



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
DEPARTAMENTO DE TÉRMICA Y ENERGÉTICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO Y DILUCIÓN DE SODA
CÁUSTICA EN EL PROCESO DE LA PRODUCCIÓN DE PAPEL EN UNA
EMPRESA PAPELERA.**

AUTORES:

**Sarría Fernández Alberto Jesús CI: 19.653.856
Pérez Parra Edgar Alexander CI: 19.586.231**

Tutor Académico: Prof. José Velásquez

Tutor Empresarial: Ing. Pedro Vivas

NAGUANAGUA, FEBRERO 2015



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
DEPARTAMENTO DE TÉRMICA Y ENERGÉTICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO Y DILUCIÓN DE SODA
CÁUSTICA EN EL PROCESO DE LA PRODUCCIÓN DE PAPEL EN UNA
EMPRESA PAPELERA.**

***TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO EN OPCIÓN AL TÍTULO
DE INGENIERO MECANICO***

AUTORES:

**Sarría Fernández Alberto Jesús CI: 19.653.856
Pérez Parra Edgar Alexander CI: 19.586.231**

Tutor Académico: Prof. José Velásquez
Tutor Empresarial: Ing. Pedro Vivas

NAGUANAGUA, FEBRERO 2015



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
DEPARTAMENTO DE TÉRMICA Y ENERGÉTICA**



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Quienes suscriben, Miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica para examinar el proyecto de grado titulada “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO Y DILUCIÓN DE SODA CÁUSTICA EN EL PROCESO DE LA PRODUCCIÓN DE PAPEL EN UNA EMPRESA PAPELERA**”, presentada por las bachilleres: SARRÌA ALBERTO titular de la cédula de identidad número: V-19.653.856; PÈREZ EDGAR titular de la cedula de identidad número: V-19.586.231”; hacemos constar que hemos revisado y aprobado el mencionado trabajo.



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
DEPARTAMENTO DE TÉRMICA Y ENERGÉTICA**



SINOPSIS DEL PROYECTO DE GRADO

TITULO DEL TRABAJO “DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO Y DILUCIÓN DE SODA CÁUSTICA EN EL PROCESO DE LA PRODUCCIÓN DE PAPEL EN UