operador en la fabricación de las pinturas, permitió reducir el tiempo de producción de cinco días a uno o dos días, dependiendo del producto que se fabrique.

Barrera (2008), rediseño el sistema de enfriamiento de las bombas del poliducto de la planta de distribución de combustible Puerto La Cruz; su finalidad era evitar que los volúmenes de los tanques de agua aceitosa fueran superados. El rediseño se inicio con el estudio de los tipos de intercambiadores de calor y seguidamente se hizo un levantamiento isométrico del sistema existente, tomando las medidas de longitud y diámetro de tuberías. Posteriormente determinó las pérdidas por fricción una vez hecha la configuración en circuito cerrado y finalmente estableció la instrumentación necesaria y se elaboraron los planos del sistema rediseñado.

Aguado (2007), rediseño el sistema de tuberías de un tanque pertenecientes a la Refinería Puerto La Cruz para su adecuación en el manejo de diesel. Planteó modificaciones necesarias y las evaluó mediante un simulador PIPEFASE versión 9.0. Los resultados de su evaluación a las modificaciones propuestas en el sistema de tuberías se compararon con los establecidos en la normativa PDVSA N° L-TP1.5 y observó que casi todas las líneas pueden operar con seguridad a las condiciones normales de operación.

Medina (2006), estableció los dispositivos de control automático necesarios para optimizar el proceso de mezcla de los productos que participan en los procesos de dispersión del Caolín, la Preparación de Estuco y Pre-Estuco, para la empresa Cartulina CMPC Valdivia-Chile. Realizó los cálculos necesarios para establecer el dimensionamiento de los estanques para el almacenaje de los productos involucrados y propuso un sistema de

piping para el trasvasije de los productos. Realizó la elección de los dispositivos de control para la optimización del proceso, detallando las características técnicas y funcionales de cada dispositivo.

## **2.2. Procesamiento de alimentos balanceados para animales**

El procesamiento de alimentos para animales se basa en el tratamiento, combinación y mezcla de diferentes materias primas con el fin de satisfacer los requerimientos nutritivos de los animales. A continuación se describen las diferentes etapas necesarias para la producción de alimentos balanceados:

### **2.2.1. Recepción de materia prima**

Las materias primas previamente pesadas en la balanza de recepción y muestreadas son recibidas a través de la tolva de recepción (Nº 061). Posteriormente por medio de los transportadores T-01 y T-02 son desalojadas hacia el elevador E-051. Los cereales son enviados hacia 4 silos verticales (el maíz al Nº 0128 - 0129 y 0136; el sorgo al Nº 0135) y las harinas; afrecho de trigo, harina de maíz, harina de soya y concha de arroz van al silo plano (flat de almacenamiento Nº 062). (Super S, C.A., 1992)

### **2.2.2. Secado de cereales**

Este proceso se aplica sólo al sorgo y maíz húmedo que viene directamente de los productores nacionales. Los cereales luego de ser recibidos en la tolva son transportados por elevador E-051 hasta la prelimpiadora, donde son retiradas las impurezas. El sorgo o el maíz libre de impurezas es enviado a bins <sup>Elevador</sup> de temperos (Nº 130 – 131 – 132) que luego son desalojados por transportadores que alimentan la secadora (Nº0137). El material de la secadora es desalojada por un transportador y enviado al elevador E-058; cuando ya esta acondicionado es enviado a los silos de almacenamiento para su posterior molienda. (Super S, C.A., 1992)

### **2.2.3. Molienda**

Son sometidos a molienda todos los ingredientes en grano, torta, pellet o de textura que no cumpla con las especificaciones de calidad en cuanto a molienda. La principal función de la molienda es reducir el tamaño de las partículas con el propósito de incrementar la digestibilidad de los nutrientes y obtener un tamaño de partícula apropiado para permitir una buena mezcla de la materia prima y favorecer el proceso de granulación.

Los cereales y productos a moler caen dentro de los bins de molienda (Nº 101 – 102 – 133) y luego pasan al molino (Nº 063) donde se van a pulverizar por impacto de los martillos, previamente pasando por imanes con el propósito de separar partículas metálicas. Un transportador desaloja el molino hasta un elevador (E-053) que envía el material hasta los arcones de ingredientes. (Super S, C.A., 1992)

### **2.2.4. Dosificación**

La dosificación es el proceso de pesar o medir las distintas materias primas que componen el alimento, adicionándolo luego al equipo mezclador. Los sistemas empleados dependen del estado físico de la materia prima (sólida o líquida). En el caso de sólidos (harinas, polvos, granulados) se emplean balanzas de precisión y para los líquidos se utilizan boquillas que proyectan el fluido en forma de spray, provistas de sistemas contadores de fluidos, los cuales se encargan de cuantificar la cantidad de líquido agregado. (Los Seibos, 2006)

Para materias primas presentes en grandes porcentajes en la formulación, tales como maíz, sorgo, afrecho de trigo, etc., caen a la tolva balanza a partir de 8 arcones, la correspondiente balanza permite su pesado en un corto período de tiempo. Por otro lado la dosificación de materia prima que entra en la formulación en bajas cantidades, tales como carbonato de calcio y algunas proteínas animales, emplea sistemas y balanzas más

precisas para evitar sobrecarga. Vitaminas, minerales, aminoácidos y otros aditivos son pesados en pequeñas balanzas. (Super S, C.A., 1992)

### **2.2.5. Mezclado**

El propósito principal del proceso de mezclado es homogenizar las diferentes materias primas incluidas en la formulación del alimento. El mezclador es la maquina central de la planta, debido a que su función es mezclar tan uniformemente como sea posible partículas de diferentes tamaños y densidades. Las premezclas provenientes de las diferentes balanzas y tolvas caen a la mezcladora y esta por medio de un transportador es desalojada hasta el elevador E-054. (Super S, C.A., 1992)

Desde este elevador y por medio de un ducto, la mezcla cae por gravedad atravesando un electroimán provisto de un sistema de desmagnetado para realizar una limpieza de las piezas metálicas que pueda contener el alimento; luego sigue por gravedad atravesando el cernidor 070 (*ROTEX 70*), el cual elimina cualquier otra impureza que pueda estar presente en la mezcla, posteriormente cae al distribuidor de 6 vías D-81 donde se selecciona si el alimento va hacia los tres tanques de prepelletizado 13, 14 y 15 para posteriormente ser pelletizado, una vía va hacia los tanques 16 y 17 donde se empaca el alimento en textura polvo, y una vía para despacho de producto terminado a granel.

### **2.2.6. Acondicionamiento**

Consiste en la preparación del alimento para el proceso de compresión – pelletización. Esta preparación se hace inyectando vapor directamente sobre la mezcla molida en un equipo llamado acondicionador u homogeneizador. El acondicionador es un mezclador de aspas inclinadas que opera en forma continua y que está ubicado en la parte superior de la prensa granuladora. (Los Seibos, 2006)

Partiendo de los tres tanques de prepelletizado (13, 14, y 15) la mezcla entra al alimentador por gravedad y es dosificada al acondicionador donde se le inyecta vapor. Añadiendo vapor la temperatura de la harina se incrementa y plastifica los componentes adhesivos de la mezcla, lo que facilita la compresión y unión de las partículas de la harina para formar el *pellet*. (Super S, C.A., 1992)

### **2.2.7. Granulación**

Es la operación de aumento de tamaño donde partículas pequeñas se unen para dar masas más grandes y permanentes en las que se pueden identificar aún las partículas originales. El método aplicado para la unión de las partículas es la compactación por presión debido a que se aplica una fuerza a un sistema de macro partículas dentro de un espacio confinado. (Los Seibos, 2006)

Mezcla acondicionada (alimento + vapor) entra a la pelletizadora donde la misma pasa a través de un molde con orificios que le da la forma cilíndrica al alimento formándose así el *pellet*. (Los Seibos, 2006)

### **2.2.8. Enfriamiento**

El producto que sale de la pelletizadora sigue el flujo por gravedad a través de un ducto y llega al enfriador vertical a contra flujo (Nº 072), allí se lleva a cabo el proceso de enfriamiento. El cual está diseñado de tal modo que el aire proveniente del ambiente circula cerca de la superficie de los gránulos. Este aire no está saturado al 100% y por eso absorbe la humedad de la superficie del producto, la humedad se elimina en el proceso de evaporación que implica también el enfriamiento de los gránulos. (Super S, C.A., 1992)

### **2.2.9. Desmoronamiento**

En caso de ser necesario fabricar gránulos con un tamaño más pequeño es necesario que el alimento atraviese el *crumbler* o desmoronador N° 073; donde se disminuye el tamaño de los gránulos empleando dos rodillos que poseen estrías especiales. Adaptado al desmenuzador se encuentra un deflector ajustable o dispositivo desviador, de manera que los pellet puedan ser desmoronados o desviados de los rodillos, según sea requerido.

### **2.2.10. Tamizado**

Los finos deben ser separados de los pellets, esto se logra con un tamiz que vibre por medio de un mecanismo o motor. Luego de la pelletización por medio del transportador es desalojado el alimento hasta el elevador E-55 y en caída directa entra al cernidor de 3 tamices o ROTEX 078, para clasificarlo de acuerdo a su textura.

El tamizado es la separación de una mezcla de varios tamaños de granos en dos o más porciones por medio de una superficie tipo malla, la superficie de tamizado actúa como un medidor pasa-no pasa, donde las porciones finales están constituidas de granos con tamaños más uniformes que los de la mezcla original. (Los Seibos, 2006)

### **2.2.11. Recubrimiento de grasa**

Cuando los niveles de inclusión de grasas en el alimento son altos, se emplean dispositivos de adición posteriores al mezclado. La técnica empleada en la planta es el engrase en cascada. Esta técnica consiste en el reengrase del gránulo en frío, empleando rociadores dentro de una cámara donde cae una corriente de alimento granulado. Posterior a la cámara de rociador se dispone de un gran tornillo sinfín de rotación lenta para la homogenización.

### **2.3. Grasas y aceites**

Compuestos orgánicos que se producen de forma natural; químicamente, ésteres de tres moléculas de ácido graso con glicerina; se conocen con el nombre de triglicéridos. Las grasas y los aceites son sustancias oleaginosas, grasientas o cerosas, más ligeras que el agua e insolubles en ella. La diferencia entre grasas y aceites radica en que las grasas son sólidas a temperatura ambiente, mientras que los aceites son líquidos y sólo se solidifican a temperaturas más bajas.

#### **2.3.1. Utilización de las grasas y aceites en los alimentos balanceados para animales**

La utilización de las grasas y aceites en los piensos (porción de alimento animal) varía de país en país en función de la disponibilidad y del precio relativo con respecto a otras fuentes energéticas. A continuación se enuncian una serie de ventajas; no estrictamente nutricionales, que presentan todas las grasas y que hacen conveniente su inclusión en piensos.

- Son fuente concentrada de ácidos grasos esenciales.
- Permite incrementar la concentración energética.
- Mejoran la estructura y aspecto.
- Controlan la formación de polvo que puede generarse durante la fabricación y manejo; reducen la pulverulencia del alimento.
- Mejoran la gustosidad (palatabilidad), la eficiencia alimenticia, la eficiencia reproductiva y la digestibilidad.
- Reducen el estrés calórico y por su menor incremento de calor, mejoran la eficiencia energética neta.
- Funcionan como lubricante para reducir el desgaste de los equipos, mejorar su rendimiento y su vida útil.

- Reduce la separación de partículas para mejorar la uniformidad de la mezcla. (Mateos, Rebollar, & Medel, 1996)

### **2.3.2. Tipos de grasas y aceites para la alimentación animal**

En el mercado mundial existen numerosos tipos de grasas; según su origen se clasifican en animales, vegetales y mezclas.

- De origen animal; se tienen grasas poliinsaturadas (origen marino), grasas insaturadas (grasa de aves), moderadamente insaturadas (manteca de porcino), saturadas (sebo vacuno) y mezcla de todas las anteriores.
- De origen vegetal; formados por algunos aceites (girasol, maíz y soja) más insaturados que otros (oliva, palma o coco).
- Mezclas; son subproductos de diversas industrias cuya materia prima original es la grasa, en este grupo están los residuos del refinado de las grasas comestibles (oleínas), las gomas de los procesos de refinado industrial (lecitinas), las grasas de freidurías (resultante de las grasas comestibles), los subproductos de procesos industriales y los destilados procedentes de la industria del glicerol y otros. (Mateos, Rebollar, & Medel, 1996)

### **2.3.3. Calidad de grasas y aceites**

La calidad química de las grasas para alimentos balanceados se puede medir por medio de varios indicadores; a continuación se describen los más importantes

#### **2.3.3.1. MIU (humedad, impurezas e insaponificables)**

Tienen poco efecto sobre el valor nutritivo de las grasas y aceites. Los niveles altos de humedad afectan la vida de anaquel porque ésta puede

acelerar la oxidación y la rancidez. Impurezas (insolubles): incluyen a pequeñas partículas de tierra, piel, pelos, proteína, etc., las cuales pueden tapar el equipo usado para manejar la grasa. Insaponificables: incluyen esteroides, pigmentos, vitaminas, hidrocarburos y otros compuestos que se disuelven en grasa, pero que no son hidrolizables por medio de la saponificación alcalina. (Hamilton, 2005)

#### 2.3.3.2. Ácidos grasos libres

Ácidos grasos no combinados al glicerol (no esterificados), resultado de la hidrólisis o descomposición de algunos triglicéridos. La humedad, tiempo y temperatura interactúan para producir ácidos grasos libres por medio de la catálisis de la hidrólisis de triglicéridos, Los ácidos grasos libres son susceptibles a la oxidación y rancidez. (Hamilton, 2005)

#### 2.3.3.3. Índice de peróxido

Indica en que extensión ha experimentado el aceite o la grasa la rancidez oxidativa. Los productos iniciales de la oxidación son los hidroperóxidos (R-OOH); sin embargo se denominan peróxidos. La determinación de peróxidos de una grasa se basa en su capacidad de liberar yodo de una disolución de yoduro de potasio en ácido acético glacial. (Hamilton, 2005)

#### 2.3.3.4. Índice de iodo

Medida de las insaturaciones en los ácidos grasos que conforman un triglicérido (número de dobles enlaces). Está relacionada con la insaturación, con el índice de refracción y con la densidad. Las grasas viejas y enranciadas tienen índices de iodo inferiores a los de las grasas frescas. (Hamilton, 2005)

#### **2.3.4. Grasas dosificadas en la planta**

A continuación se describe los fluidos grasos usados para la producción de alimentos balanceados de animales.

##### **2.3.4.1. Sebo animal**

Su inclusión a altos niveles en piensos comerciales queda limitada más por razones tecnológicas y de calidad del gránulo, que por problemas nutricionales. En el caso de animales jóvenes, el uso del sebo en piensos no está recomendado. De no existir otras fuentes lipídicas, se recomienda no sobrepasar el 2 o el 3 % en piensos para pollitos y lechones, respectivamente. En animales rumiantes, el sebo es una grasa de elección, de buena digestibilidad y con escasos efectos negativos sobre la microflora del rumen. (Mateos, Rebollar, & Medel, 1996)

##### **2.3.4.2. Aceite de soja**

Procede de la industria del haba de soja tras la extracción previo al refinado del aceite para consumo humano. Como consecuencia de su estructura química, insaturación y contenido en triglicéridos es la fuente lipídica de elección en animales jóvenes, como pollitos de primera edad y lechones destetados precozmente.

##### **2.3.4.3. Oleína vegetal**

Son un subproducto del proceso de refinado del aceite. Su aspecto es mucho más oscuro que el del aceite del cual proceden. Una razón es que durante el proceso de refinado las oleínas retienen y concentran los colorantes iniciales.

Son productos que mantienen gran parte de las ventajas nutricionales de los aceites de los cuales proceden. La mayor diferencia es el menor contenido en triglicéridos de las oleínas lo que implica un valor energético

inferior, especialmente para monogástricos jóvenes. (Mateos, Rebollar, & Medel, 1996)

#### 2.3.4.4. Grasa amarilla

Proceden de la recolección de grasas utilizadas en restaurantes, hoteles y otros centros industriales. Por tanto su composición y valor nutricional depende del tipo de grasa utilizada y de la rigurosidad de los tratamientos por calor que hayan sufrido. Cuando se recolectan, seleccionan, filtran y reciclan de forma adecuada, su valor nutricional es alto y similar e incluso superior al de un sebo de calidad media. (Mateos, Rebollar, & Medel, 1996)

### 2.4. Agitación y mezcla de fluidos

En las industrias químicas de procesos y en otras semejantes, muchas operaciones dependen en alto grado de la agitación y mezclado eficaz de los fluidos. Por lo general, la agitación se refiere a forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente. El mezclado implica partir de dos fases individuales, tales como un fluido y un sólido pulverizado o dos fluidos, y lograr que ambas fases se distribuyan al azar entre sí. (Geankoplis, 1998)

Existen varios objetivos en la agitación de fluidos y algunos de ellos son:

- Mezclado de dos líquidos miscibles, tales como alcohol etílico y agua.
- Disolución de sólidos en líquidos, tales como sal en agua.
- Dispersión de un gas en un líquido en forma de burbujas pequeñas.
- Suspensión de partículas sólidas finas en un líquido.
- Agitación de un fluido para aumentar la transferencia de calor entre dicho fluido y un serpentín o una camisa en las paredes del recipiente.

(Geankoplis, 1998)

### **2.4.1. Equipo de agitación**

Los líquidos se agitan con más frecuencia en tanques o recipientes generalmente de forma cilíndrica y provistos de un eje vertical. Las proporciones del tanque varían bastante dependiendo de la naturaleza del problema de agitación. Sin embargo, en muchas situaciones se utiliza un diseño estandarizado, donde un motor eléctrico impulsa al propulsor agitador, que está montado en un eje. (MacCabe, Smith, & Harriott, 1991)

#### **2.4.1.1. Agitador propulsor de tres aspas**

El agitador puede ser móvil para introducirlo lateralmente en el tanque o estar montado en la pared de un tanque abierto, en posición desplazada del centro. Estos agitadores giran a velocidades de 400 a 1.750 rpm (revoluciones por minuto) y son propios para líquidos de baja viscosidad. (Geankoplis, 1998)

#### **2.4.1.2. Agitadores de paleta**

Se tienen sistemas de dos a cuatro paletas planas. También se suele usar una paleta de ancla o compuerta, la cual barre o raspa las paredes del tanque y a veces su fondo, con líquidos viscosos que pueden generar depósitos en las paredes y para mejorar la transferencia de calor hacia las mismas, pero no es buen mezclador. (Geankoplis, 1998)

#### **2.4.1.3. Agitadores de turbinas**

Cuando se procesan líquidos con amplia diversidad de viscosidades se usan turbinas semejantes a un agitador de paletas múltiples con aspas más cortas. Normalmente las turbinas tienen cuatro o seis aspas, en algunos casos también se usan turbinas de hojas inclinadas, con las aspas a 45°. (Geankoplis, 1998)

#### 2.4.1.4. Agitadores de banda helicoidal

Este tipo de agitadores se usa para soluciones sumamente viscosas y opera a pocas rpm, en región laminar. El líquido se mueve en una trayectoria de flujo tortuosa hacia abajo en el centro y hacia arriba a los lados, con movimiento de giro. (Geankoplis, 1998)

#### 2.4.2. Patrones de flujo

El tipo de flujo que se produce en un tanque agitado, depende del tipo de rodete, de las características del fluido y del tamaño y proporciones del tanque, placas deflectoras y agitador. La velocidad del fluido en un punto del tanque tiene tres componentes, y el tipo de flujo global en, el mismo depende de las variaciones de estas tres componentes de la velocidad de un punto a otro. La primera componente de velocidad es radial y actúa en dirección perpendicular al eje del rodete. La segunda es longitudinal y actúa en dirección paralela al eje. La tercera es tangencial o rotacional, y actúa en dirección tangencial a la trayectoria circular descrita por el rodete. (MacCabe, Smith, & Harriott, 1991)

Para el caso de un eje vertical las componentes radial y tangencial están en un plano horizontal y la componente longitudinal es vertical. Las componentes radial y longitudinal son útiles por cuanto dan lugar al flujo necesario para que se produzca la mezcla. Cuando el eje es vertical y está dispuesto en el centro del tanque, la componente tangencial de velocidad es generalmente perjudicial para la mezcla. El flujo tangencial sigue una trayectoria circular alrededor del eje y, crea un vórtice en la superficie del líquido que, debido a la circulación en flujo laminar, da lugar a una estratificación permanente en diferentes niveles de sustancias sin mezclar, sin que exista flujo longitudinal de un nivel a otro. (MacCabe, Smith, & Harriott, 1991)

En el flujo circulatorio el líquido fluye según la dirección del movimiento de las palas del rodete y, por consiguiente, disminuye la velocidad relativa que existe entre las palas y el líquido, con lo cual se limita la potencia que puede ser absorbida por el líquido. En un tanque sin placas deflectoras, el flujo circulatorio es inducido por todos los tipos de rodete, tanto si el flujo es axial como radial. En efecto, si los remolinos son intensos, el tipo de flujo dentro del tanque es esencialmente el mismo, independientemente del diseño del rodete. (MacCabe, Smith, & Harriott, 1991)

#### **2.4.3. Prevención de formación de vórtices**

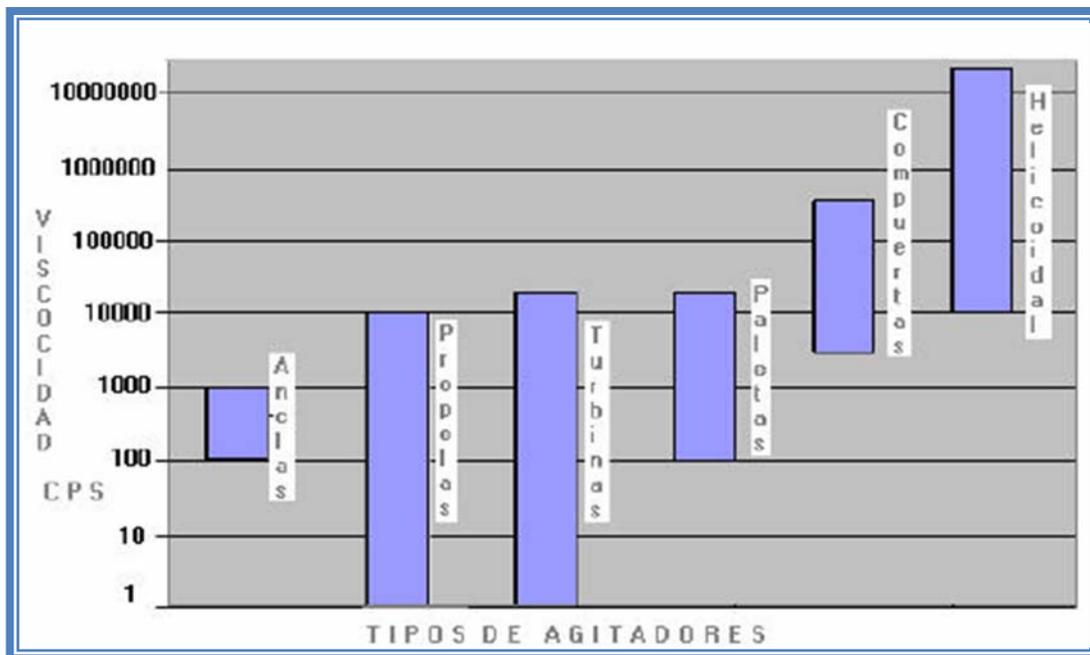
El flujo circulatorio y los remolinos pueden evitarse por uno de los tres métodos siguientes. En tanques de pequeño tamaño se dispone el rodete separado del centro del tanque. El eje se mueve así alejado de la línea que pasa por el centro del tanque, inclinándose después según un plano perpendicular a la dirección del movimiento. En los tanques de mayor tamaño, el agitador puede montarse en la parte lateral del tanque, con el eje en un plano horizontal, pero formando un cierto ángulo con el radio. (MacCabe, Smith, & Harriott, 1991)

En los tanques de gran tamaño, con agitadores verticales, el método más conveniente de reducir los remolinos es instalar placas deflectoras, que impiden el flujo rotacional sin afectar al flujo radial y longitudinal. Un método sencillo y eficaz de destruir los remolinos, se consigue instalando placas verticales perpendiculares a la pared del tanque. Excepto en tanques muy grandes, son suficientes cuatro placas deflectoras, para evitar los remolinos y la formación de vórtice. Para agitadores de turbina, la anchura de la placa deflector no es preciso que sea mayor de la doceava parte del diámetro del tanque; para agitadores de hélice, basta con un octavo. Cuando el rodete

entra al tanque lateralmente, está inclinado o desplazado del centro, no son necesarias placas deflectoras. (MacCabe, Smith, & Harriott, 1991)

#### 2.4.4. Selección del agitador e intervalos de viscosidades

La viscosidad del fluido es uno de los diferentes factores que influyen en la selección del tipo de agitador. A continuación en la figura 2.1 se muestran el tipo de agitador recomendado en función de la viscosidad de los fluidos.



**Figura 2.1.** Rango de viscosidades para agitadores (Ansó, Barge, & Demming, 2004)

#### 2.4.5. Parámetros operacionales

##### 2.4.5.1. Velocidad

La velocidad que alcanzan estos equipos depende de lo que se desea mezclar, para mezclar dos líquidos miscibles de baja viscosidad es necesario

un esfuerzo cortante mucho menor que el que se necesita para dispersar un líquido de alta viscosidad en otro de media viscosidad. (Ansó, Barge, & Demming, 2004)

#### 2.4.5.2. Turbulencia

La presencia o ausencia de turbulencia en un recipiente agitado mediante un impulsor se puede correlacionar con el número de Reynolds. (Ansó, Barge, & Demming, 2004)

#### 2.4.5.3. Potencia

La potencia se relaciona con la densidad del fluido ( $\rho$ ), su viscosidad ( $\mu$ ), la velocidad de rotación ( $N$ ) y el diámetro del agitador ( $D_A$ ), por medio de gráficas de número de potencia  $N_p$  en función de  $N_{Re}$ . (Geankoplis, 1998)

#### 2.4.5.4. Tiempo de mezcla

El tiempo de mezcla indica el tiempo necesario para alcanzar el grado de homogeneidad deseado. El tiempo de mezcla ( $t_m$ ) depende de las revoluciones ( $N$ ), del diámetro del agitador mezclador ( $D_A$ ), de la viscosidad cinemática del fluido agitado y se relaciona por medio de graficas con el  $N_{Re}$ . (Ansó, Barge y Demming, 2004)

### 2.5. Instrumentación y control

El control automático es la forma más simple de autocorrección o control de retroalimentación, en el que un instrumento de control verifica continuamente una variable de salida del proceso y la compara con un valor deseado establecido. Luego, el instrumento emplea cualquier diferencia obtenida de la comparación para determinar la corrección requerida y ajustar una válvula de flujo de un fluido u otro elemento de activación básico de una pieza del equipo que esté controlando. (Kirk & Othmer, 1999)

### 2.5.1. Instrumentación de un sistema de control automático

El gran número de variables de una planta industrial típica abarca una gran variedad de flujos, niveles, temperaturas, composiciones, posiciones y otros parámetros que tienen que ser medidos por los elementos sensores de un sistema de control. Tales dispositivos detectan alguna propiedad física, eléctrica o química de la variable bajo consideración y emplean este valor para crear una señal eléctrica, mecánica o neumática que sea representativa de la magnitud de la variable en cuestión. Las señales como representaciones continuas de las variables que intervienen, son análogas, en contraste con aquellas simples de encendido y apagado o señales digitales. (Kirk & Othmer, 1999)

#### 2.5.1.1. Fundamentos de un sistema de pesaje

En la actualidad los sistemas de pesaje cuentan con una gran cantidad de características que los hacen flexibles y fáciles de implementar. La tecnología en celdas de carga nos permite tener una mejor resolución. (López, 2005)

#### Componentes de sistemas de pesaje

Un sistema de pesaje consiste de una o más celdas de carga, una caja suma y un indicador/transmisor. Típicamente se utilizan sistemas de tres o cuatro puntos que facilitan el arreglo mecánico.

**Celda de carga.** La celda de carga es cualquier dispositivo que produce energía eléctrica al medir el cambio en la masa o fuerza. Usando un puente de Wheatstone, se puede convertir la energía mecánica en energía eléctrica medible (López, 2005)

**Caja Suma.** Es un circuito impreso que organiza los cables provenientes de las celdas de carga hacia el controlador de peso. Es un conector rápido útil en la

detección de fallas en celdas de carga. Algunos modelos cuentan con elementos electrónicos que permiten el monitoreo de las celdas de carga y se puede tener diagnóstico desde el controlador o cualquier punto de la red. (López, 2005)

**Indicador/transmisor.** Recibe y muestra la señal de peso enviada desde la caja de suma y la envía hacia un computador.

#### Como seleccionar un sistema de pesaje

Para seleccionar el equipo a utilizar en un sistema de pesaje, primero se determina la carga total del sistema. La carga total es la suma de la carga muerta mas la carga viva, donde la carga muerta es aquella que sostendrá el sistema pero que no se desea pesar y la carga viva es lo que se desea pesar.

La carga total se divide entre los puntos de apoyo para determinar la capacidad de cada celda de carga. Los sistemas pueden tener desde uno a cuatro puntos de apoyo comúnmente dependiendo del arreglo mecánico deseado para sostener el objeto a pesar. (López, 2005)

### **2.5.2. Control por computadora**

Las computadoras digitales han borrado las limitaciones de complejidad impuesta por dispositivos analógicos anteriores y se han convertido en elementos de gran aceptación en sistemas de control de plantas industriales. Las tres clases de aplicación de la computadora en problemas de control de la planta industrial son el control de supervisión u optimización, control directo y control jerárquico, que es la combinación de los otros dos y modifica todos los niveles de decisión que se realizan en la planta. (Kirk & Othmer, 1999)

Los controles de supervisión u optimización ubican a la computadora en un circuito externo o secundario respecto al sistema de control primario de la planta, el cual consta de los instrumentos de la planta y controladores analógicos electrónicos individuales o neumáticos. El control digital directo

emplea la computadora para reemplazar un grupo de controladores analógicos de circuito simple. El control de jerarquía, el más nuevo y ambicioso de los conceptos, pretende aplicar las computadoras a todas las situaciones de control de la planta de manera simultánea. Como tal, requiere la máxima capacidad de la computadora y mejor potencial de control automático para llevar a cabo la función de integrar por completo la operación de la planta desde la dirección hasta el movimiento final de la válvula. (Kirk & Othmer, 1999)

#### 2.5.2.1. Controlador lógico programable (PLC)

Es un elemento de estado sólido que controla elemento de salida basados en el estado de las entradas, y un programa desarrollado por el usuario. El PLC realiza acciones de control sobre los actuadores, que pueden ser principalmente válvulas y motores.

## 2.6. Cálculos hidráulicos en tuberías

### 2.6.1. Flujo en tuberías: laminar y turbulento

Usualmente, el flujo en tuberías se considera como laminar si el número de Reynolds es menor que 2.100 y turbulento si el número de Reynolds es superior a 4.000. Entre estos dos valores está la zona denominada zona crítica en donde el régimen de flujo es impredecible, pudiendo ser laminar, turbulento o de transición. (Crane, 1992)

El número de Reynolds en tuberías está definido como:

$$N_{Re} = \frac{D.V.\rho}{\mu} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde:

	Unidades métricas	Unidades inglesas
D: diámetro de la tubería	m	pie
V: velocidad promedio del fluido	m/s	pie/s
$\rho$ : densidad del fluido	kg/m <sup>3</sup>	lb/pie <sup>3</sup>
$\mu$ : viscosidad del fluido	Pa.s	cP

### 2.6.2. Teorema de Bernoulli

El teorema de Bernoulli es una forma de expresión de la aplicación de la ley de la conservación de la energía al flujo de fluidos de una tubería. La energía total en un punto cualquiera por encima de un plano horizontal arbitrario fijado como referencia, es igual a la suma de la altura geométrica, la altura debida a la presión y la altura debida a la velocidad. (Crane, 1992)

Si las pérdidas por rozamiento se desprecian y no se aporta o se toma ninguna energía del sistema de tuberías (bombas o turbinas), la altura total H en la ecuación anterior permanecerá constante para cualquier punto del fluido. Sin embargo en la realidad existen pérdidas o incrementos de energía que deben incluirse en la ecuación de Bernoulli. (Crane, 1992)

Por lo tanto, el balance de energía para dos puntos del fluido puede escribirse como;

$$(Z_2 - Z_1) \frac{g}{g_c} + \frac{(P_2 - P_1)}{\rho} + \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2g} + h_L = 0 \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:

	Unidades métricas	Unidades inglesas
$h_L$ = Fricción o pérdida de cabezal	kPa.m <sup>3</sup> /kg	pie.lbf/lbm
g = Aceleración de la gravedad	m/s <sup>2</sup>	pie/s <sup>2</sup>
$g_c$ = Constante dimensional	1	32,174

P = presión	kPa	psi= lbf/ pulg <sup>2</sup>
V = Velocidad del fluido	m/s	pie/s
Z = Elevación	m	Pie
$\rho$ = Densidad	kg/m <sup>3</sup>	lb/pie <sup>3</sup>

### 2.6.3. Pérdidas de carga en tuberías (pérdidas primarias)

Las pérdidas en las tuberías, es un término que se considera en el movimiento de fluidos viscosos. Las pérdidas de carga se definen como las pérdidas de presión que ocurren por el contacto entre el fluido viscoso y el material de la tubería, y el efecto de fricción que allí ocurre.

### 2.6.4. Factor de fricción de Darcy

Este término sin dimensiones refleja la resistencia ofrecida por las paredes del tubo al movimiento del fluido. Este factor debe ser determinado experimentalmente u obtenido mediante fórmulas empíricas. (Levenspiel, 1993)

Si el flujo es laminar ( $Re < 2.100$ ), el factor de fricción puede determinarse a partir de la ecuación: (Levenspiel, 1993)

$$f = \frac{64}{Re} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Si el flujo es turbulento ( $Re > 4.000$ ), el factor de fricción puede determinarse por la ecuación empírica de Colebrook: (Levenspiel, 1993)

$$f = 4 \cdot \left[ -3,6 \cdot \log \left[ \left( \frac{6,9}{Re} \right) + \left( \frac{\varepsilon/d}{3,7} \right)^{1,11} \right] \right]^{-2} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Donde  $\varepsilon/d$  representa la rugosidad relativa de las paredes internas de la tubería (sin dimensiones). (Levenspiel, 1993)

### **2.6.5. Pérdidas en accesorios (pérdidas secundarias)**

Las pérdidas menores o secundarias (pérdidas por accesorios) son aquellas producidas por los accesorios que necesariamente se deben colocar en las tuberías, para que estas puedan realizar funciones específicas, tales como:

- Desviaciones en 90° y 45°.
- Corte de flujo (válvulas)
- Regulación de presión o caudal (válvulas de regulación, placas orificio, etc.)
- Purificación del fluido (filtros, retenedores, etc.)
- División de flujo, etc. (Levenspiel, 1993)

## **2.7. Aspectos generales de la transferencia de calor**

La transferencia de calor es el proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. (Kern, 1999)

### **2.7.1. Mecanismo de transferencia de calor**

El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos. (Kern, 1999)

#### **2.7.1.1. Conducción**

La conducción es la transferencia de calor a través de un material desde una región de alta temperatura a una región de temperatura más baja a través de

comunicación molecular directa en el interior de un medio o entre medios en contacto físico directo sin flujo del medio material fijo. La ecuación de transferencia de calor en estado estable a través de una tubería de es: (Kern, 1999)

#### 2.7.1.2. Convección

La convección es la transferencia de calor entre partes relativamente calientes y frías de un fluido por medio de mezcla. El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Si el tipo de movimiento es debido exclusivamente a la no uniformidad de la temperatura del fluido, se denomina convección natural y la fuerza impulsora de la convección natural es la flotabilidad, como resultado de las diferencias en la densidad del fluido cuando la gravedad o cualquier otro tipo de aceleración está presente en el sistema. La convección forzada se logra sometiendo el fluido a un gradiente de presiones, con lo que se fuerza su movimiento de acuerdo a las leyes de la mecánica de fluidos. La transferencia de calor por convección es: (Kern, 1999)

#### 2.7.1.3. Radiación

La radiación involucra la transferencia de energía radiante desde una fuente a un receptor. Cuando la radiación se emite desde una fuente a un receptor, parte de la energía se absorbe por el receptor y parte es reflejada por él. Para que la radiación ocurra no se necesita ningún medio; la radiación incluso ocurre en vacío perfecto. Se puede plantear la ecuación para transferencia de calor en función de los factores de emisividad  $F_E$  y de forma  $F_A$  que dependen de la configuración de los cuerpos, del área del cuerpo emisor y la cuarta potencia de las temperaturas del emisor y receptor: (Kern, 1999)

### **2.7.2. Sistema de calefacción y traceado de vapor de tuberías**

La calefacción y traceado de vapor de tuberías es un fiable y eficiente sistema y una componente vital de la maquinaria de procesos moderna. Su uso asegura el mantenimiento de la viscosidad de bombeo óptima y que el producto no se solidifique o resulte dañado a la vez que se evitan males causados por condiciones ambientales adversas.

El traceado de vapor resulta muy sencillo en su principio de funcionamiento; ningún otro método de calefacción ofrece tantos beneficios como el vapor en términos de eficiencia, bajos costes de funcionamiento, manejo, flexibilidad y, sobre todo, seguridad. Cuando un producto en las tuberías está a temperatura más alta que el aire que lo rodea, el calor atravesará las paredes de la tubería e irá hacia el aire. Esta pérdida de temperatura provocará una caída de la temperatura del producto. Aislando la tubería disminuirá de forma significativa el porcentaje de calor que se pierde pero, ningún aislante es 100% efectivo.

Para compensar el calor perdido, unas tuberías de vapor de pequeño diámetro, también llamadas "de acompañamiento", se incorporan a la línea del producto. El calor del vapor pasa a la línea de producto y sustituye al que se va perdiendo. El vapor es un portador de energía muy eficiente con una relación fija entre su presión y su temperatura. Puede transportar el calor durante largas distancias y abandonarlo a una temperatura constante. La cantidad de calor transmitida, y por lo tanto, la temperatura del producto, puede ser regulada. El mismo método puede utilizarse para acondicionar el producto en las épocas más frías del año, permitiendo el vapor dentro de la línea de traceado solo cuando la temperatura ambiental esté por debajo de un cierto nivel.

## **2.8. Estudio económico**

El estudio económico trata de determinar cuál será la cantidad de recursos económicos que son necesarios para que el proyecto se realice, es decir, cuánto dinero se necesita. (Coss Bu, 1986)

### **2.8.1. Costos de inversión**

Es el monto o capital que necesita un proyecto, para producir un bien o servicio útil al ser humano o a la sociedad en general. La inversión inicial, comprende la adquisición de todos los activos fijos y activos diferidos o intangibles, que son necesarios para que la empresa inicie sus operaciones, con la excepción del capital de trabajo. (Coss Bu, 1986)

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL TRABAJO**

#### **3.1. Elaboración del diagrama de flujo de proceso (DFP) y el diagrama tubería e instrumentación (DTI) del sistema actual**

Para el rediseño del sistema de grasas y aceites de la planta se procedió a elaborar primeramente el diagrama de flujo de proceso y el diagrama de tubería e instrumentación; esto con el fin de conocer detalladamente el sistema actual con que cuenta la planta para la recepción, filtrado, almacenamiento y distribución de los fluidos grasos. Como no se contaba con ninguna información técnica de este sistema (manuales, diagramas, planos, entre otros), para el desarrollo y alcance de este objetivo se comenzó por realizar diversos recorridos al patio de tanque e inspeccionar visualmente las líneas de tuberías, accesorios, bombas, tanques y todo lo existente en el área en estudio. También se entrevistó al personal involucrado en el manejo del sistema para mayor entendimiento de éste.

Durante la inspección visual se realizó:

- Toma de medidas de las dimensiones de los tanques de almacenamiento, los filtros y el agitador con que cuenta uno de los tanques del sistema; datos mostrados en la tabla 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 respectivamente.
- Recopilación de los datos de las placas de los motores y bombas, a fin de obtener sus características de trabajo; estos datos son mostrados en la tabla 3.5.
- Identificación de válvulas, fluidos de servicios, puntos de recepción y salida de los fluidos y la secuencia de manejo de cada grasa y aceite.

**Tabla 3.1.** Dimensiones de los tanques cilíndricos para el almacenamiento de grasas y aceites

Dimensión	Tanques cilíndricos				
	Melaza	Mezcla Oleína y Grasa Amarrilla	Oleína Vegetal	Dilución Melaza	Sebo Animal
Diámetro (m)	3,00	4,60	4,15	1,20	2,60
Altura (m)	6,10	6,10	6,10	2,00	4,10

**Tabla 3.2.** Dimensiones de los tanques cónicos para el almacenamiento de grasas y aceites

Dimensión	Tanques cónicos	
	Grasas	Aceite Soya
Diámetro del cilindro (m)	1,50	2,60
Altura del cilindro(m)	2,46	6,13
Diámetro del fondo del cono (m)	0,18	0,12
Lado del cono (m)	0,93	1,24

**Tabla 3.3.** Dimensiones de los filtros del sistema

Dimensión del filtro	
Diámetro externo (m)	0,45
Altura externa (m)	0,61
Diámetro malla (m)	0,40
Altura malla (m)	0,43
Paso de malla (m)	0,0061

**Tabla 3.4.** Características del agitador del taque de dilución de melaza

Características del agitador	
Tipo de agitador	Turbina de 4 Aspas
Velocidad (rpm)	411
Potencia (Kw)	2,70
Largo de eje (m)	1,60

**Tabla 3.5.** Características de bombas y motores del sistema de grasa y aceite

Bomba	Marca	Modelo	Motor acoplado	
			Potencia (KW)	Velocidad (RPM)
Recepción de grasa	VIKING	L124A	14,91	1.750
Suministro de grasa	VIKING	KK125	3,73	1.450
Recepción de melaza	VIKING	L124A	14,91	1.760
Dosificadora de grasa al mezclador	NETZSCH	7/995586100	2,50	1.700
Dosificadora de grasa al coater	NETZSCH	7/100038204400	2,50	1.700

Luego se procedió a hacer una revisión bibliográfica a fin de conseguir las propiedades fisicoquímicas de cada uno de los fluidos manejados; estas propiedades se presentan en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6.** Propiedades fisicoquímicas de los fluidos grasos manejados en el sistema

Descripción	Grasas y Aceites			
	Sebo Animal	Aceite de Soya	Grasa Amarilla	Oleína Vegetal
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	950	920	900	900
Viscosidad (Pa.s)	0,0485	0,0367	0,0320	0,0293
Calor específico (J/Kg.°C)	2.300	1.916	2.093	1.970
Punto de Fusión (°C)	40	-10	30	14

Una vez obtenidos los datos de los equipos y los fluidos, se procedió ordenar toda la información necesaria para trazar los diagramas DFP y DTI correspondientes al sistema.

Como referencia para la realización de estos diagramas se utilizó el manual de ingeniería de diseño de PDVSA, norma L-TP 1.1, 1.2 y 1.3; los cuales permitieron conocer las pautas que rigen los diagramas de proceso y la identificación de las tuberías. A continuación se presentan los pasos

aplicados para la construcción del diagrama de flujo y el diagrama de tuberías del sistema.

### 3.1.1. Cálculo del volumen de los tanques

Con las medidas de altura y diámetro de los tanques, se calcularon los volúmenes a través de las siguientes ecuaciones:

Para tanques cilíndricos:

$$V = \pi \cdot r \cdot h \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde:

r= radio del tanque (m)

h= altura del tanque (m)

Para tanques con fondos cónicos (cono truncado):

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot H + \frac{\pi \cdot h}{3} (R^2 + r^2 + R \cdot r) \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Donde:

R= radio de la parte cilíndrica del tanque (m)

H= altura de la parte cilíndrica del tanque (m)

r= radio de salida del cono del tanque (m)

h= altura del cono tanque (m)

El cálculo de la altura del cono de los tanques se realizó por trigonometría como se muestra en la figura y con la siguiente ecuación:

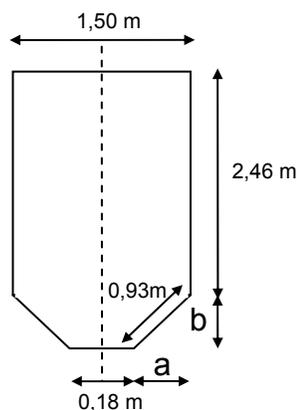
$$a^2 + b^2 = c^2 \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Donde:

a= diferencia entre radio del tanque y radio del fondo del cono

b= altura del cono llamada h

c= lado del cono medido



**Figura 3.1.** Diagrama de medidas del tanque de almacenamiento de grasa

Sustituyendo en la ecuación 3.1 los datos de la tabla 3.1 se obtiene el volumen para el tanque de oleína;

$$V = \pi \cdot (2,075)^2 \cdot 6,10 = 82,50\text{m}^3$$

Para los demás tanques cilíndricos se aplicó el mismo procedimiento y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.1.

Para obtener el volumen del tanque cónico de grasa primeramente se obtuvo la altura del cono a través de la ecuación 3.3, sustituyendo los valores que se observan en la figura 3.1;

$$b^2 = c^2 - a^2$$

$$b = h = \sqrt{c^2 - a^2} = \sqrt{(0,93)^2 - (0,66)^2} = 0,6$$

Sustituyendo en la ecuación 3.2 los datos de la tabla 3.2 y el valor de la altura encontrada, se obtiene el volumen para el tanque de grasa;

$$V = \pi \cdot (0,75)^2 \cdot 2,46 + \frac{\pi \cdot 0,66}{3} (0,75^2 + 0,09^2 + 0,75 \cdot 0,09)$$

$$V = 4,80 \text{ m}^3$$

El mismo procedimiento se aplicó para el otro tanque cónico del sistema y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.1.

### **3.1.2. Determinación de las características de las bombas**

Con los datos recopilados de las chapas de identificación de las bombas y motores del sistema se procedió a buscar sus características de trabajo en el catálogo de proveedor (mostrado en el anexo B); las bombas utilizadas para el manejo de fluidos grasos viscosos son de la marca VIKING y las condiciones de trabajo se muestran en la tabla 4.2.

### **3.1.3. Identificación de equipos**

Se consultó la lista equipos y el archivo maestro de la planta (mostrados en el anexo C), a fin de obtener el número de identificación de cada uno de los equipos del área y representarlos en los diagramas según la enumeración interna que tienen asignada. La codificación final de los equipos se muestra en la tabla 4.3 y se obtuvieron siguiendo la norma L-TP 1.1 antes mencionada.

### **3.1.4. Caracterización de las líneas de tuberías**

Se realizó una inspección detallada de las tuberías para determinar características tales como:

- Tipo de válvulas y accesorios presentes.
- Material de las líneas de fluidos principales y de las líneas de fluidos de servicios.
- Diámetro externo y espesor de las tuberías; con dichas medidas se consulto bibliográficamente las tablas de tuberías de acero (mostradas

en el anexo D), identificando así completamente sus dimensiones, capacidades y pesos.

- Presencia de algún sistema de calentamiento.
- Instrumentos de medición y control.

Una vez obtenida toda la información de necesaria para la elaboración de los diagramas, se procedió al trazado de estos haciendo uso de AutoCAD. Los diagramas de flujo de proceso y de tubería e instrumentación obtenidos del sistema actual se muestran en la figura 4.1 y 4.2 respectivamente.

### **3.2. Establecimiento de los parámetros de diseño y controles automáticos necesarios en un tanque de mezclado**

Debido a la necesidad actual de la planta de un sistema que permita el pesado y mezclado de los fluidos grasos según formulación, esta etapa se enfocó en el diseño de un tanque mezclador tipo balanza, donde se pudiera controlar tanto las cantidades de productos agregados como la homogenización de la mezcla preparada.

El sistema actual de grasas y aceites de la planta cuenta con un tanque pequeño para el almacenamiento rápido de cualquier fluido graso (TK-0501), como dicho tanque es usado de manera muy escasa se hizo uso de éste para la propuesta de rediseño.

Una vez definido el tanque de grasas como punto de partida de la propuesta, se continuó con el desarrollo de ésta etapa por medio de tres pasos principales:

#### **3.2.1. Selección de agitador y parámetros para el mezclado**

Se realizó una revisión bibliográfica, a fin de conocer las características de los diferentes tipos de agitadores y definir el más apropiado para el sistema,

según el tipo de fluido que se maneja y las dimensiones del tanque. Una vez seleccionado el agitador se establecieron sus especificaciones técnicas y los parámetros operacionales para llevar a cabo la mezcla de las distintas grasas y aceites.

### 3.2.1.1. Tipo de agitador

El principal parámetro para la selección de un equipo de agitación es la viscosidad de los fluidos a manejar, por lo que se revisó cuidadosamente el rango de viscosidades con que se trabaja en la planta (mostradas en la tabla 3.6) y de la figura 2.13, se seleccionaron los adecuados para el sistema a diseñar.

Las viscosidades mostradas en las tablas 3.6. se transformaron a la unidad correspondiente para poder establecer el rango de trabajo en la figura 2.13, dicha unidad es centipoise (cP) y el cálculo realizado para la mínima y máxima viscosidad se muestra a continuación:

$$\mu_{min} = 0,0293 \text{ Pa}\cdot\text{s} \times \frac{1 \text{ cps}}{1 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}} = 29,30 \text{ cP}$$

$$\mu_{max} = 0,0485 \text{ Pa}\cdot\text{s} \times \frac{1 \text{ cps}}{1 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}} = 48,50 \text{ cP}$$

Se seleccionó un rango de viscosidades entre 10 y 100 cP, a fin de que el sistema tenga mayor libertad operacional; para estas condiciones de trabajo los posibles agitadores a seleccionar son los de tipo propela y tipo turbina. De estos dos agitadores se construyó un cuadro comparativo con ventajas y desventajas, que fueron recopiladas bibliográficamente y ayudaron para la selección final del sistema de agitación.

También se consultaron las páginas de proveedores de agitadores, para mayor asesoramiento en cuanto al tipo de agitador recomendable para el sistema a diseñar y sus especificaciones técnicas. En la tabla 3.7, se muestra el cuadro comparativo que recoge las características de los dos posibles agitadores a utilizar en el rediseño:

**Tabla 3.7.** Características del agitador tipo propela y tipo turbina, para la selección final del equipo a utilizar

Tipo de Agitador	Ventajas	Desventajas
PROPELA O HELICE MARINA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son eficaces hasta para tanques de gran tamaño.</li> <li>- Diámetro del agitador es pequeño, independientemente del tamaño del tanque.</li> <li>- Giran a grandes velocidades.</li> <li>- Pueden ser instalados descentrados o laterales, para evitar la formación de vórtices.</li> <li>- Bajo consumo de energía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tienden a formar vórtices si van montadas sobre ejes verticales situados en el centro del depósito de mezcla.</li> <li>- Las corrientes principales son tangencial y axial.</li> </ul>
TURBINA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Producen corrientes intensas, que se extienden por todo el tanque y destruyen las masas de líquido estancado.</li> <li>- Pueden ser instalados descentrados, para evitar la formación de vórtices.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El diámetro del impulsor depende del tamaño del tanque, siendo del orden del 30 al 50%.</li> <li>- Las corrientes principales son radiales y tangenciales.</li> <li>- Para tanques de gran altura de líquido es necesario la instalación de varios impulsores.</li> <li>- Consumo de energía elevado.</li> </ul>

A partir de esta comparación se seleccionó el agitador que ofrece mayores ventajas para el sistema en estudio. También se consultaron las páginas de los proveedores de estos equipos, a fin de conocer la opción más recomendada por ellos para la mezcla de fluidos grasos.

### 3.2.1.2. Especificaciones técnicas del agitador y parámetros operacionales

Las especificaciones técnicas y los parámetros bajo los cuales va a operar el agitador seleccionado (tipo propela o hélice marina), fueron definidos haciendo uso de los manuales de instrucciones de los proveedores de este tipo de equipos; mostrados en el anexo E.

Para la instalación del agitador lateral de fondo en el tanque, se estudiaron las situaciones más habituales. Una vez seleccionada la configuración más adecuada según la mezcla que se desea realizar, se procedió a establecer los ángulos de instalación.

Los ángulos de ataque del agitador vienen dados por las dimensiones del tanque, más específicamente por la relación que hay entre la altura y el diámetro de éste. Una vez calculada la relación H/D para el tanque de grasas del sistema (TK-0501), los ángulos del agitador se seleccionaron de la tabla 3.8.

Para el cálculo de H/D, el diámetro y la altura del cilindro del tanque se tomaron de la tabla de datos 3.2, a esta altura se le sumó la altura del cono (0,66m) calculada por la ecuación 3.3.

$$H/D = \frac{(2,46 + 0,66)m}{1,50 m} = 2,08$$

**Tabla 3.8.** Ángulos de ataque del agitador, según relación H/D del tanque (INOXPA, S.A., 2006)

Relación H/D		0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	5
$\alpha^\circ$		0	8	14	18	25	30	40	50
Visc. máx. cPs		3.000	3.000	1.500	1.500	500	300	150	100
FONDOS		o	o	o	o	-	-	-	-
		o	o	o	o	o	o	o	o
		o	o	o	o	o	o	o	o

En cuanto a los parámetros de operación, estos están establecidos por los proveedores según la capacidad del tanque. Con el volumen calculado del tanque de grasas el cual es de 4,8m<sup>3</sup> y la velocidad máxima de agitación que se fijó en 1.000 rpm, se obtuvieron de la tabla 3.9 los demás parámetros del proceso.

**Tabla 3.9.** Parámetros de operación del agitador según capacidades del tanque (INOXPA, S.A., 2006)

Tipo	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Deposito (m <sup>3</sup> )	Velocidad (rpm)	Potencia motor (Kw)	Peso (Kg)
LM 1.10-4015-1-175	280	5-20	1500	1,5	46
LM 1.10-4030-1-200	420	20-50		3	56
LM 1.10-4055-1-225	594	50-80		5,5	66
LM 1.10-4075-1-250	820	80-140		7,5	75
LM 1.10-4092-1-250				9,2	86
LM 1.10-4110-1-275	1086	140-200		11	145
LM 1.10-6011-1-200	275	5-20	1000	1,1	48
LM 1.10-6022-1-225	300	20-60		2,2	62
LM 1.10-6030-1-250	560			3	66
LM 1.10-6055-1-275	720	60-80		5,5	75
LM 1.10-6075-1-300	940	90-150		7,5	150
LM 1.10-6110-1-350	1460	150-200		11	182

Las dimensiones del agitador están normalizadas y vienen dadas por el tipo de agitador resultante de la selección en la tabla 3.9. En la tabla 3.10 están descritas cada uno de las principales medidas para el agitador recomendado.

**Tabla 3.10.** Valores normalizados para dimensiones de agitadores laterales de fondo (INOXPA, S.A., 2006)

Tipo	Brida					Eje agitador		ØH	C <sub>max</sub>
	ØDN	ØA	ØB	ØE	ØG(n)	Ød	L		
LM 1.10-4015-1-175	150	285	240	212	18 (8)	40	400	175	375
LM 1.10-4030-1-200							500	200	405
LM 1.10-4055-1-225	200	340	295	259	23(8)	50	500	225	500
LM 1.10-4075-1-250								250	
LM 1.10-4092-1-250									
LM 1.10-4110-1-275	250	395	350	312	23(12)	60	600	275	695
LM 1.10-6011-1-200	150	285	240	212	18 (8)	40	400	200	375
LM 1.10-6022-1-225							500	225	425
LM 1.10-6030-1-250	200	340	295	259	23 (8)	50	500	250	500
LM 1.10-6055-1-275								275	
LM 1.10-6075-1-300									
LM 1.10-6110-1-350	250	395	350	350	23 (8)	60	600	300	695
								350	

Todas las características del agitador seleccionado para el rediseño se describen en la tabla 4.4, estas especificaciones fueron representadas en AutoCAD y el diseño final a ser instalado se muestra en las figuras 4.4.

### 3.2.2. Diseño del sistema de pesado y de la estructura para mezclado

Una vez definido el equipo de agitación se procedió al segundo paso de la etapa, el cual consistió en diseñar el sistema necesario para pesar adecuadamente los fluidos y la estructura que debe soportar al tanque mezclador.

Para realizar las pesadas de las mezclas en el tanque, fueron escogidos sensores de movimiento tipo celdas de carga por tensión y se procedió a realizar cálculos a fin de determinar el peso total que éstas deben soportar; luego se diseñaron varias configuraciones para su montaje e instalación a fin de escoger la más idónea para el sistema.

### 3.2.2.1. Cálculo de capacidad de los sensores de peso

Primeramente se calculó la carga muerta que van a soportar las celdas de carga, esto no es más que el peso del tanque vacío y se realizó partiendo de la ecuación 3.4:

$$m = \rho \cdot V \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Donde:

m= masa del sólido (kg)

v= volumen del sólido (m<sup>3</sup>)

ρ= densidad del acero (kg/m<sup>3</sup>)

Volumen del cilindro:

Asumiendo la parte cilíndrica de tanque como un cilindro hueco, se utilizó la ecuación 3.5 para el cálculo del volumen.

$$V_{\text{cilindro}} = \pi \cdot h \cdot (R^2 - r^2) \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Donde:

h= altura del cilindro (m)

R= radio externo del tanque (m)

r= radio interno del tanque (m)

Como el espesor de la lámina de acero es 0,0065m; el radio interno del cilindro es:

$$r = 0,74;$$

El volumen del cilindro quedó:

$$V_{cilindro} = \pi \cdot 2,46m \cdot (0,75^2 - 0,7435^2)$$

$$V_{cilindro} = 0,075$$

Volumen cono truncado de fondo:

Asumiendo la parte cónica del tanque como un cono truncado hueco, se utilizó la ecuación 3.5 para el cálculo del volumen.

$$V_{cono} = \frac{\pi \cdot h}{3} \cdot [(R^2 + r^2 + R \cdot r) - (R'^2 + r'^2 + R' \cdot r')] \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Donde:

h= altura del cono (m)

R= radio externo de la parte cilíndrica (m)

R`= radio interno de la parte cilíndrica (m)

r= radio externo del fondo del cono (m)

r`= radio interno del fondo del cono (m)

Como el espesor de la lámina de acero es 0,0065m; los radios internos de cono quedaron:

$$R' = 0,7435m$$

$$r' = 0,08;$$

El volumen del cono quedó:

$$V_{cono} = \frac{\pi \cdot 0,66}{3} \cdot [(0,75^2 + 0,09^2 + 0,75 \cdot 0,09) - (0,7435^2 + 0,0835^2 + 0,7435 \cdot 0,0835)]$$

$$V_{cono} = 0,011$$

Volumen de la tapa:

Asumiendo la tapa como un cilindro muy corto,, se utilizó la ecuación 3.6 para el cálculo del volumen.

$$V_{tapa} = \frac{\pi}{4} \cdot D \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Donde:

D= diámetro de la tapa (m)

h= altura del cilindro o espesor (m)

El volumen de la tapa quedó:

$$V_{tapa} = \frac{\pi}{4} \cdot (1,50m)^2 \cdot 0,0065m$$

$$V_{tapa} = 0,0115m^3$$

El volumen del tanque vacío quedó:

$$V_{tanque} = V_{cilindro} + V_{cono} + V_{tapa}$$

$$V_{tanque} = 0,0977m^3 \approx 0,10m^3$$

Con la densidad del acero del tanque ( $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ ) se aplicó la ecuación 3.4 para obtener la masa total del tanque:

$$m_{tanque} = 7.850 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0,10 \text{ m}^3$$

$$m_{tanque} = 785 \text{ Kg}$$

Una vez obtenido la carga muerta del sistema se procedió a calcular la carga viva, la cual se refiere a la masa de fluido que se desea pesar. Para el cálculo de la masa de fluido se asumió la máxima condición de operación; es decir, la capacidad total del tanque con el fluido más denso (sebo).

El volumen del tanque se tomó de la tabla 4.1 y la densidad del sebo de la tabla 3.6, luego se aplicó la ecuación 3.4.

$$m_{fluido} = 950 \text{ Kg/m}^3 \cdot 4,8 \text{ m}^3$$

$$m_{fluido} = 4.560 \text{ Kg}$$

La masa total del sistema resultó:

$$m_{total} = 5.345 \text{ Kg}$$

A la masa total que deben soportar las celdas de cargas se le sumó un 25% como factor de seguridad, quedando:

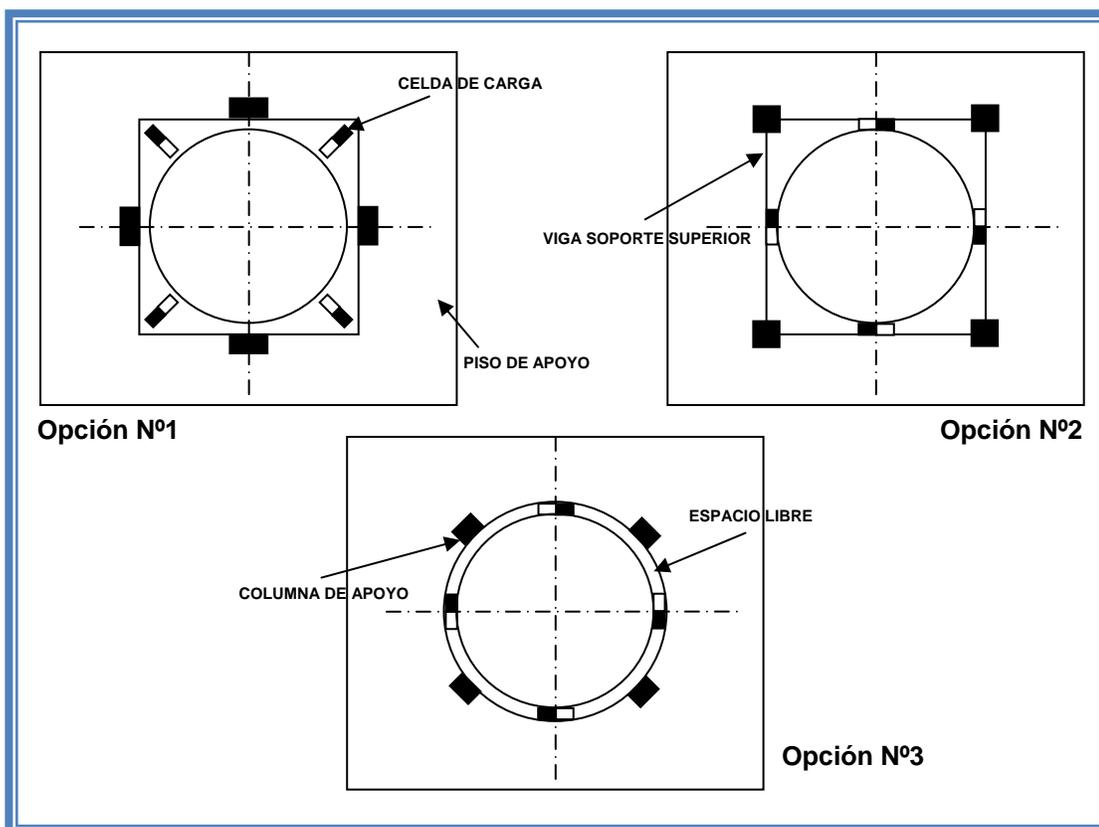
$$m_{total} = 6.681,25 \text{ Kg}$$

Como el sistema propuesto de pesado consta de 4 celdas de cargas, la carga a soportar por cada una quedó:

$$m_{celda} = 1.670,31 \text{ Kg} \approx 1.700 \text{ Kg/cada celda}$$

### 3.2.2.2. Diseño y selección de la configuración para el montajes de los sensores

Una vez calculado la carga total del sistema, se procedió a diseñar varias configuraciones para el montaje e instalación de las celdas de cargas, para luego seleccionar la opción más adecuada; a continuación se presentan las configuraciones diseñadas:



**Figura 3.2.** Configuraciones para el montaje de los sensores de peso

La configuración seleccionada de estas tres opciones se muestra en la figura 4.5, en base a dicha selección se definió y diseño la estructura completa que debe soportar al tanque mezclador tipo balanza, en la figura 4.6 se muestra la estructura final.

### 3.2.3. Elaboración de la lógica de control del sistema de mezclado

El tercer y último paso de ésta etapa consistió en la elaboración de una lógica que permitiera el monitoreo y control básico del sistema de mezclado y su enlace con el proceso productivo de la planta.

Se elaboró una propuesta de un diagrama de sistema de control, que indica las variables a controlar y las variables a manipular para lograr el funcionamiento del sistema de pesaje, también muestra como se realizará la adquisición de datos desde las celdas de cargas y su conexión con el computador, dicho diagrama se presenta en la figura 4.8. Cabe destacar que para la elaboración del diagrama fue necesario primero establecer la nueva reorganización de las tuberías que distribuyen las grasas y aceites, (parte inicial del objetivo siguiente) ya que algunas de estas tuberías son las que van a alimentar los fluidos al tanque.

Una vez definido la nueva reorganización y elaborado el diagrama de control, se desarrolló con ayuda de Microsoft Visual Basic una interface para el ingreso de datos y el cálculo de los parámetros de las mezclas a elaborar, así como también una interface básica para el monitoreo del proceso desde el computador; dichas interfaces se muestran en la figura 4.9 y 4.10 respectivamente.

Los datos necesarios a ingresar en el sistema para la elaboración de las mezclas son:

- a) Componentes a mezclar (según densidad).
- b) Proporción de cada componente.
- c) Cantidad de mezcla por cada batch de alimento.
- d) Número de batch de alimento que se desean hacer.

Los cálculos a realizar por el sistema para determinar los parámetros de las mezclas son:

- a) Cantidad total de mezcla a preparar.

$$\text{Mezcla total} = \text{N}^{\circ} \text{ de Batch} \times \frac{\text{Kg de m}}{\text{por bc}} \quad (\text{Ec. 3.8})$$

b) Número de pesadas que se necesitan según capacidad del tanque.

$$\text{N}^{\circ} \text{ de pesadas} = \frac{\text{Kg mezcla total necesaria}}{\text{Kg de capacidad del tanque}} \quad (\text{Ec. 3.9})$$

c) Cantidad a agregar de cada grasa y/o aceite.

$$\text{Kg de cada componente} = \frac{\text{Kg mezcla total necesaria}}{\text{N}^{\circ} \text{ de pesadas}} \times \frac{\text{Kg de componente}}{\text{por Kg de mezcla}} \quad (\text{Ec. 3.10})$$

Finalmente se procedió a establecer detalladamente la secuencia que seguirá el sistema para el mezclado de los fluidos, tanto de manera manual como de manera automática.

### **3.3. Diseño de una nueva red de tuberías para la distribución de grasas y aceites hacia el tanque de mezclado y el área interna de planta (dosificador de grasa y mezcladora)**

Esta etapa tiene como finalidad hacer el proceso productivo de la planta más rápido, separando las líneas de tuberías que distribuyen las grasas y aceites hacia a las bombas de entrada a planta y adecuando las instalaciones para la inclusión del tanque de mezcla tipo balanza en el proceso. Para el logro del objetivo se realizaron los siguientes pasos:

#### **3.3.1. Selección de nueva red de tuberías para la distribución de grasas y aceites**

Buscando satisfacer las necesidades presentes en el sistema, se diseñaron varias propuestas para una nueva red de tuberías y se estudiaron las ventajas y desventajas tanto operativas como económicas de cada una, a fin de escoger finalmente la más adecuada.

Con ayuda de programa AutoCAD se trazaron tres posibles diagramas que dieran solución a los problemas presentes en la red de tuberías actuales, en las figuras 3.5, 3.6 y 3.7, se pueden observar las propuestas iniciales diseñadas y las modificaciones fueron trazadas en color rojo; en la tabla 3.11 se presentan las ventajas y desventajas de cada una, las cuales ayudaron a la selección final. Dicha selección se muestra en la figura 4.11, en base a esta selección se desarrolló la parte final del objetivo anterior, el cual busca controlar el sistema de pesado y mezclado de los fluidos grasos.

**Tabla 3.11.** Ventajas y desventajas de las propuestas diseñadas para la nueva red de tuberías

Propuesta	Ventajas	Desventajas
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Separación de las líneas que distribuyen los fluidos a planta.</li> <li>• Aprovechamiento de las tuberías y de la bomba actual para el llenado del tanque.</li> <li>• Posibilidad de realizar tres procesos al mismo tiempo (paso al mezclador, paso al coater y mezcla de grasas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de gran cantidad de tuberías nuevas.</li> <li>• Mezcla de una gran cantidad de fluidos a la entrada del tanque.</li> <li>• Requerimiento de muchos accesorios (válvulas, codos, etc.)</li> <li>• Necesidad de dos manifold.</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Separación de las líneas que distribuyen los fluidos a planta.</li> <li>• Uso de un solo manifold.</li> <li>• Menor cantidad de accesorios.</li> <li>• Menor cantidad de tuberías.</li> <li>• Menor mezcla de fluidos a la entrada del tanque.</li> <li>• Mayor facilidad de control.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posibilidad de realizar sólo dos procesos al mismo tiempo (paso a la mezcladora y paso al coater o paso a la mezcladora y mezclado de grasas).</li> <li>• Necesidad de una bomba a la entrada del tanque de mezcla.</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poca cantidad de accesorios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor dificultad de control.</li> <li>• Mucha mezcla de fluidos a</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poca cantidad de tuberías nuevas.</li> <li>• Separación de las líneas a planta.</li> </ul>	<p>la entrada del tanque.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesidad de una bomba a la entrada del tanque.</li> <li>• Posibilidad de realizar solo dos procesos al mismo tiempo (paso a la mezcladora y paso al couter o paso a la mezcladora y mezclado de grasas).</li> </ul>
--	---	---

### 3.3.2. Determinación de longitudes de la nueva red de tuberías

Una vez seleccionada la propuesta más adecuada según los costos de inversión y facilidad de control, se procedió a realizar en AutoCAD el trazado de la nueva red de distribución a las dimensiones reales del sistema, a fin de determinar las longitudes necesarias de tuberías.

En el diagrama trazado se especificaron los puntos de las tuberías existentes donde se van a hacer las conexiones para las líneas nuevas, los accesorios a utilizar para cada una, la configuración final del tanque de mezcla una vez instalado en el área y todos los detalles que faciliten la construcción y puesta en marcha del rediseño del sistema. En la figura 4.12 se muestra la vista superior del diagrama del nuevo sistema a instalar, en la figura 4.13 se observan los puntos de las tuberías existentes de donde van a ser conectadas las nuevas líneas y en la figura 4.14 se representó los detalles del tanque para mezcla de grasas y aceites.

Una vez concluido el diagrama, se procedió a realizar una medición de las longitudes de cada línea de tubería nueva, a fin de realizar un inventario según el diámetro y determinar la cantidad total necesaria para la instalación y construcción de la propuesta.

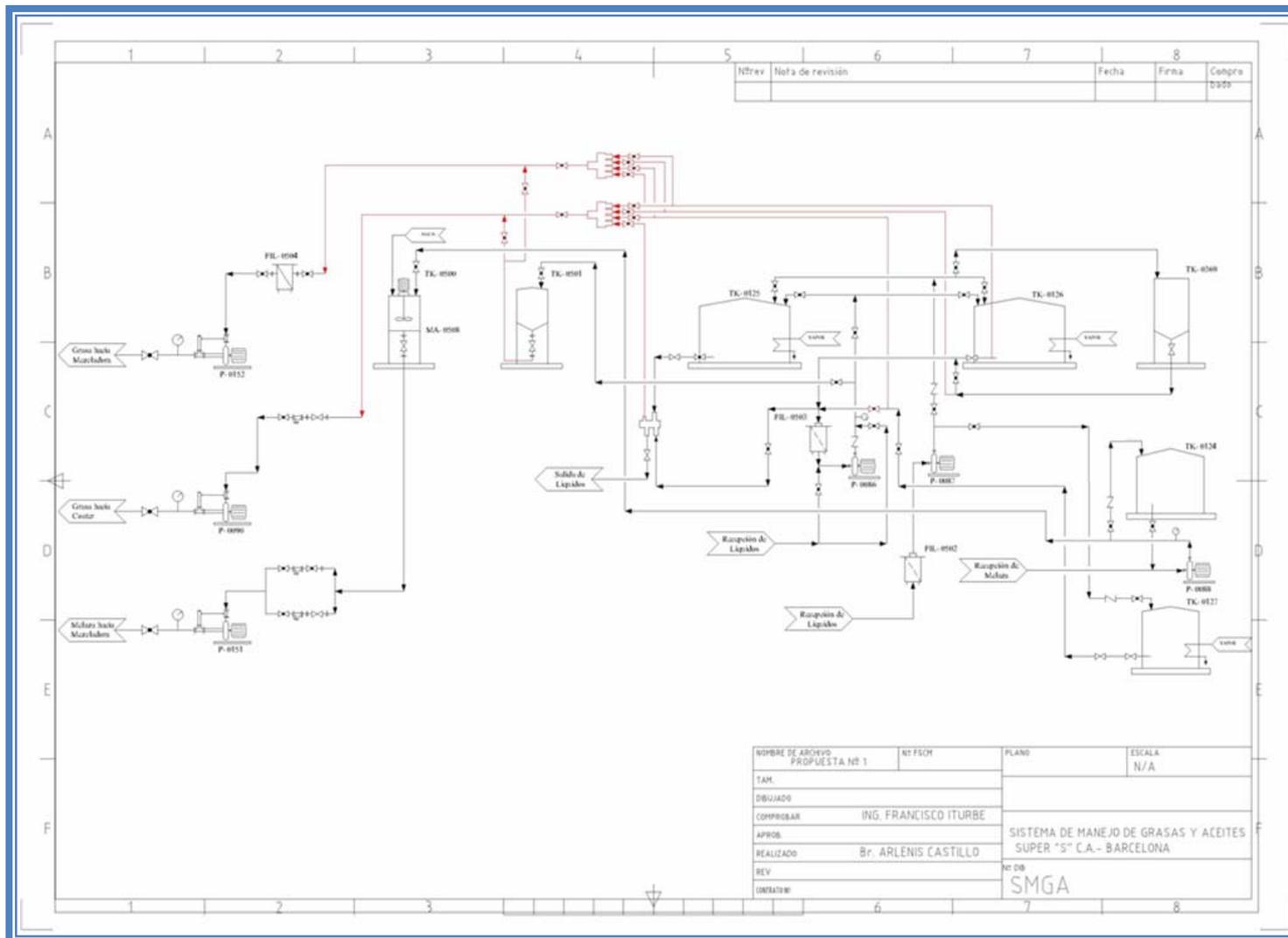


Figura 3.5. Propuesta N°1 para el diseño de la nueva red de tuberías

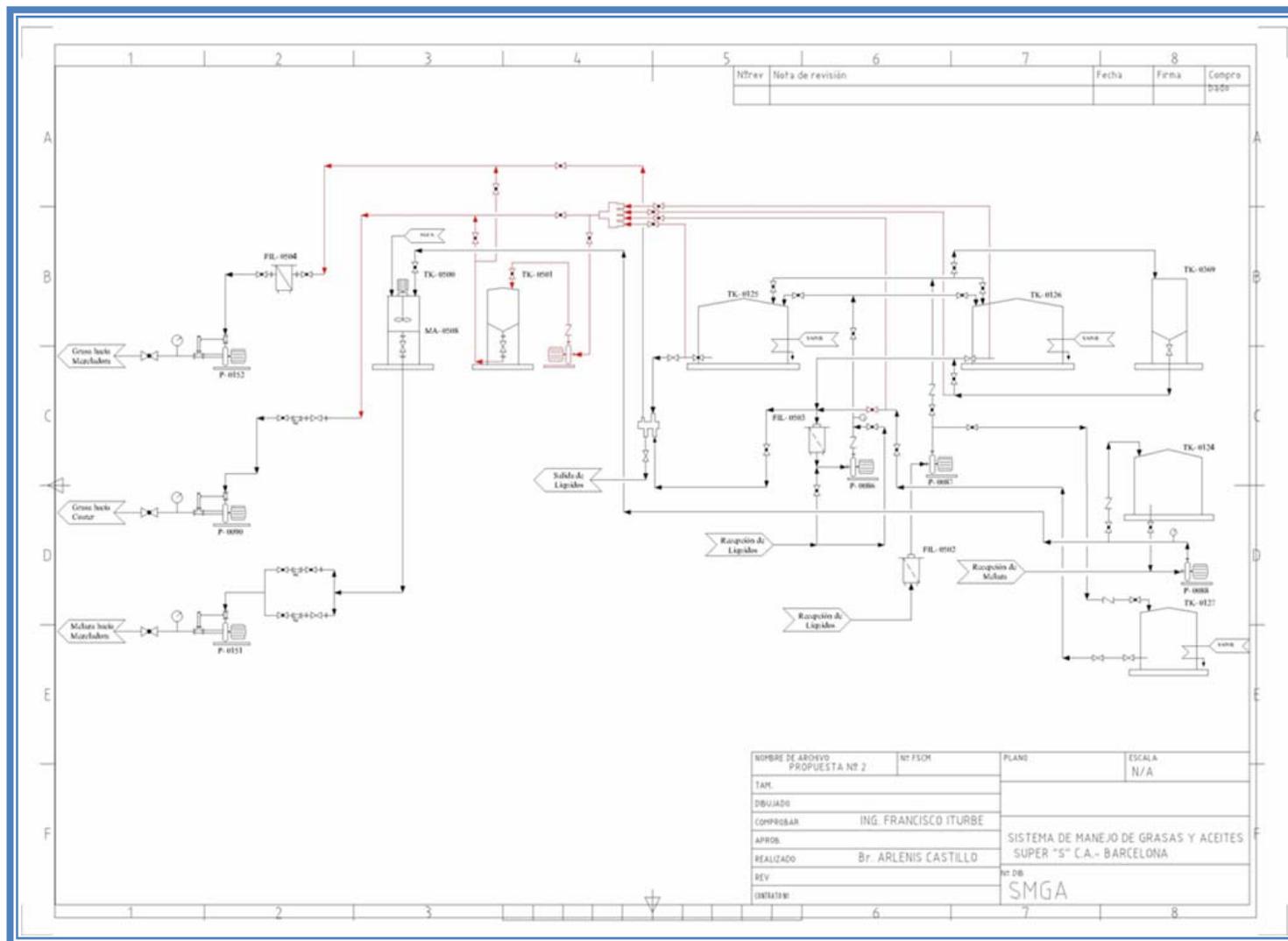


Figura 3.6. Propuesta N°2 para el diseño de la nueva red de tuberías

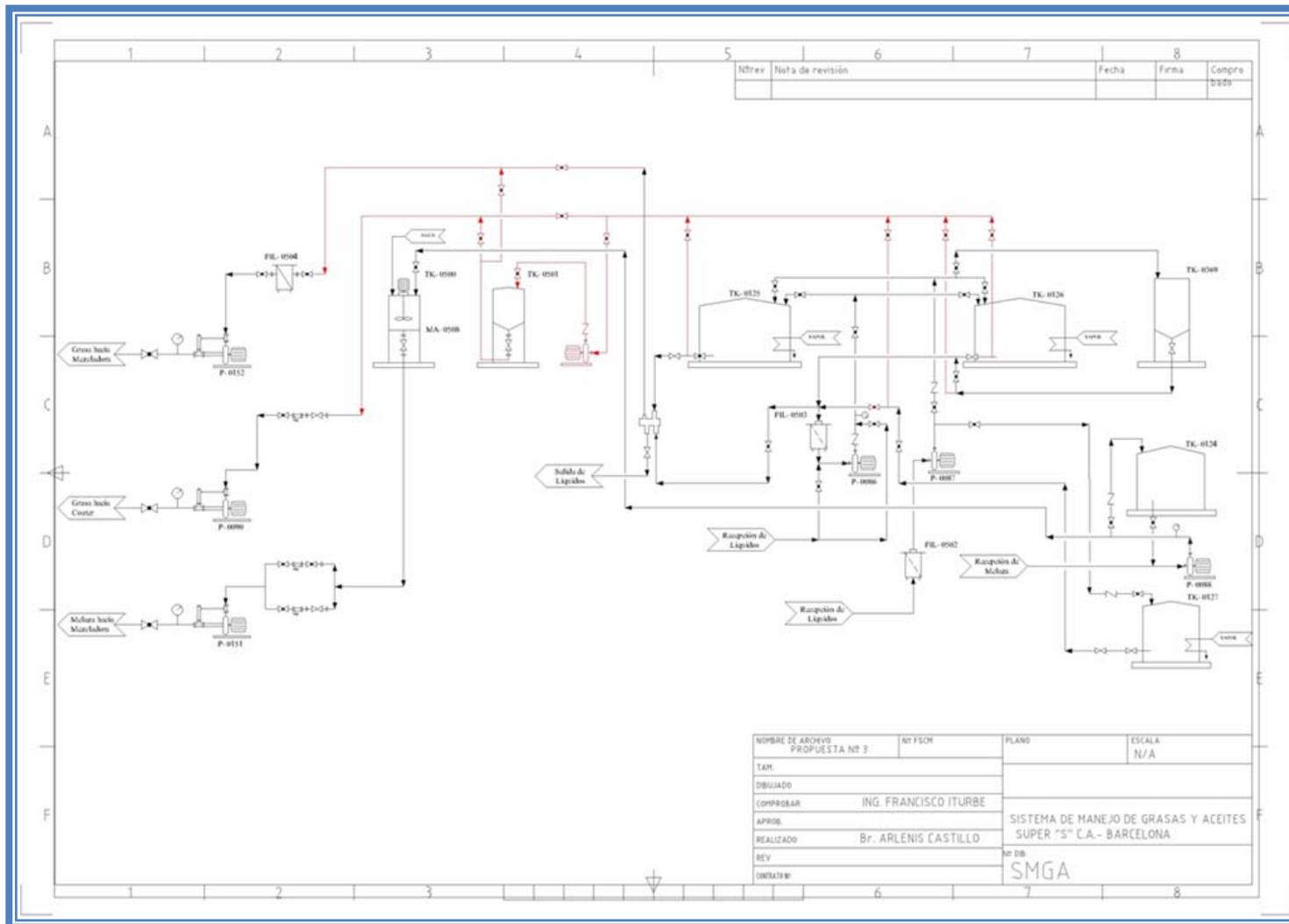


Figura 3.7. Propuesta N°3 para el diseño de la nueva red de tuberías

### 3.3.3. Selección de la bomba para llenado del tanque y cálculos hidráulicos para la nueva red de tuberías

Se seleccionó la bomba necesaria para el llenado del tanque de mezcla y se hicieron cálculos hidráulicos para la determinación de las presiones que deben soportar las válvulas presentes en el sistema.

#### 3.3.3.1. Selección de bomba

La selección de la bomba se realizó a través de los catálogos de proveedores (anexo B), en función del tiempo de llenado que se quiere para el tanque y el caudal necesario a la entrada para cumplir dicho tiempo.

Por teoría se conoce que el caudal se define por la ecuación 3.11.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{Ec. 3.11})$$

Donde:

Q= caudal de fluido (m<sup>3</sup>/min)

V= volumen del tanque (m<sup>3</sup>)

t= tiempo de llenado del tanque (min)

El tiempo de llenado se fijó entre 10 y 20 min, de acuerdo a requerimientos internos de la planta; para el cálculo del caudal necesario se fijó en un promedio de 15min, tomando el volumen del tanque de la tabla 4.1 el caudal quedó:

$$Q = 0,32 \text{ m}^3 / \text{min}$$

Para la selección del bomba se hizo uso de la tabla 3.12, tomada del catalogo de proveedores.

**Tabla 3.12.** Tamaño y capacidad promedio de las bombas Viking

Modelo Bomba en letras	C	F	FH	G	GG	H	HJ	HL	K	AS	KK	AK	L or LQ	AL	LL	LS	QR	MR	NR	RR
<b>GPM</b>	1/2	1	3	5	10	15	20	30	60	35	80	50	135	75	140	200	300	420	600	1100
<b>RPM</b>	1800	1800	1800	1200	1800	1800	1800	1800	640	1200	640	1200	640	1200	520	640	520	420	350	280

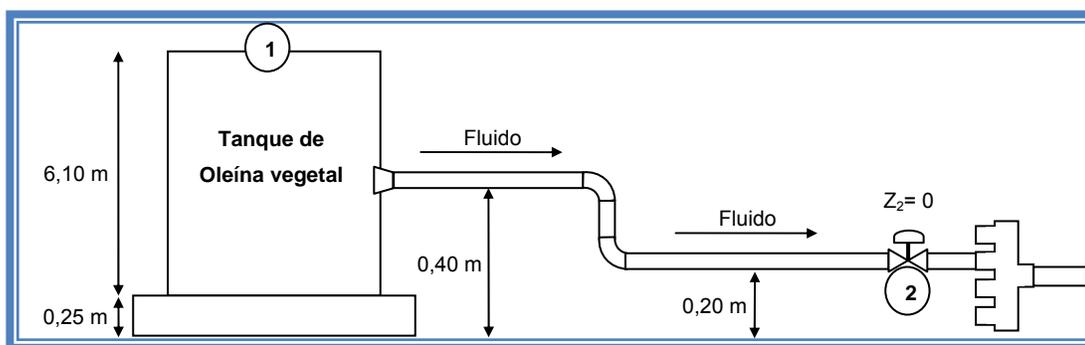
Como los datos de capacidad para las bombas están en GPM, el caudal antes obtenido se transformó en dichas unidades.

$$Q = 84,53 \text{ GPM}$$

### 3.3.3.2. Calculo de presiones

Para realizar el cálculo de la presión que deberán soportar las válvulas a la entrada del manifold, fue necesario utilizar la ecuación de Bernoulli, ecuación 2.6.

Además, para el cálculo de la presión, se deberán tomar en cuenta la ubicación tanto del manifold como de los tanques de almacenamiento, para lo cual se utilizará la siguiente referencia:



**Figura 3.8.** Referencia utilizada en el cálculo de presiones para el tanque de Oleína vegetal

Para los demás tanque se utilizó diagramas semejantes, adaptados a las medidas correspondientes de cada uno. La siguiente tabla muestra los parámetros que influyen en la presión de las válvulas:

**Tabla 3.13.** Parámetros que influyen en la presión de las válvulas

PARÁMETROS	OLEÍNA VEGETAL	MIX.GRASA AMARILLA-OLEÍNA	ACEITE SOYA	SEBO ANIMAL
Altura manométrica (m)	6,15	6,20	7,18	4,15
Caudal (cm <sup>3</sup> /s)	663,54	662,13	645,27	626,28
Gravedad (m/s <sup>2</sup> )	9,81	9,81	9,81	9,81
Diámetro de tubería (m)	0.0525	0.0525	0.0525	0.0525

El caudal de cada fluido fue obtenido mediante pruebas experimentales, donde se tomaron volúmenes a diferentes tiempos.

Para obtener la presión, primero se calcularon las perdidas a través de la trayectoria para cada uno de los productos. Las pérdidas totales, vienen dadas por las pérdidas por fricción en tramos rectos de tuberías más las pérdidas por accesorios; tal como se muestra en la ecuación 3.12.

$$h_l = \left( \frac{v^2}{2} * \frac{f}{D} * \sum l \right) + \left( \frac{v^2}{2} * \sum E_v \right) \quad (\text{Ec. 3.12})$$

Donde:

f= factor de fricción

l= longitud de la tubería (m)

D= diámetro interno de la tubería (m)

V= velocidad del fluido (m/s)

Ev= coeficiente de perdida para accesorios

Velocidad del fluido: para el cálculo de la velocidad de transporte de cada fluido se utiliza la ecuación 3.13.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi/4 \cdot D^2} \quad (\text{Ec. 3.13})$$

Donde:

Q= caudal del fluido (m<sup>3</sup>/s)

A= área transversal de la tubería (m<sup>2</sup>)

D= diámetro interno de la tubería (m)

Para la Oleína Vegetal la velocidad de transporte fue:

$$v = \frac{663,54 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} * \frac{1 \text{ m}^3}{(100 \text{ cm})^3}}{\pi/4 * (0,0525 \text{ m})^2} = 0,3065 \text{ m/s}$$

Factor de Fricción: para determinar el factor de fricción se debe conocer el número de Reynolds, ya que éste es función del régimen del flujo y la rugosidad de la tubería; el cálculo del número de Reynolds se realizó por la ecuación 2.4. El cálculo para la oleína fue:

$$N_{Re} = \frac{900 \text{ Kg/m}^3 * 0,3065 \text{ m/s} * 0,0525 \text{ m}}{0,0367 \text{ Kg/m} \cdot \text{s}} = 394,61$$

Como el N<sub>Re</sub> es menos a 2.100 el flujo es laminar, el factor de fricción no depende de la rugosidad de la tubería y se calculó por la ecuación 2.8.

$$f = \frac{64}{394,61} = 0,16$$

Longitud de las tuberías y coeficiente de perdida para accesorios: se realizó un inventario de los accesorios totales de las tuberías y una medición de las longitudes de cada una, tanto de las líneas nuevas así como de los tramos

ya existentes por donde circula el fluido que va a llegar al manifold; en la tabla 3.14 se presenta tal inventario.

**Tabla 3.14.** Inventario de accesorio y longitudes para el cálculo de presiones

LÍNEA DE FLUIDO	LONGITUD LINEAL (m)	ACCESORIOS
Oleína vegetal	5	1 válvulas de bola 1 te 2 codo de 90° 1 contracción brusca
Mix. Grasa amarilla-Oleína vegetal	12	1 te 2 codos de 90° 1 unión universal 1 contracción brusca
Aceite de soya	18	1 válvula de compuerta 1 válvula de bola 2 uniones universales 3 codos de 90° 1 codo de 35° 1 te 1 contracción brusca
Sebo animal	29	2 válvulas de compuerta 1 válvulas de bola 8 codos de 90° 1 te 1 unión universal 1 contracción brusca

Definidos los accesorios se procedió a hacer la sumatoria de los coeficientes de pérdidas para cada una de las líneas, dichos coeficientes se tomaron de las tablas de pérdidas en accesorios (mostradas en el anexo F); para la línea de oleína vegetal el  $E_v$  resultó tal como se muestra en la tabla 3.15.

**Tabla 3.15.** Coeficiente de pérdidas en accesorios para la línea de oleína

Accesorios	Coficiente	Total
1 Válvulas de bola	0,20	0,20
1 Te	1,00	1,00
2 Codos de 90°	0,75	1,50
1 Contracción brusca	0,55	0,55
	$E_{v_{Oleína}}$	3,25

Aplicando la ecuación 3.14, las pérdidas totales en la tubería de oleína vegetal fueron:

$$h_f = \left[ \frac{(0,3065 \text{ m/s})^2}{2} * \frac{0,16}{0,0525\text{m}} * 5\text{m} \right] + \left[ \frac{(0,3065 \text{ m/s})^2}{2} * 3,25 \right]$$

$$h_f = 0,868 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Una vez conocido todos los parámetros, se calculó la presión que deberán soportar las válvulas. Para esto se utiliza la ecuación 2.6 y se debe tomar en cuenta la ubicación tanto de las válvulas como de los tanques de almacenamiento.

Al estar abierto al exterior en el punto 1 la presión es  $P_1=0$  y como el tanque tiene un área muy grande en cada descarga la velocidad es  $V_1 \approx 0$ ; por lo cual la ecuación queda de la siguiente manera:

$$P_2 = \left( Z_1 \cdot g - \frac{V_2^2}{2} - h_L \right) \cdot \rho \quad (\text{Ec. 3.14})$$

Las válvulas serán enfrentadas a dos valores de presiones; la primera será cuando se produzca la descarga del producto, donde existirá una velocidad del flujo y pérdidas tanto de accesorios como por fricción. La segunda será cuando no exista descarga, por lo que la presión será solo por la altura, debido a que no habrá movimiento y la velocidad será cero, al igual que las pérdidas por fricción y accesorios.

Sustituyendo en la ecuación 3.14 los valores ya calculados, la presión en la válvula cuando se produce la descarga del producto fue:

$$P_2 = \left[ \left( 9,8 \frac{m}{s^2} * 6,15m \right) - \frac{\left( 0,3065 \frac{m}{s} \right)^2}{2} - 0,868 \frac{m^2}{s^2} \right] * 900 \frac{Kg}{m^3} = 53.419,53 Pa$$

Para el segundo caso, cuando no existe descarga (movimiento) de producto, la presión resultó:

$$P_2 = \left( 9,8 \frac{m}{s^2} * 6,15m \right) * 900 \frac{Kg}{m^3} = 54.243 Pa$$

El procedimiento para calcular dicha presión es el mismo para todas las válvulas, en la tabla 4.7 se muestran cada parámetro calculado y los resultados obtenidos de presiones se muestran en la tabla 4.8.

### **3.4. Adecuación de las líneas de calentamiento a las necesidades del sistema de manejo de grasas y aceites propuesto**

Este objetivo buscó actualizar el sistema de calentamiento del área de grasas y aceites a la nueva red de tuberías propuesta; para el logro de esta etapa se caracterizó el vapor utilizado y se hizo un levantamiento del sistema actual, una vez identificado la situación actual se evaluó su funcionamiento y se propusieron medidas a implementar para su adecuación.

#### **3.4.1. Caracterización del sistema de vapor actual**

En este punto se identificaron las propiedades del vapor utilizado y se realizó una inspección visual de los serpentines de calentamiento, a fin de elaborar un diagrama sobre su recorrido y la secuencia de calentamiento de las tuberías de grasas y aceites.

Las propiedades identificadas del vapor fueron la presión y temperatura, con ellas se determinó el estado del vapor haciendo uso de las tablas correspondientes (mostradas en el anexo H). Se consultaron los diagramas de distribución de vapor de la planta (anexo G), para verificar plenamente el punto de la línea principal de donde es tomado el vapor de calentamiento

usado para el área de grasas y comprobar la presencia de termómetros y manómetros que permitieran la caracterización del vapor.

Por otro lado se realizó una inspección visual de los serpentines de vapor y se identificó la secuencia de éstos para el calentamiento de los fluidos grasos, luego con los datos recogidos se procedió al trazado en AutoCAD del diagrama correspondiente, el cual se muestra en la figura 4.15.

En el diagrama de vapor de la compañía (anexo G), se observa la distribución de las líneas de vapor y el punto de la línea principal donde se encuentra la conexión hacia los tanques de grasas y aceites. Se pudo verificar que en dicha conexión existe una válvula reguladora de presión y luego de ella se localiza un manómetro, del cual se hizo uso para identificar la presión a la cual el vapor es enviado a los tanques. Para la identificación de temperatura no existe ningún termómetro instalado en la línea, por lo cual fue necesario el uso de un termómetro Laser, que permitió obtener la temperatura externa de la tubería que transporta en vapor. En la tabla 3.16 se muestran los parámetros identificados del vapor.

**Tabla 3.16.** Parámetros del vapor utilizado para el calentamiento en sistema de grasas y aceites

Parámetro	Valor identificado
Presión (MPa)	0,55
Temperatura (°C)	155

Con estos datos se consulto las tablas de vapor a fin de comprobar el estado del vapor; se utilizaron las tablas de vapor saturado (anexo H) y se interpoló el valor de temperatura correspondiente a la presión de 0,55MPa, verificando si la temperatura calculada corresponde a la temperatura medida.

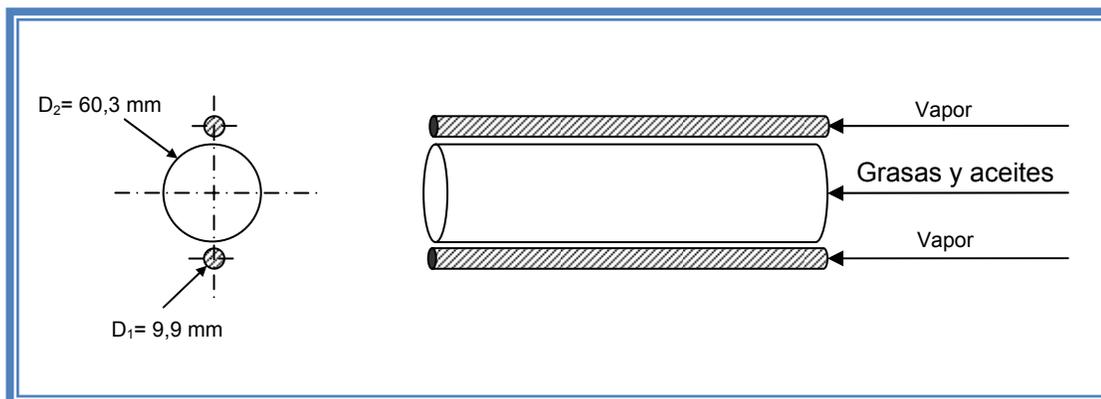
A la presión medida la temperatura interpolada resultó de:

$$T_{sat} = 155,48^{\circ}\text{C}$$

### 3.4.2. Determinación de las necesidades teóricas de vapor para calentamiento

Una vez identificado y caracterizado el sistema se procedió a calcular la necesidad teórica de vapor para el calentamiento; es decir, la cantidad de vapor que se necesita en el sistema para garantizar el flujo de las grasas y aceites por las tuberías, evitando la solidificación de los fluidos.

En la figura 3.9 se presenta la configuración del sistema actual de calentamiento con vapor de la planta.



**Figura 3.9.** Sistema actual de calentamiento

Para determinar el flujo másico de vapor teórico que se requiere, primero se calculó la cantidad de energía que se debe suministrar a las grasas en un momento dado, para garantizar su fluidez; los cálculos se realizaron con el sebo animal, ya que éste fluido requiere mayor calentamiento.

El calor que debe recibir el fluido viene dado por la ecuación 3.15.

$$\dot{q} = \dot{m} * C_p * (T_f - T_i) \quad (\text{Ec. 3.15})$$

Donde:

$\dot{m}$  = flujo másico del fluido (Kg/s)

$C_p$ = capacidad calorífica (J/Kg.°C)

$T_f$ = temperatura final (°C)

$T_i$ = temperatura inicial (°C)

El flujo másico de dicho fluido a través de las tuberías se calcula por la ecuación 3.16:

$$\dot{m} = \rho * Q \quad (\text{Ec. 3.16})$$

Donde:

$\rho$ = densidad del fluido (Kg/s)

$Q$ = caudal del fluido ( $m^3/s$ )

$$\dot{m} = 950 \frac{Kg}{m^3} * 626,28 \frac{cm^3}{s} * \frac{1m^3}{(100cm)^3}$$

$$\dot{m} = 0,59 \text{ Kg/s}$$

La temperatura final usada fue la correspondiente a la temperatura de fusión del sebo ( $T_f=40^\circ\text{C}$ ) y para temperatura inicial se asumió de tal manera que se asegure el calor suficiente tanto para los días soleados como para los días nublados ( $T_i= 25^\circ\text{C}$ ); la capacidad calorífica utilizada también corresponde al sebo animal (tabla 3.6) y al aplicar la ecuación 3.15 se obtuvo:

$$\dot{q} = 0,59 \text{ Kg/s} * 2.300 \text{ J/Kg.}^\circ\text{C} * (40 - 25)^\circ\text{C}$$

$$\dot{q} = 20.355 \text{ J/s}$$

Como la configuración del sistema no posee aislante, existen muchas pérdidas de calor al medio ambiente, por lo cual el calor suministrado por el

serpentín debe ser mayor al calculado. Para determinar la cantidad de calor real que debe suministrar el serpentín a la tubería, se hizo uso de una metodología de cálculo desarrollada para tuberías con acompañamiento de vapor. (Monteagudo Yanes, Perez Landin, & Guerra Fernandez, 1998)

De acuerdo a la posición del serpentín, dicha metodología permitió calcular el ángulo selectivo de calentamiento, en función de ese ángulo se pudo saber que fracción de calor se dirige realmente a la tubería y qué cantidad de calor debe ser suministrada por el serpentín para compensar las pérdidas al medio ambiente. La cantidad de calor recibida por la tubería viene dado por la ecuación 3.17;

$$\dot{q} = \frac{\beta}{360^\circ} * \dot{Q} \quad (\text{Ec. 3.17})$$

Donde:

$\beta$ = ángulo selectivo de calentamiento

$\dot{Q}$ = calor total que suministra el serpentín (J/s)

En la figura 3.13, se observa el ángulo selectivo de calentamiento para el sistema presente en el área de grasas y aceites, la ecuación para el cálculo del ángulo está definido como:

$$\cos \beta = \frac{d_2 - d_1 - 0,002}{d_2 + d_1} \quad (\text{Ec. 3.18})$$

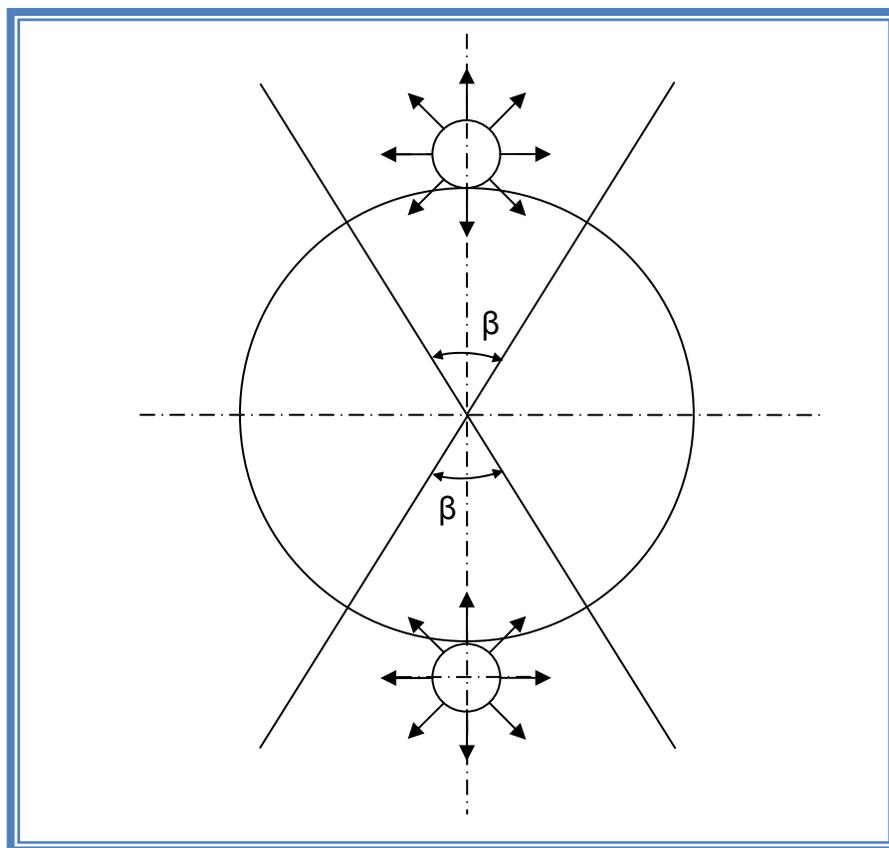
Donde:

$d_1$ = diámetro de la tubería de vapor (m)

$d_2$ = diámetro de la tubería de grasa (m)

Con los diámetros externos de cada tubería el ángulo de calentamiento resultó:

$$\beta = \cos^{-1} \left( \frac{(0,0603) - (0,0099) - 0,002}{0,0603 + 0,0099} \right) = 64^\circ$$



**Figura 3.10.** Tubería de vapor acompañante con ángulo selectivo de calentamiento

Despejando de la ecuación 3.17, el calor que debe suministrar el serpentín resultó:

$$\dot{Q} = \frac{20.355 \text{ J/s} * 360^\circ}{64^\circ + 64^\circ} = 57.278,44 \text{ J/s}$$

Una vez calculado el calor real que deben suministrar los serpentines, se calculó el flujo másico de vapor a circular para obtener el flujo de calor necesario, para lo cual se utilizó la ecuación 3.19.

$$\dot{Q} = \dot{m} * \Delta H_{vapor} \quad (\text{Ec. 3.19})$$

Donde:

$\dot{Q}$  = flujo de calor desprendido (J/s)

$\dot{m}$  = flujo másico de vapor (Kg/s)

$\Delta H_{vapor}$  = entalpia del vapor (J/Kg)

La entalpia del vapor se obtiene de las tablas de vapor saturado (anexo H), a la presión y temperatura de proceso, despejando de la ecuación 3.19 se obtiene:

$$\dot{m} = \frac{57.278,44 \text{ J/s}}{2,753 \times 10^6 \text{ J/Kg}} = 0,0208 \text{ Kg/s} * \frac{3.600s}{1h} = 74,88 \text{ Kg/h}$$

Como línea dirigida a los tanques de grasa y aceites es separada en 4 corrientes antes de llegar a los serpentines, la corriente total de vapor que debe ser enviada hacia el área desde la corriente principal es:

$$\dot{m} = 4 * 74,88 \text{ Kg/h} = 299,52 \text{ Kg vapor/h}$$

Dicho vapor se comparó con el flujo actual de vapor que se envía hacia el área de grasa y aceites, para evaluar el funcionamiento del sistema.

### **3.4.3. Diseño de las nuevas líneas de calentamiento para el sistema de grasas y aceites propuesto**

Una vez caracterizado el sistema de calentamiento del área de grasa y aceites y evaluado su funcionamiento, se procedió a trazar en AutoCAD un diagrama que adecue los serpentines de calentamiento a la nueva red de tuberías propuesta para la distribución de los fluidos hacia planta; dicho diagrama se muestra en la figura 4.16.

### **3.5. Desarrollo de una base de cálculo computarizada que permita el control y seguimiento operacional del sistema**

En esta etapa se desarrollaron con ayuda de Microsoft Office Excel, varias hojas de cálculos que permitieran llevar un control y hacer un seguimiento de las operaciones del sistema de manejo de grasas y aceites; las hojas de cálculo desarrolladas fueron tres y se describen a continuación:

#### **3.5.1. Control de tanques de almacenamiento**

La primera hoja desarrollada tiene como función llevar el control de la cantidad de fluido contenido en cada tanque de almacenamiento, para ello fue necesario programarla con las dimensiones obtenidas de cada tanque; en función de los metros vacíos medidos se puede obtener el volumen de fluido que está presente en los diferentes tanques y con la densidad se determina la cantidad existente de cada producto. En la figura 4.17 se muestra la interface de la hoja de control de los tanques de almacenamiento.

#### **3.5.2. Actualización de materia prima**

Se desarrolló con ayuda de Microsoft Visual Basic, un programa que tiene como función actualizar las características de los productos contenidos en los tanques de almacenamiento, cada vez que llegue un producto nuevo y sea vaciado en el tanque correspondiente. El programa calcula los nuevos

parámetros químicos de cada grasa, así como también la nueva proporción de la mezcla de grasa amarilla y oleína vegetal una vez que se adicione una cantidad nueva al fluido contenido en el tanque. Junto con el programa se desarrollo una hoja de cálculo que permite almacenar los valores obtenidos para el fluido final.

Los parámetros químicos a actualizar de cada grasa son:

- %Humedad
- %Impureza
- %Materia Insaponificable
- %Acidez o ácidos grasos libres
- Índice de Peróxido
- Índice de Iodo

Las características individuales de cada fluido nuevo son determinadas por el departamento de control de calidad y cargados al sistema, las características de los fluidos contenidos en el tanque van a estar almacenadas en la hoja de cálculo desarrollada, el programa calculará entonces las características finales de la mezcla de ambos fluidos y los almacenará nuevamente en la hoja de cálculo, como registro para cuando llegue el próximo fluido nuevo. En la figura 4.18 y 4.19, se muestran las interfaces del programa para el cálculo en los tanques de fluidos individuales y para el tanque de mezcla grasa amarilla-oleína respectivamente y en la figura 4.20 se presenta la interface de la hoja de cálculo desarrollada.

### **3.5.3. Control de tanque de mezcla**

Por último se desarrolló una hoja de cálculo asociada al programa creado en uno de los objetivos anteriores, el cual permite el cálculo de los parámetros de las mezclas de fluidos grasos. La función de la hoja consiste en

almacenar los datos de las mezclas realizadas y su interface se muestra en la figura 4.21.

### **3.6. Estudio preliminar de los costos de la implementación del rediseño en el sistema**

Se realizó un estudio a fin de conocer el capital de inversión necesario para la implementación del rediseño del sistema de manejo de grasas y aceites, por lo que se desea conocer los costos de los materiales, equipos y accesorios principales de la propuesta elaborada. Para la estimación de los costos de inversión del nuevo sistema a implementar, fue necesario inicialmente obtener a través de proveedores el costo aproximado de cada material y equipo asociado al rediseño.

En la tabla 4.9 se muestran los principales materiales, equipos y accesorios necesarios para el rediseño del sistema, así como los precios obtenidos en las cotizaciones con los proveedores y la inversión mínimo a realizar en el rediseño es la suma de cada uno de los costos.

## CAPÍTULO IV

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Discusión de resultados

##### 4.1.1. Elaboración del diagrama de flujo de proceso (DFP) y el diagrama de tubería e instrumentación (DTI) del sistema actual

Para efectuar un rediseño en algún sistema operativo de una planta, es necesario primeramente verificar el estado y funcionamiento del mismo. Debido a que la planta no contaba con ninguna información escrita y/o digital sobre el área de manejo de grasas y aceites, se elaboraron los diagramas de flujo e instrumentación, los cuales permitieron una completa familiarización con los procesos que sufren los fluidos grasos una vez que entran en el sistema, así como también obtener un mayor conocimiento de las necesidades presentes. Antes del trazado de los diagramas del sistema actual se caracterizaron cada uno de los equipos presentes:

##### 4.1.1.1. Cálculo del volumen de los tanques

En el caso de los tanques obteniendo sus dimensiones de altura y diámetro, se determinaron la capacidad de almacenamiento que poseen.

**Tabla 4.1.** Volúmenes de los tanques presentes en el sistema

Tanques	Volumen (m <sup>3</sup> )
Sebo Animal	21,80
Melaza	43,10
Aceite de Soya	32,96
Mezcla Oleína y Grasa Amarilla	101,40

Oleína Vegetal	82,50
Grasas	4,80
Dilución Melaza	2,30

#### 4.1.1.2. Determinación de las características de las bombas

Los parámetros de las bombas del sistema se obtuvieron de los catálogos de proveedores marca VIKING, según el modelo y serial indicados en la chapa de cada una. Las bombas utilizadas en sistema son bombas rotativas y especiales para procesos donde se manejan fluidos viscosos.

Se encontró que en el sistema se utilizan bombas con distintas capacidades; esto debido a la función que cumple cada una de ellas, en el caso de las bombas de recepción el caudal debe ser mayor al caudal de la bomba de suministro, ya que se desea que la descarga del producto al sistema se haga lo más rápido posible. Para las bombas dosificadoras, el caudal que pasa a través de ellas es variable y son manejadas por medio de un variador de frecuencia, el caudal de trabajo va a depender del flujo de producto necesario en cada una de las áreas hacia donde se dosifican los fluidos.

#### 4.1.1.3. Identificación de los equipos

La representación de los equipos en los diagramas incluye una codificación numérica, en la planta existe un archivo maestro que contiene el número de identificación de cada uno de los equipos presentes (anexo C), por lo que se hizo uso de dicha numeración interna para establecer los códigos finales de los equipos en el área de estudio.

**Tabla 4.2.** Código de identificación de los equipos del sistema actual

Equipos	Código
Tanque de Melaza	TK- 0124
Tanque de Oleína Vegetal	TK- 0125

Tanque de Mezcla Oleína Vegetal-Grasa Amarilla	TK- 0126
Tanque de Sebo Animal	TK- 0127
Tanque de Aceite de Soya	TK- 0369
Tanque de Melaza diluida	TK- 0500
Tanque de Grasas	TK- 0501
Bomba suministro de grasa	P- 0086
Bomba recepción de grasa	P- 0087
Bomba recepción de melaza	P- 0088
Bomba dosificadora de grasas al coater	P- 0090
Bomba dosificadora de grasas a la mezcladora	P-0152
Bomba dosificadora de melaza	P- 0151
Filtros de grasas	FIL- 0503
	FIL- 0504
	FIL- 0505
Agitador de dilución de melaza	MA- 0508

#### 4.1.1.4. Caracterización de las tuberías

Con una inspección detallada de cada línea de tubería se terminó de recolectar toda la información física necesaria para el trazado de los diagramas, se identificaron las características de las líneas de procesos principales (grasas y aceites) y las líneas de fluidos de servicios (agua y vapor), también se verificó la existencia de sistemas de calentamiento y la presencia de algunos instrumentos de medición y control.

Se obtuvo que el material de las líneas de proceso es acero negro, debido a que este material es el utilizado para fluidos grasos; los diámetros de las tuberías son de tres pulgadas nominal para las líneas de recepción y dos pulgadas nominal para las de suministros a planta; las tuberías poseen un sistema de traceado con vapor de alta presión, para evitar la solidificación de los fluidos. Por otro lado el sistema no posee muchos instrumentos de medición y control, se observó sólo la presencia de algunos manómetros a la salida de las bombas, a fin controlar la carga que la columna de fluido ejerce sobre las bombas.

Las válvulas presentes en el sistema son todas manuales, según su ubicación y uso deseado son de abertura rápida (válvulas de bola), de abertura lenta (válvula de compuerta) y para evitar las cargas elevadas a las salidas de las bombas se utilizan válvulas que permiten el flujo en un solo sentido (válvulas check).

Tomando como referencia los manuales de diseños, todas estas características señaladas fueron representadas en el diagrama de flujo de procesos y de tubería e instrumentación y se pueden observar en las figuras 4.1 y 4.2.

#### **4.1.2. Establecimiento de los parámetros de diseño y controles automáticos necesarios en un tanque de mezclado**

En ésta etapa se adecuaron las instalaciones del sistema para la preparación de diferentes mezclas de grasas y aceites. En el objetivo anterior se constató que en esta área está presente un tanque que se usa de manera muy escasa (TK-0501), que puede ser aprovechado para satisfacer las necesidades actuales existentes en la planta en cuanto al pesado y mezclado de los fluidos grasos. Partiendo de las características de dicho tanque se procedió a diseñar todo el sistema de mezclado, lo cual abarcó la selección del agitador, la selección de la estructura de soporte y la elaboración de una lógica de control que permitiera la elaboración manual y automática de las mezclas formuladas y su enlace con el proceso productivo de la planta.

##### **4.1.2.1. Selección del agitador y parámetros para el mezclado**

La selección del agitador se realizó según el rango de viscosidades de los fluidos que se manejan en el sistema, dicho rango se definió entre 10 y 100 cP, se tomó un rango bastante amplio para darle mayor libertad operacional al sistema y prever posibles cambios en los fluidos manejados en la planta o

cambios en la temperatura de los fluidos que podrían aumentar y disminuir la viscosidad.

De acuerdo a la figura 2.18, los agitadores que corresponden al rango de viscosidades seleccionadas son los agitadores tipo propela y los agitadores tipo turbina, de los cuales se hizo una investigación más profunda para verificar cual se adecuaba más al sistema según el tipo de mezcla que se desea y las características del tanque que va a ser utilizado. En la tabla 3.7 se recopilieron las ventajas y desventajas de estos dos tipos de agitadores, obteniéndose que el agitador tipo propela tiene mayores ventajas que el agitador tipo turbina.

Unas de las razones por lo que un agitador tipo propela resulta adecuado para el sistema es debido a que las palas de la hélice cortan y cizallan vigorosamente el líquido, y la persistencia de las corrientes de flujo los hace eficaces tanto en tanques pequeños como en tanques muy grandes. Por otro lado, el tamaño del impulsor no depende del tamaño del tanque, las hojas de los impulsores son normalmente pequeñas y pueden girar hasta altas velocidades, contribuyendo a bajos consumos de energía y bajos costos de inversión (MacCabe, Smith, & Harriott, 1991). Los agitadores tipo turbina por su lado ofrecen como ventaja la producción de corrientes intensas, que se extienden por todo el tanque y destruyen las masas de líquido estancado; pero para mantener esta eficiencia el tamaño del impulsor debe aumentar

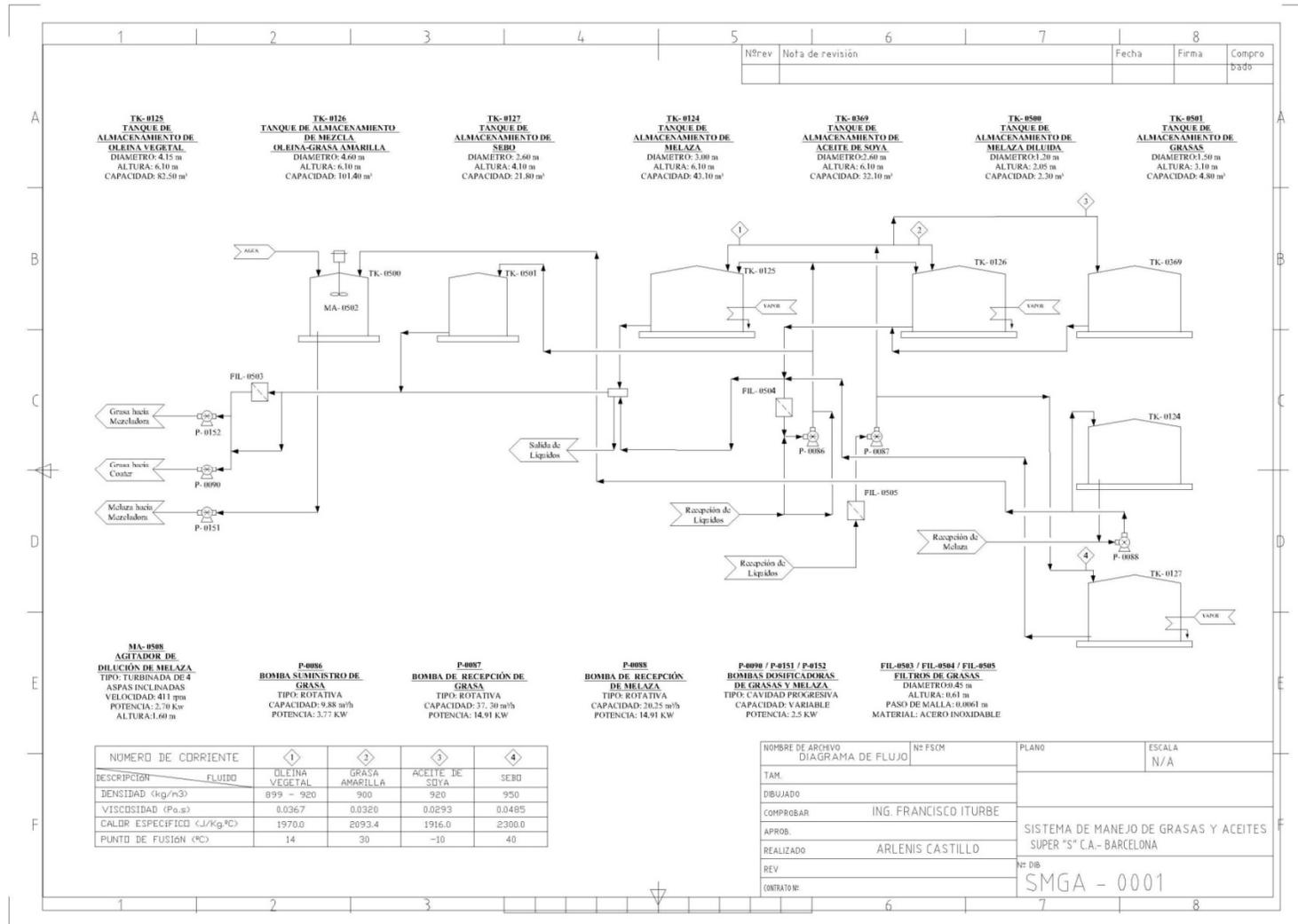


Figura 4.1. Diagrama de flujo de proceso del sistema actual

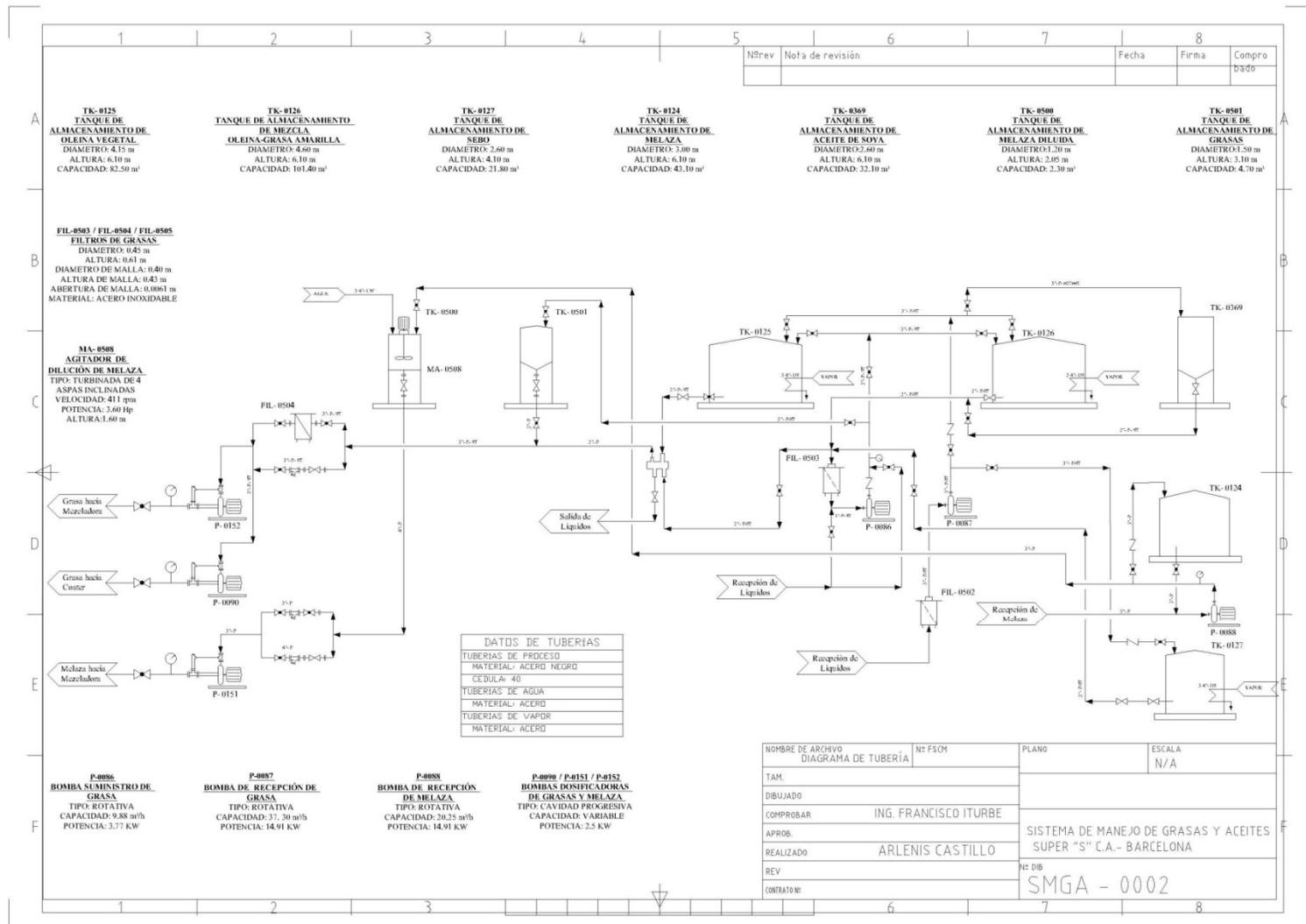


Figura 4.2. Diagrama de tubería e instrumentación del sistema actual

conforme aumente el tamaño del tanque, en tanques con una gran altura de fluido se hace necesario la instalación de varios impulsores sobre un mismo eje, lo que aumenta considerablemente el consumo de energía y los costos del sistema.

Ambos agitadores presentan como desventaja el hecho que colocados centrados verticalmente tienden favorecer el flujo tangencial, lo que provoca la formación de vórtices en el tanque y no contribuye al mezclado de los fluidos. Para evitar dicho comportamiento se pueden instalar deflectores dentro del tanque o instalarse el agitador descentrado; al instalar los agitadores de turbina de manera vertical pero descentrados estos evitan eficientemente la formación de vórtices, pero los agitadores de propela a parte de poder instalarse verticalmente fuera del centro también pueden ser instalados lateralmente en el fondo, provocando un mayor movimiento del flujo global del tanque y un mezclado mucho más eficiente (MacCabe, Smith, & Harriott, 1991). Por todas estas razones el agitador seleccionado para el sistema de mezclado fue el de tipo propela o hélice marina, colocado lateralmente en el fondo del tanque.

Se consultaron páginas de proveedores de equipos de agitación y se comprobó que este tipo de agitadores son muy utilizados y resultan muy eficientes a nivel de campo para la mezcla de fluidos grasos; para las especificaciones técnicas se tomaron como referencia los parámetros normalizados presentes en los manuales de instrucciones de dichas páginas.

La colocación seleccionada para el agitador fue la vertical - exterior, tal como se muestra en la figura 3.3, la posición semivertical del agitador contribuye a un mayor movimiento de los fluidos dentro del tanque y al presentar una inclinación se favorece la formación de los tres patrones de flujo, el tangencial, el radial pero sobre todo el longitudinal, el cual es el que mayormente contribuye al mezclado de los fluidos; cabe destacar que los ángulos de ataque tanto de corte lateral como de corte horizontal producen la

formación de turbulencia dentro del tanque lo cual ayuda a un mezclado eficiente. La configuración exterior se seleccionó porque que presenta mayor facilidad de instalación, ya que solo requiere la instalación de una brida en la superficie del tanque.

El consumo de energía para este tipo de agitadores resulta bajo, lo cual queda demostrado por la relación existente entre la velocidad máxima de agitación y la potencia requerida para el accionamiento del agitador hasta dicha velocidad, para alcanzar una velocidad máxima de 1.000rpm se requiere un motor con una potencia mínima de 1,1Kw; por referencias de bibliografías y de las páginas de proveedores se conoció que los agitadores de turbinas y los mismos agitadores de hélice que son colocados verticalmente en el centro del tanque tienen un consumo mucho mayor de potencia, lo que aumentaría el costo de inversión inicial así como también el costo de operación del sistema.

Con las características definidas se procedió a representar la configuración del sistema en AutoCAD, a fin de observar detalladamente el diseño del tanque mezclador. En la figura 4.3 se observan las diferentes vistas del agitador una vez instalado en el tanque.

#### **4.1.2.2. Diseño del sistema de pesado y de la estructura para mezclado**

La preparación de las mezclas se realizan directamente en el tanque, adicionando uno a uno los fluidos que se desean mezclar; debido a que las mezclas son formuladas nutricionalmente y tienen características definidas, es necesario controlar la cantidad de cada uno de los fluidos agregados y el control de dichas cantidades se decidió hacerlo mediante el peso que adquiriere el tanque cuando caen dentro de él cada uno de los fluidos, para esto se propuso instalar celdas de cargas con su respectivo indicador/transmisor de peso.

En las instalaciones de la planta este tipo de sensores de peso ya están presentes, son utilizados en las tolvas donde se mezclan las distintas materias primas para la elaboración de los alimentos balanceados para animales.

Para el tanque de mezcla de grasas y aceites se decidió utilizar el mismo tipo de celdas, celdas por tensión, con el fin de mantener el mismo principio de funcionamiento presente en la planta y buscando minimizar el contacto de las celdas con los fluidos grasos que podría dañar los sensores. El sistema a instalar de pesaje constará de 4 celdas para una total estabilidad y de acuerdo a los cálculos realizados se obtuvo que cada sensor debe tener una capacidad mínima de 1.700 Kg.

La configuración de montaje de los sensores fue seleccionada de las opciones mostradas en la figura 3.9, la selección se realizó en base a la facilidad de construcción y montaje, así como la disponibilidad de material en almacén; para el diseño final la propuesta seleccionada fue la N°2, que propone realizar la instalación de las celdas tangencialmente a 90° entre sí, tal como se muestra en la figura 4.4.

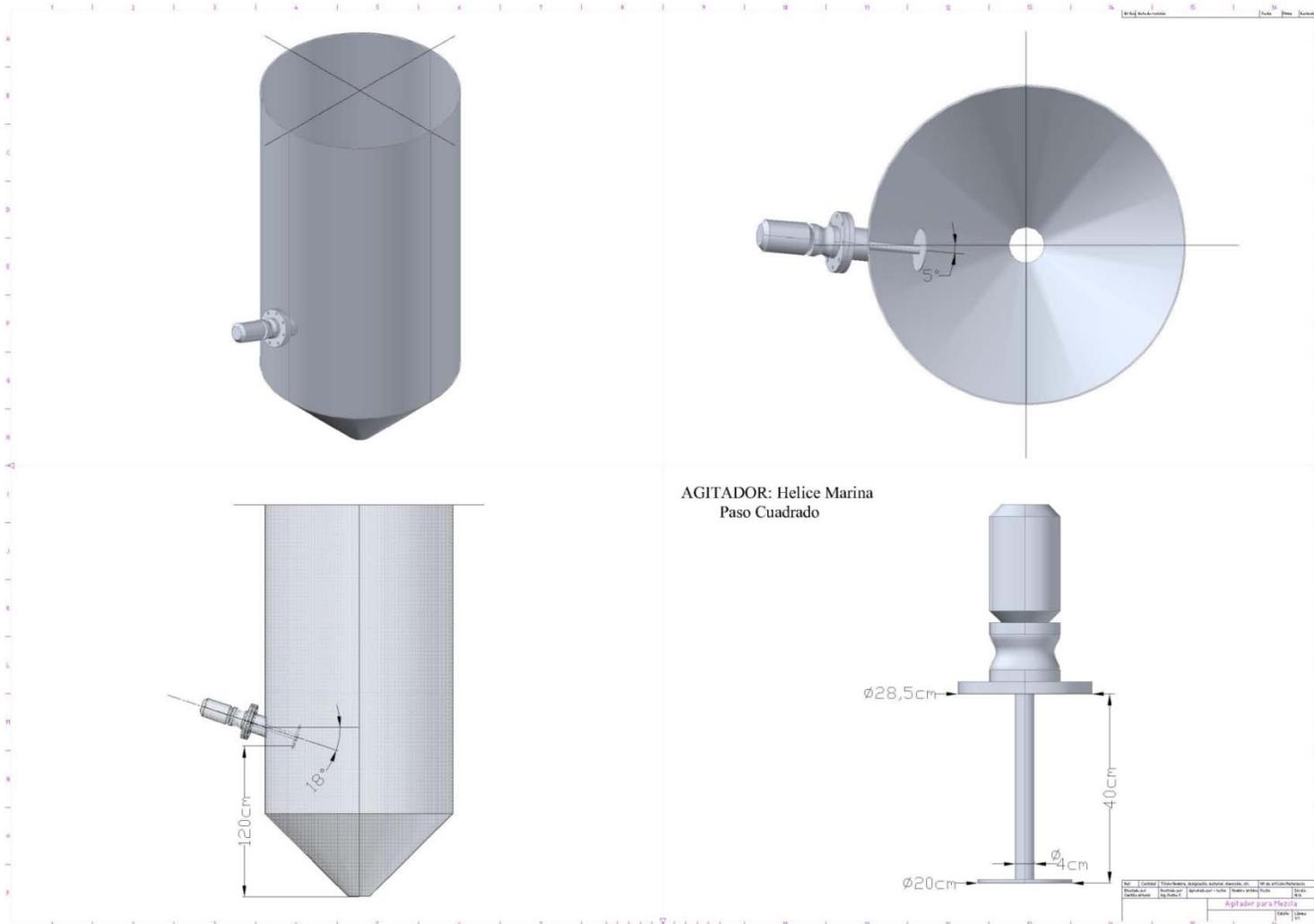
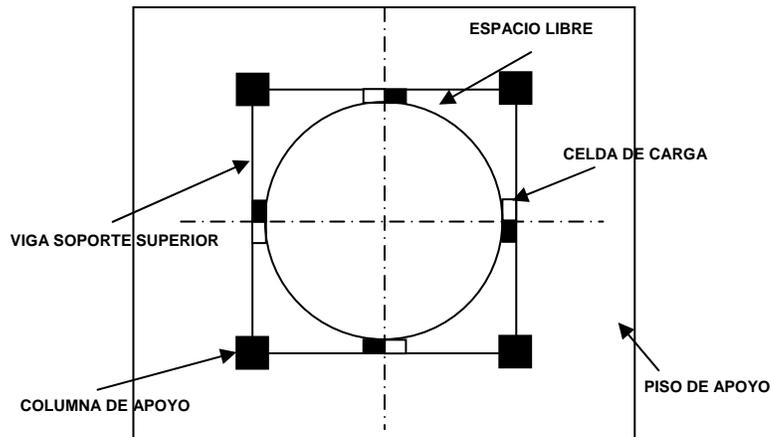


Figura 4.3. Tanque de mezclado con sistema de agitación instalado



**Figura 4.4.** Montaje seleccionado para la instalación de las celdas de carga

Se seleccionó esta opción ya que al colocar las vigas de soporte superior y las columnas de apoyo de manera cuadrada se pueden aprovechar algunas vigas IPN disponibles en el almacén de la planta y los soportes base que presenta la estructura actual del tanque. Por otro lado la disposición seleccionada de las celdas asegura que el peso del tanque sea soportador por el punto medio de las vigas y no por los extremos de unión, contribuyendo así a una estructura más estable y sólida.

En base a esta configuración se procedió a diseñar en AutoCAD la estructura final que debe soportar al tanque balanza con sistema de agitación, dicha estructura se muestra en la figura 4.5.

#### 4.1.2.3. Elaboración de la lógica de control del sistema

Una vez definida toda la estructura para el pesado y mezclado de los fluidos y seleccionada la nueva red de tuberías, se realizó una propuesta de un diagrama para el sistema de control del proceso, el diagrama se presenta en la figura 4.8 y muestra que la variable a monitorear y controlar es el peso del tanque.

El peso del tanque una vez empiecen a caer los fluidos es medido por las celdas de cargas, la señal eléctrica de cada uno de estos sensores es transmitida a una caja de suma de donde sale una señal con el peso total del tanque, dicha señal se muestra en el indicador de peso colocado en campo (en las cercanías de tanque), este indicador permite el control visual del proceso por parte de los operadores en caso de trabajar de manera manual. Para el control automático, la señal luego de ser mostrada en el indicador es enviada al computador y al controlador lógico programable (PLC), localizados en la sala de controles de la planta; el controlador es quien decide que equipos accionar, tomando en consideración las especificaciones introducidas de la mezcla y la señal que recibe continuamente del pesado del tanque. Según lo mostrado en el diagrama (figura 4.6), se propone que el controlador manipule el encendido y apagado del agitador y de la bomba, así como también la abertura y cierre de las válvulas por donde circulan las grasas y aceites a pesar.

Como el sistema propuesto posee una sola línea que alimenta el tanque, la selección del tipo de fluido que va a ser pesado se realizará por medio de las válvulas a la entrada del manifold, mientras que el control de la cantidad de fluido se realizará por medio del encendido y apagado de la bomba de suministro al tanque; una vez la señal de peso transmitida por las celdas alcance el punto de ajuste para el fluido que se está pesando la bomba se apaga y se cierra la válvula correspondiente a la tubería de dicho fluido, para el pesado de otra grasa o aceite se abrirá la válvula correspondiente y se encenderá nuevamente la bomba. El encendido del agitador se hará una vez el tanque alcance el peso total de mezcla a realizar.

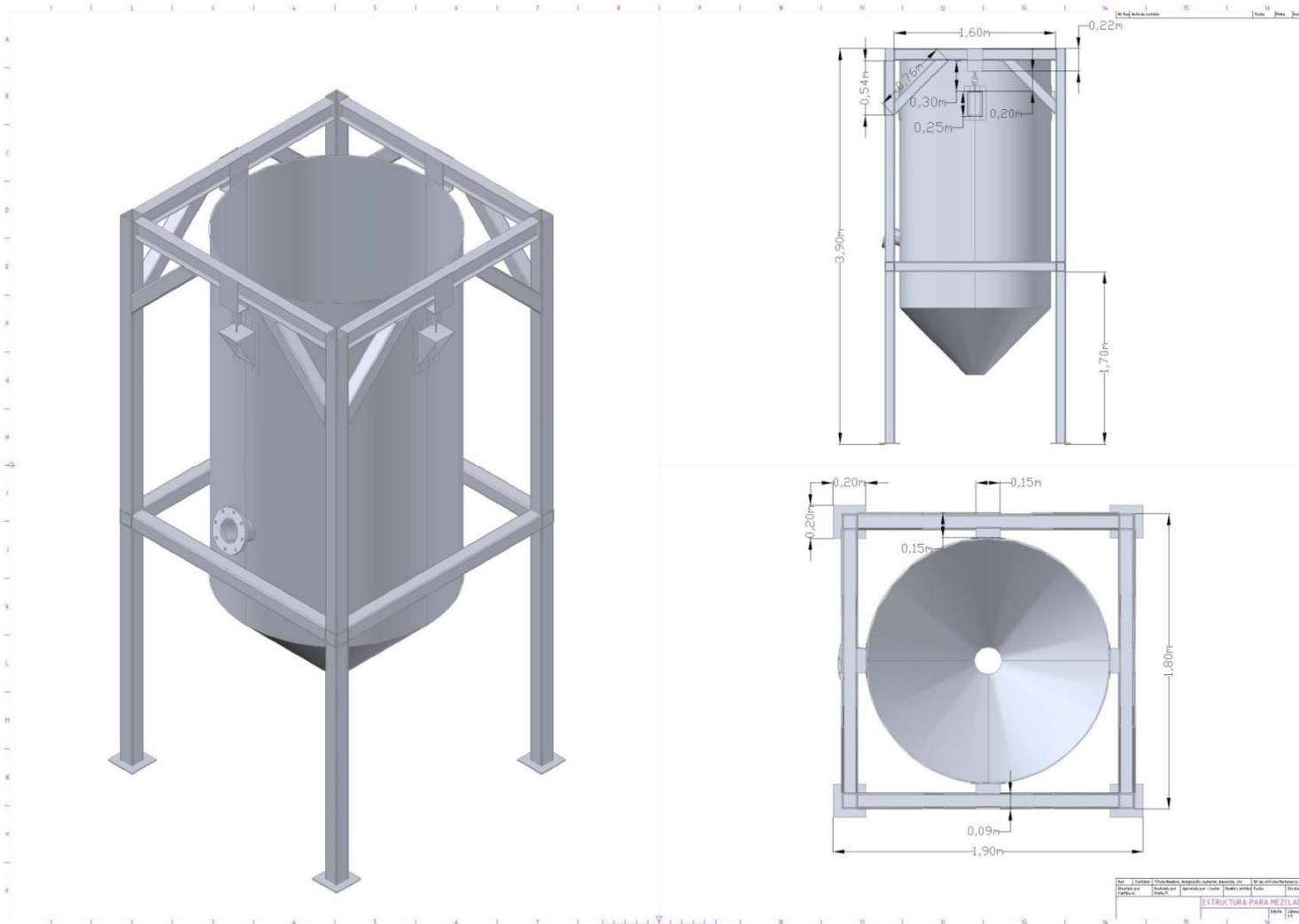
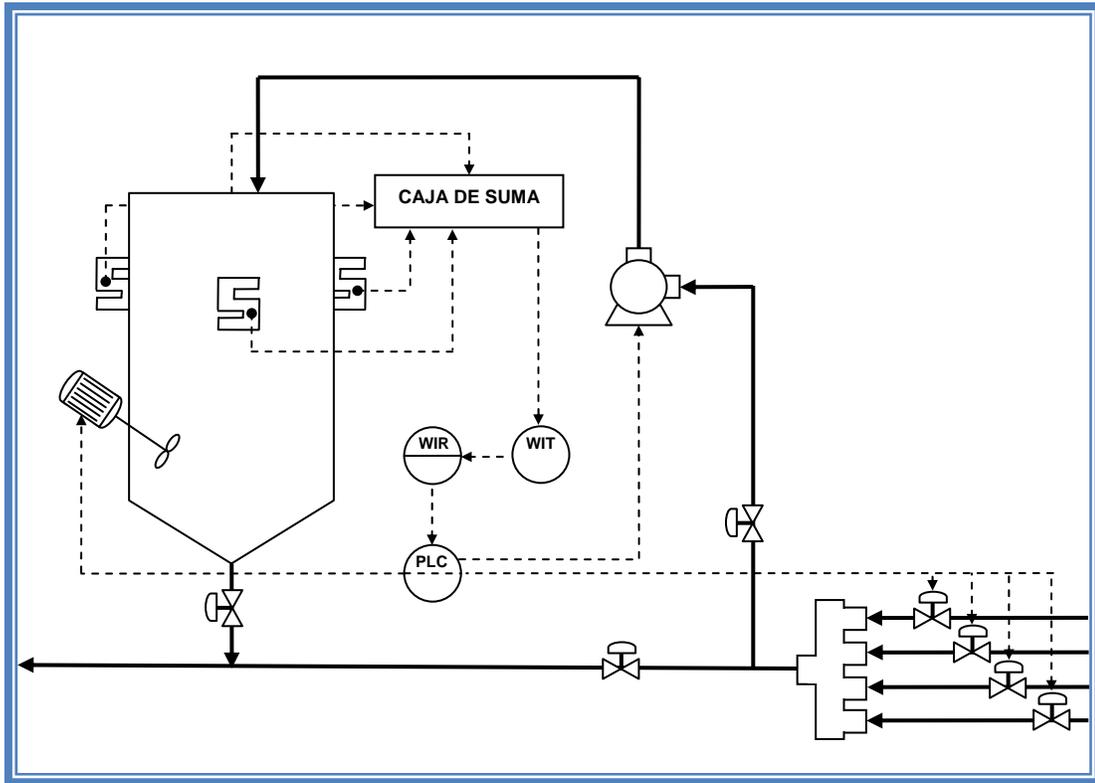


Figura 4.5. Estructura soporte para el tanque de mezclado tipo balanza



**Figura 4.6.** Diagrama de sistema de control propuesto

El monitoreo y control de la cantidad de fluido a mezclar en el tanque es muy importante, ya que las mezclas a preparar son formuladas y las proporciones de cada grasa y/o aceite están definidas nutricionalmente; por otro lado el uso de una cantidad de fluido mayor al necesario acarrea pérdidas monetarias para la compañía.

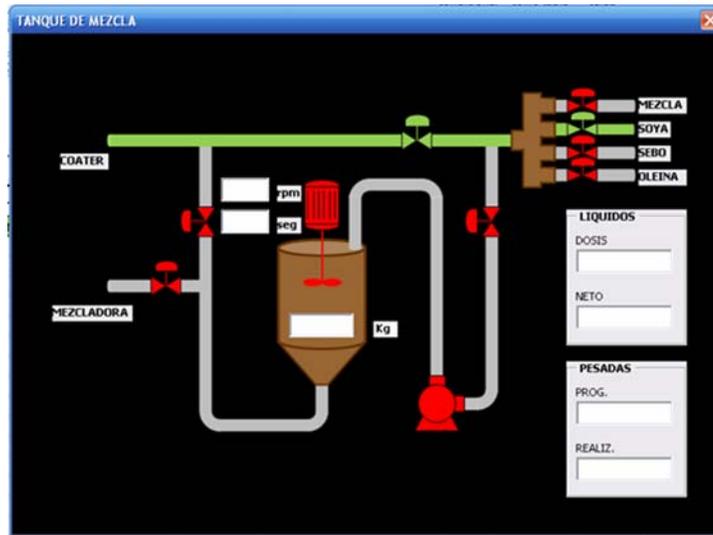
Para establecer el punto de ajuste de cada fluido a mezclar y el de la mezcla total, se desarrolló un programa que permite realizar los cálculos necesarios en base al tipo y la cantidad de alimento balanceado para animal que se desea preparar.

Haciendo uso de las ecuaciones 3.8, 3.9 y 3.10 e introduciendo los datos de la mezcla a preparar, el programa calcula la cantidad necesaria a mezclar de grasas y aceites para la preparación de determinada cantidad de

alimento. De igual manera indica el número de pesadas a realizar, esto en caso de la cantidad de mezcla requerida exceda la capacidad del tanque, e indica la cantidad a agregar de cada componente por pesada. El desarrollo de este programa no solo permite establecer los puntos de ajuste que tomará el PLC como referencia a la hora de realizar el proceso de manera automática, sino que también contribuye a que el operador del sistema tenga los parámetros de las mezclas en caso de que el proceso se haga de manera manual.

Para realizar el monitoreo y control visual del proceso de pesado y mezclado se propuso la interface mostrada en la figura 4.8, que permite al operador del sistema seguir el funcionamiento del proceso desde la sala de controles de la planta. A través de la interface de control propuesta se puede verificar las válvulas abiertas y cerradas del sistema, a fin de evitar la mezcla de fluidos o el paso de los mismos hacia áreas que no se requieran; también se puede constatar que los equipos de bombeo y mezclado estén o no en funcionamiento y comparar visualmente la señal de peso que llega de las celdas de carga con los puntos de ajuste.

Cabe mencionar que el estado de los equipos y válvulas se indicarán visualmente por colores, los equipos apagados y las válvulas cerradas serán de color rojo, mientras que los equipos en funcionamiento y válvulas abiertas se representarán con el color verde. Para el sistema se propone utilizar válvulas manuales con sensores de posición, y si se desea el accionamiento automático a distancia se pueden incorporar gatos hidráulicos para abrir y cerrarlas según se requiera.



**Figura 4.7.** Interface propuesta para el monitoreo y control automático de la mezcla

Como secuencia de operación del sistema propuesto, se estableció la siguiente:

- 1) Se recibe la receta del alimento que se desea elaborar.
- 2) Se introducen los datos correspondientes a la mezcla de grasas y aceites en el programa desarrollo, a fin de obtener los parámetros de la mezcla a elaborar. En caso del proceso automatizado el PLC cargará los valores finales directamente al sistema, en caso de un proceso manual el operador anotará los parámetros.
- 3) Se cierra la válvula que permite el paso de los fluidos hacia el dosificador de grasas (*coater*) y se abre la válvula hacia la bomba de suministro del tanque.
- 4) Se verifica que la válvula a la salida del tanque esté cerrada.
- 5) Se abre la válvula correspondiente al primer fluido a pesar, siendo este el menos denso.
- 6) Se enciende la bomba de suministro al tanque.

- 7) Se va monitoreando el peso del tanque, ya sea por la interface de control (proceso automático) o por el indicador (proceso manual).
- 8) Una vez se alcance el primer peso deseado o punto de ajuste, se apaga la bomba.
- 9) Se cierra la válvula del fluido que se terminó de pesar y se abre la del próximo.
- 10) Se enciende nuevamente la bomba.
- 11) Al pesar la ultima grasa o aceite se apaga la bomba y se cierran todas las válvulas.
- 12) Se enciende el agitador, hasta que se homogenice la mezcla.
- 13) Se abre la válvula de salida del tanque hacia el área que se requiera la mezcla.
- 14) Una vez el peso del tanque llegue a su valor inicial se comienza la próxima pesada.
- 15) Terminado el proceso de mezclado se cierra la válvula de flujo hacia la bomba y se abre la válvula hacia el dosificador de grasas.

#### **4.1.3. Diseño de una nueva red de tuberías para la distribución de grasas y aceites hacia el tanque de mezclado y el área interna de planta (dosificador de grasa y mezcladora)**

Buscando hacer el proceso productivo de alimentos balanceados para animales más rápido, se diseñó una nueva red de tuberías que permitiera el paso separado de las grasas y aceites hacia las bombas de suministro que van al área interna de planta. La nueva red de tubería propuesta permite el uso simultáneo de las dos bombas, tanto la bomba que envía los fluidos hacia la mezcladora como la bomba que los envía hacia el dosificador. Por otro lado la propuesta diseñada incluye el sistema de pesado y mezclado de fluidos grasos y permite la elaboración de las mezclas formuladas mientras se realizan otros procesos dentro de la planta.

#### **4.1.3.1. Selección de nueva red de tubería para la distribución de grasas y aceites**

La propuesta seleccionada para la nueva red de tubería fue la número dos, ya que da solución a las necesidades existente en el sistema y presenta muchas más ventajas que desventajas, como se observa en la tabla 3.11.

El diseño seleccionado propone la instalación de cuatro nuevas líneas de tuberías, una para cada tipos de fluido, estas nuevas líneas tienen salida desde las tuberías ya existentes y llegan a un manifold (múltiple) de donde sale una sola tubería que envía los fluidos hacia la bomba del dosificador o hacia la bomba que alimenta el tanque de mezcla; mientras que las líneas existentes actualmente en la planta serían utilizadas para distribuir los fluidos hacia la bomba de la mezcladora. Esta configuración permitiría la entrada separada de las grasas y los aceites hacia las bombas a planta; es decir, garantizaría que se puedan enviar distintos tipos de fluidos hacia la mezcladora y hacia el dosificador, contribuyendo a un proceso productivo mucho más rápido y haciendo posible la preparación de distintos tipos de alimentos al mismo tiempo.

Otra ventaja de este diseño es que requiere de una menor cantidad tanto de tuberías como de accesorios en comparación con la propuesta N°1, la cual propone la instalación de dos manifolds para suministrar los fluidos a las bombas hacia planta y utiliza las tuberías actuales únicamente para el llenado del tanque de mezcla. Aunque la propuesta N°3 requiere mucho menor cantidad de tuberías, las distancias entre las válvulas que controlan el paso los fluidos es mucho más grande y se dificulta el control del sistema; la misma dificultad de control se presenta en el primer diseño, debido a que la presencia de dos manifold requieren muchas más válvulas.

Por otro lado el uso de una línea de tubería muy larga para el llenado del tanque de mezcla trae como consecuencia un pesado muy impreciso de los fluidos, causado por el remanente que siempre quedaría de los fluidos

circulantes en las tuberías, pues la misma línea es utilizada para el paso de los cuatro tipos de grasa. Esta situación se presenta tanto en la propuesta N°1 como en la propuesta N°3, al seleccionar la N°2 el problema aunque no desaparece si disminuye mucho, el remanente es mucho menor y queda únicamente en una tubería de longitud pequeña localizada a la salida de la bomba propuesta para el llenado del tanque.

#### 4.1.3.2. Determinación de longitudes de la nueva red de tuberías

Una vez definida la nueva red de tuberías a instalar se procedió a trazar un diagrama con las dimensiones reales del sistema, a fin de determinar las longitudes de tuberías necesarias para las nuevas líneas. En la figura 4.8 se observa la vista superior del diagrama trazado y en la tabla 4.3 se presentan las longitudes totales de tuberías necesarias.

Las nuevas líneas usadas en la distribución de cada fluido son conectadas a las tuberías ya existentes, el diámetro usado es de 2" y entre las cuatro líneas la longitud necesaria es de aproximadamente 40m. Para las líneas de entrada al tanque de mezcla y a las bombas a planta se utilizaron tuberías de 3" de diámetro siendo la longitud necesaria de aproximadamente 27m, en la tabla 4.3 se presentan las longitudes para cada línea de fluido según el diámetro a utilizar.

**Tabla 4.3.** Longitudes de cada línea de tubería

Diámetro de tuberías	Uso	Longitud aprox. (m)
2"	Oleína	5,00
	Mix. Grasa-Oleína	12,50
	Aceite de soya	9,00
	Sebo	13,50
	Mezcla	4,00
	<b>Total</b>	<b>40,00</b>
3"	Distribución de mezcla	27,00
	<b>Total</b>	<b>27,00</b>

En base a esta longitud total de tubería nueva se cotizaron los tubos necesarios para la construcción del sistema, la cantidad de tubo depende del largo con que sean vendidos por los proveedores.

Las conexiones de las nuevas tuberías se realizaron de tal manera que el flujo de las grasas y aceites a través de ellas sea permanente y se controlen por las válvulas a la entrada del manifold; mientras que el control del flujo a través de las líneas existentes se realizará de la misma forma que se ha realizado hasta el momento. Las nuevas líneas serán colocadas más cercanas al nivel de piso, evitando así el choque entre éstas y las instaladas actualmente; los accesorios necesarios para las conexiones de las tuberías se presentan en la tabla 4.4.

**Tabla 4.4.** Accesorios nuevos necesarios para cada línea de tubería

Línea	Accesorios Nuevos	Diámetro
Oleína	1 Válvula de bola 1 Uniones universales 2 Codos de 90° 1 Te	2"
Mix. Grasa-Oleína	1 Válvula de bola 2 Uniones universales 2 Codos de 90° 1 Te	2"
Aceite de soya	1 Válvula de bola 2 Uniones universales 2 Codos de 90° 1 Te	2"
Sebo	2 Válvula de bola 2 Uniones universales 2 Codos de 90° 1 Te	2"
Bomba coater y Tanque de mezcla	1 Unión 2 Te 3 Válvulas de bola	3"

	2 Codos	
<b>Bomba mezcladora</b>	1 Te 2 Válvulas de bola 4 Codos	3"

#### 4.1.3.3. Selección de la bomba para llenado del tanque y cálculos hidráulicos para la nueva red de tuberías

Definida la configuración final del sistema de la nueva red de tuberías para la distribución de grasas y aceites hacia planta, se procedió a la determinación de la bomba a utilizar para el llenado del tanque diseñado y el cálculo de las presiones que deben soportar las válvulas a instalar en el manifold.

La selección de la bomba de llenado del tanque se realizó según los catálogos de los proveedores (anexo B), tomando como base el caudal necesario; para determinar el caudal de la bomba se fijó un tiempo aproximado en el que se quiere sea llenado el tanque. Dicho tiempo se fijó en 15 min por conveniencia de operación y según la capacidad del tanque ( $4,8\text{m}^3$ ) el caudal correspondiente es de  $0,32\text{m}^3/\text{min}$  o 84,53 GPM, buscando en la tabla de los catálogos una bomba con estas características de operación se seleccionó aquella que posee un flujo de 80GPM, perteneciente al modelo KK. Cabe destacar que las bombas Viking vienen con las especificaciones del motor y caja reductora, por lo cual no es necesaria la selección de dichos equipos.

En la tabla de 4.5, se observan los parámetros calculados para la determinación de las presiones a soportar por las válvulas en el manifold del sistema propuesto. Se puede notar que el fluido con mayor velocidad es la oleína vegetal, esto debido a que este es quien tiene una menor densidad y fluye con mucha mayor facilidad que los demás fluidos, por el contrario se tiene que el sebo es quien tiene la menor velocidad de transporte ya que este es el más denso de los fluidos almacenados en el sistema.

**Tabla 4.5.** Velocidades, Número de Reynolds, factor de fricción, coeficientes de pérdidas por accesorios y pérdidas totales en tuberías para cada línea de fluido

FLUIDO	V (m <sup>2</sup> /s)	N <sub>Re</sub>	f	E <sub>v</sub>	h <sub>L</sub> (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )
Oleína vegetal	0,3065	394,61	0,16	3,25	0,87
Mix. Grasa amarilla-Oleína Vegetal	0,3059	420,03	0,15	3,09	1,62
Aceite de Soya	0,2981	491,41	0,13	4,40	2,17
Sebo animal	0,2893	297,50	0,22	8,13	5,43

De acuerdo a los resultados del número de Reynolds, se puede notar que el régimen de flujo para todos los fluidos es laminar ( $N_{re} < 2100$ ), por lo cual el factor de fricción es independiente de la rugosidad del acero de la tubería. Las menores pérdidas por efectos de fricción se presentan en la línea de la oleína, ya que el tanque que este fluido está muy cercano al manifold y tanto los tramos de tubería lineal como los accesorios son pocos; mientras que para los demás fluidos, especialmente el sebo animal las pérdidas por fricción son mayores, el tanque de almacenamiento de este fluido se encuentra distante del manifold y las longitudes lineales de tubería y los accesorios necesarios son mayores, aumentando así las pérdidas.

En la tabla 4.6 se presentan los resultados de las presiones a soportar por las válvulas, tanto cuando hay descarga de producto como cuando no la hay. Las presiones de cuando no hay descarga de los productos son mayores que cuando si la hay, esto debido a que como el fluido no está en movimiento la velocidad es cero al igual que las pérdidas por fricción y accesorios y la presión viene dada por la altura del fluido.

**Tabla 4.6.** Presiones a soportar por las válvulas, con y sin descarga de producto

FLUIDO	P <sub>CON DESCARGA</sub> (Pa)	P <sub>SIN DESCARGA</sub> (Pa)
Oleína vegetal	53.419,53	54.243,00

<b>Mix. Grasa amarilla-Oleína Vegetal</b>	53.183,92	54.684,00
<b>Aceite de Soya</b>	62.697,60	64.734,88
<b>Sebo animal</b>	33.438,25	38.636,50

Por otra parte se observa también que la mayor presión la debe soportar la válvula destinada a la línea de aceite de soya, ya que el tanque de almacenamiento de este fluido se encuentra a una altura mayor a la que se encuentra los demás tanques; las menores presiones están en la línea de sebo animal, provocado porque para este fluido las pérdidas por fricción y accesorios son mayores y la velocidad de transporte es menor.

Los parámetros calculados para la mezcla grasa amarilla-oleína son muy semejantes a los parámetros de la oleína sola, debido a que las propiedades de estos dos fluidos no distan mucho entre sí.

#### **4.1.4. Adecuación de las líneas de calentamiento a las necesidades del sistema de manejo de grasas y aceites propuesto**

Debido a que se rediseño la red tuberías para la distribución de las grasas y aceites hacia planta, fue necesario la adecuación de los serpentines de calentamiento a fin de evitar que los fluidos se solidificaran en los nuevos tramos de tuberías.

##### **4.1.4.1. Caracterización del sistema de vapor actual**

Una vez determinado las propiedades del vapor, como lo son la temperatura y la presión, se compararon dichos valores con los encontrados en las tablas de vapor y se comprobó que las condiciones a la cual el vapor es enviado al sistema de grasas y aceites corresponde a un vapor saturado.

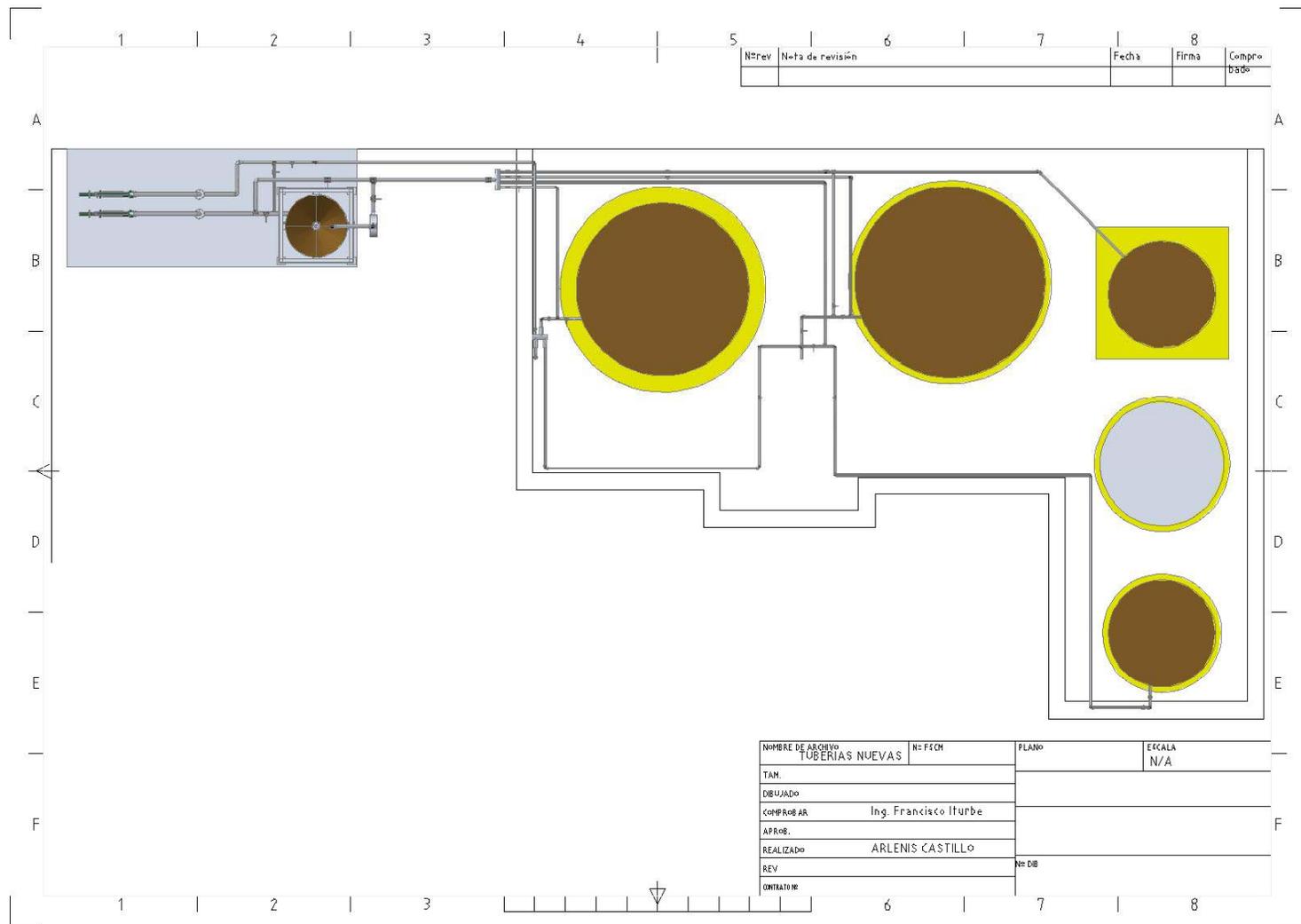


Figura 4.8. Diagrama para la determinación de longitudes de la nueva red de tuberías

Con la identificación visual de la secuencia de los serpentines de calentamiento sobre las tuberías se hizo una construcción del diagrama de flujo de vapor, se observó que la línea principal de vapor destinada al área es separada primero en cuatro corrientes para la distribución final del vapor hacia los serpentines. También se pudo constatar que el vapor y el condensado resultante del sistema de calentamiento no son retornados al sistema de alimentación de calderas, sino que son purgados en la misma área de grasas y aceites.

#### **4.1.4.2. Determinación de las necesidades teóricas de vapor para calentamiento**

Con finalidad de evaluar el funcionamiento del sistema de calentamiento se calculó el flujo másico de vapor necesario para garantizar la fluidez de las grasas y aceites por la red de tubería; los cálculos fueron realizados usando como base el sebo animal, ya que como su punto de fusión está por encima de la temperatura ambiente y es mayor al de los demás fluidos éste requiere mayor calentamiento.

El resultado obtenido arroja que el flujo másico necesario para el sistema de calentamiento a través de traceado con vapor es de 300 Kg/h, este valor se comparó con el flujo actual que se utiliza el cual es de aproximadamente 609,55Kg/h. El flujo que circula hacia el patio de tanques de grasas y aceites no es controlado por ningún tipo de válvula o dispositivo y se puede observar que es más del doble del necesario, lo que provoca un malgasto del vapor producido en la planta, que pudiera ser utilizado en otra área, como por ejemplo para el proceso de acondicionamiento del alimento balanceado antes de entrar a la pelletizadora.

#### **4.1.4.3. Diseño de las nuevas líneas de calentamiento para el sistema de grasas y aceites propuesto**

En base a la nueva red de tuberías diseñadas, se trazó un diagrama en AutoCAD que permitiera la adecuación de los serpentines de calentamiento,

dicho diagrama se muestra en la figura 4.9. El diagrama fue trazado siguiendo el mismo lineamiento del actual, pero se agregaron líneas de calentamiento para los nuevos segmentos de tuberías, las modificaciones introducidas se representan en color rojo.

Cabe destacar que para el mejor funcionamiento del sistema es necesaria la implementación de algún control de flujo para el vapor que se dirige al área de grasas, de igual manera debe ser evaluado la posibilidad de retornar el condensado producido hacia el área de calderas ya que este es abundante y produce muchas pérdidas económicas y energéticas. Otro mejora que podría ser implementada, es el recubrimiento de los serpentines junto con la tubería de grasas con un aislante, ya que de esta manera se lograría un mejor calentamiento de los fluidos y un menor consumo de vapor.

#### **4.1.5. Desarrollo de una base de cálculo computarizada que permita el control y seguimiento operacional del sistema**

Se desarrollaron tres hojas de cálculos que permitieran el control y seguimiento de las operaciones que se realizan el sistema de manejo de grasas y aceites.

##### **4.1.5.1. Control de tanques de almacenamiento**

El primer proceso que se desea controlar y al cual se le hace seguimiento diario, es el almacenamiento de los fluidos grasos; ya que estos fluidos representan parte de la materia prima de la planta y es necesario tener conocimiento diario de la cantidad de material disponible en los tanques.

La hoja desarrollada fue llenada con las medidas de cada uno de los tanques destinados al almacenamiento y se programó de tal manera que al introducir la cantidad de metros vacíos (medida tomada por el operador) se obtiene el volumen de producto contenido en el tanque, al introducir la densidad se obtiene la masa disponible de los fluidos.

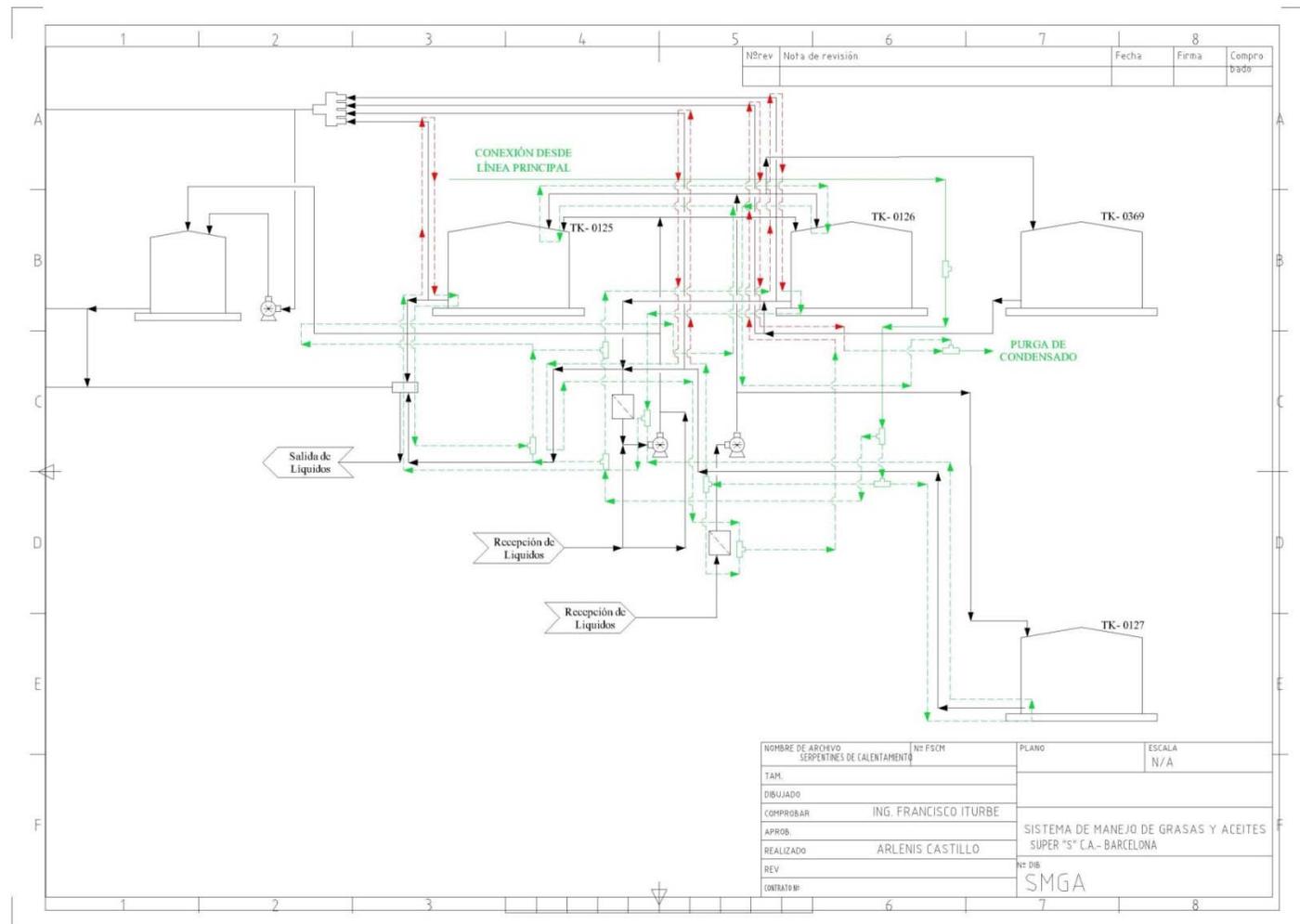


Figura 4.9. Propuesta para un sistema de calentamiento adecuado a la nueva red tuberías de grasas y aceites

#### **4.1.5.2. Actualización de materia prima**

Los fluidos contenidos en los tanques de almacenamiento poseen características químicas definidas que son determinadas por el departamento de control de calidad, a fin de comprobar que se encuentran en los parámetros de calidad definidos para la elaboración de los alimentos balanceados para animales. Lo mismo ocurre con los fluidos nuevos que son recibidos en la planta, estos también poseen características químicas que aunque se encuentren en los rangos de calidad establecidos, no necesariamente corresponde al mismo valor de los almacenados en el tanque; por eso se desarrollo un programa en Microsoft Visual Basic que permite calcular los parámetros finales del fluido una vez que el material nuevo ha sido vaciado en el tanque junto con el material que ya estaba en almacenamiento.

En este programa son introducido las características químicas de cada grasa, tanto de la que estaba en el tanque como la nueva a descargar y se calcula las características de la mezcla final. La primera interface se utiliza para el tanque donde se almacena la mezcla de grasa amarilla-oleína vegetal y la segunda para los tanques donde se almacenan fluidos individuales.

También se desarrolló una hoja de cálculo que permite el almacenamiento de los parámetros finales de los fluidos en los tanques, una vez se halla vaciado el nuevo producto recibido. Dicha hoja también facilita el cálculo a realizar cuando se reciba nuevamente un fluido, ya que los parámetros del fluido en el tanque van a estar almacenados en esta hoja.

#### **4.1.5.3. Control de tanque de mezcla**

Fue desarrollada una hoja de cálculo para el almacenamiento de los parámetros de las mezclas realizadas de fluidos grasos, la hoja trabaja en conjunto con el programa desarrollado en el segundo objetivo y permite llevar un registro de las mezclas que se elaboren en el tanque de mezcla tipo balanza.

#### 4.1.6. Estudio de los costos de la implementación del rediseño en el sistema

Con este estudio se estimó el mínimo capital de inversión para llevar a cabo la implementación del rediseño del sistema de manejo de grasas y aceites; no se incluyeron los costos por obras civiles y mano de obra por instalación, sin embargo el monto calculado representa el principal y mayor costo de inversión para el rediseño.

En la tabla 4.9 se presentan los costos de los principales materiales, equipos y accesorios necesarios para instalar la propuesta de rediseño desarrollada; cabe destacar que no se incluye el costo del agitador seleccionado ya que la planta está evaluando la posibilidad de elaborar ellos mismos el sistema de agitación y comprar solo la hélice marina; los costos para la adecuación de los serpentines de calentamiento no fueron incluidos, debido a que es recomendable primero mejorar las características del sistema actual. Por otro lado, tampoco fueron incluidos los costos por automatización, ya que a la hora del desarrollo del proyecto aun no se había contactado con la empresa encargada de realizar esta labor para la planta.

**Tabla 4.9.** Costos de los materiales, equipos y accesorios recomendados para el rediseño del sistema

<b>Materiales, equipos y accesorios</b>	<b>Costo de compra (Bs.)</b>
4 Celdas de cargas	6.192,00
1 Bomba Viking	2.775,00
2 Tubos estructurales	2.573,76
2 Tubos cuadrados	805,41
1 Lamina cuadrada	849,62
7 Tubos circulares de 2"	3.528,00
5 Tubos circulares de 3"	3.360,00
10 Válvulas manuales de bola	4.000,00
8 Uniones universales	399,92
7 Te	209,65
14 Codos de 90°	671,30
<b>Total</b>	<b>25.364,66</b>

Con la inversión del monto calculado son muchos los beneficios que se pueden obtener, el principal sería la preparación adecuada de las mezclas de grasas y aceites, ya que las instalaciones diseñadas permiten pesar y mezclar los fluidos según las proporciones formuladas y así evitar no solo el malgasto de la materia prima, sino también el reproceso de alimentos que podrían salir fuera de especificación debido a una mala preparación de las mezclas.

Una buena preparación de las mezclas de fluidos grasos evitarían todos los gastos de dinero, energía y tiempo relacionados al reproceso de un alimento fuera de especificación; al poseer las instalaciones y equipos adecuados para realizar el proceso de pesado y mezclado también se disminuye el esfuerzo y sobre todo los errores humanos que se presentan actualmente a la hora de realizar una mezcla, errores ocasionados debido a que este proceso es realizado totalmente de manera manual, sin agitación y en instalaciones poco apropiadas para el control de las proporciones en las que se desea realizar la mezcla.

Otro beneficio que traería la inversión en el rediseño sería el aumento de la rapidez del proceso productivo, ya que con una nueva red de tuberías que distribuya los fluidos grasos de manera independiente para cada una de las bombas a planta, se pueden procesar distintos tipos de alimentos simultáneamente y sin la necesidad de esperar que un alimento salga de la línea productiva para empezar a procesar otro, con diferente necesidad en cuanto a fluidos grasos.

## 4.2. Conclusiones

1. El volumen del tanque de sebo animal es de  $21,8\text{m}^3$ , el de aceite de soya de  $32,96\text{m}^3$ , el de mezcla grasa amarilla-oleína vegetal  $101,40\text{m}^3$ , el de oleína vegetal  $82,50\text{m}^3$  y el grasa  $4,80\text{m}^3$ ; siendo entonces la capacidad total de la planta para el almacenamiento de productos grasos de  $243,46\text{m}^3$ .
2. Las bombas del sistema son marca VIKING, con funcionamiento rotativo de desplazamiento positivo y especiales para procesos con fluidos viscosos.
3. El material de las tuberías de distribución de grasa y aceites es acero negro, el diámetro para las líneas de recepción es de 3" y para las líneas de suministro y distribución es de 2".
4. Las válvulas del sistema son manuales, siendo de abertura lenta (válvulas de compuerta) para salida de los tanques y abertura rápida (válvulas de bola) para el control de paso de cada fluido.
5. El agitador seleccionado para el sistema fue de tipo propela (hélice marina), con entrada lateral en el fondo del tanque, con ángulos de instalación de  $18^\circ$  en el corte lateral y  $5^\circ$  para el corte horizontal.
6. El control de la cantidad de fluidos grasos a pesar, se realizará con sensores de movimientos colocados en el tanque del tipo de celdas de carga por tensión, dispuestas tangencialmente a  $90^\circ$  entre sí.
7. Son necesarias unas longitudes de 40m de tubería de 2" y 27m de tubería de 3" para el nuevo sistema a instalar.
8. La bomba a instalar para el llenado del tanque debe tener un caudal de 80GPM y el modelo VIKING seleccionado fue el KK.
9. Las válvulas a instalar en el sistema deben ser capaces de soportar presiones en el orden de 65 KPa, que es la presión máxima manejada en las tuberías y presente en la línea de aceite de soya.

10. El flujo másico teórico de vapor necesario para el calentamiento de los fluidos grasos es de 300 Kg/h y el utilizado actualmente es de 600Kg/h, lo que indica un consumo innecesario de vapor en el área.
11. El mínimo capital de inversión necesario para implementar el rediseño en el sistema de manejo de grasas y aceites es de 25.364,66 Bs.

### **4.3. Recomendaciones**

1. Mantener actualizados los diagramas de flujos de proceso (DFP) y de tubería e instrumentación (DTI) del sistema de manejo de grasas y aceites.
2. Instalar una válvula para regular el flujo de vapor que pasa de la línea principal de planta a la línea para el calentamiento del sistema de manejo de grasas y aceites, a fin de evitar el uso excesivo del vapor que puede ser aprovechado en otra área.
3. Realizar un estudio detallado del sistema de calentamiento, para evaluar el retorno del condensado que se produce al área de calderas y la posible instalación de un aislante para las tuberías de grasas, a fin de disminuir las pérdidas económicas y energéticas existentes.
4. Realizar un adecuado seguimiento a las hojas de cálculo desarrolladas, para obtener un registro confiable de los procesos que se realizan en el sistema.

## BIBLIOGRAFIA

- Aguado, B. (2007) *Rediseño del sistema de tuberías del Tanque 80x5 perteneciente a la Refinería Puerto la Cruz para su adecuación en el manejo de diesel mercado local*. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al Título de Ingeniero Mecánico. Universidad de Oriente. Núcleo Anzoátegui: Puerto la Cruz, Venezuela.
- Ansó, S., Barge, E., & Demming, S. (2004). *Estudio teórico experimental de la agitación*. Recuperado el 16 de Octubre de 2010, de <http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTAgitacion/index.htm>
- Barrera, G. (2008) *Rediseño del Sistema de enfriamiento de las bombas del poliducto de la planta de distribución de combustible Puerto la Cruz*. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al Título de Ingeniero Mecánico. Universidad de Oriente. Núcleo Anzoátegui: Puerto la Cruz, Venezuela.
- Coss Bu, R. (1986). *Análisis y evaluación de proyectos de inversión*. México: Limusa.
- Crane, H. (1992). *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. México: McGRAW-HILL.
- Geankoplis, C. J. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Mexico: Continental, S.A. de C.V.
- Hamilton, D. (2005). *Valor de la grasa amarilla en alimentos balanceados*. Recuperado el 20 de octubre de 2010, de <http://www.engormix.com/MA-balanceados/formulación/articulos/valor-grasa-amarilla-alimentos-t486/800-p0.htm>
- Inaquiza Guaña, C. R., & Vizueté Monteri, I. E. (2 de junio de 2010). *Diseño, Construcción y Pruebas de un Sistema de Agitación para el Mezclado ed Pinturas Líquidas para la Línea Arquitectónica*. Recuperado el noviembre de 2010, de <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/302/2/15t00436.pdf>
- INOXPA, S.A. (Septiembre de 2006). *Instrucciones de Instalación, Servicio y Mantenimiento*. Recuperado el Noviembre de 2010, de [www.inoxpa.com/file/15122.html](http://www.inoxpa.com/file/15122.html)
- Kern, D. (1999). *Procesos de transferencia de calor*. México: Compañía editorial Continental.
- Kirk, & Othmer. (1999). *Enciclopedia Temática de Química* (Vol. 3). Mexico: Ciencia y Tierra.
- Levenspiel, O. (1993). *Flujo de fluidos e intercambio de calor*. España: Reverté.
- López, J. M. (Marzo de 2005). *Fundamentos de Sistema de Pesado*. Recuperado el Diciembre de 2010, de [www.lasso.com.mx/linclick.aspx?fileticket=6ftvyp5dvim%3d&tabid=216](http://www.lasso.com.mx/linclick.aspx?fileticket=6ftvyp5dvim%3d&tabid=216)
- Los Seibos. (2006). *Introducción a la producción de alimentos balanceados*. SKIOLD.

- MacCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (1991). *Operaciones unitarias de ingeniería química*. España: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Mateos, G. G., Rebollar, P. G., & Medel, P. (1996). *Utilización de grasas y productos lípidos en alimentación animal: grasa puras y mezclas*. Recuperado el 10 de octubre de 2010, de <http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/96capitulol.pdf>
- Medina Burgos, F. E. (2006). *Especificación de dispositivos de control automático para optimizar el proceso de mezcla de salsa en la empresa CMPC-Planta Valdivia*. Recuperado el Octubre de 2010, de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfcim491c/doc/bmfcim491c.pdf>
- Monteagudo Yanes, J. P., Perez Landin, J. J., & Guerra Fernandez, E. (Octubre de 1998). *Aislamiento Termico de Tuberías con Acompañamiento de Vapor*. Recuperado el Diciembre de 2010, de [www.alcion.es/download/articulosPDF/iq/gratis/05articulo.pdf](http://www.alcion.es/download/articulosPDF/iq/gratis/05articulo.pdf)
- Núñez Barrionuevo, O. F., & Sánchez Olmedo, O. F. (Julio de 2009). *Diseño e implementación de un istema para automatizar la elaboración de pinturas de diferente calidad a base de lodo*. Recuperado el Noviembre de 2010, de <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/handle/123456789/1394>
- PDVSA. (2009). *Manual de Ingeniería de Diseño, L-TP 1.1, Preparación de Diagramas de Proceso*. Caracas.
- Sarco Torres, J. D. (febrero de 2009). *Reconstrucción mecanica del sistema de agitación del anque de mezcla (Blonger), 2 etapas para desmenuzación de silice pendespato y caolines*. Recuperado el septiembre de 2010, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1431/1/CD-2097.pdf>
- Super S, C.A. (1992). *Manual de operaciones*. Barcelona.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y  
ASCENSO:**

<b>TÍTULO</b>	Rediseño del sistema de manejo de grasas y aceites en una planta productora de alimentos balanceados para animales
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR (ES):**

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Castillo C., Arlenis B.	<b>CVLAC:</b> 18.299.278 <b>E MAIL:</b> castillo_argeni@hotmail.com
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

Rediseño

Grasas

Alimentos

Mezclador

Tuberías

Serpentines

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y ciencias aplicada	
	Ingeniería Química

**RESUMEN (ABSTRACT):**

La finalidad de este rediseño fue adecuar las instalaciones de la planta a las necesidades existentes en cuanto a preparación de diferentes mezclas formuladas de fluidos grasos y el procesamiento rápido de alimentos con diferentes requerimientos de dichos fluidos. Se establecieron los parámetros de un tanque con agitación tipo balanza y los controles automáticos necesarios, se diseñó una nueva red de tuberías para la distribución de los fluidos, luego se caracterizaron las líneas de calentamiento de dichas tuberías para adecuarlas al sistema propuesto y además se programaron tres hojas de cálculos que permitieran el control y seguimiento operacional del sistema.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS X	TU	JU
Salas, Yraima	CVLAC:	8.478.649			
	E_MAIL	yrasal57@hotmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU X	JU
Iturbe, Francisco	CVLAC:	6.513.040			
	E_MAIL	friturbep@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
Raven, Hernán	CVLAC:	4.136.007			
	E_MAIL	hraven1@yahoo.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
Moreno, Luis	CVLAC:	8.987.972			
	E_MAIL	luismorenog@cantv.net			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

2011	05	17
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**ARCHIVO (S):**

<b>NOMBRE DE ARCHIVO</b>	<b>TIPO MIME</b>
TESIS. Rediseño del sistema de manejo de grasas y aceites.doc	Application/msword

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

**ALCANCE**

**ESPACIAL:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TEMPORAL:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

\_\_\_\_\_Ingeniero Químico\_\_\_\_\_

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

\_\_\_\_\_Pregrado\_\_\_\_\_

**ÁREA DE ESTUDIO:**

\_\_\_\_\_Departamento de Fisicoquímica aplicada\_\_\_\_\_

**INSTITUCIÓN:**

\_\_\_\_\_Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui\_\_\_\_\_

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**DERECHOS**

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
"Los trabajos de grado son exclusiva propiedad de la Universidad de  
Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros fines con el  
consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo  
participara al Consejo Universitario"  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Arlenís B. Castillo C.**

**AUTOR**

**AUTOR**

**AUTOR**

**Yraima Salas**

**Hernán Raven**

**Luis Moreno**

**TUTOR**

**JURADO**

**JURADO**

**POR LA SUBCOMISION DE TESIS**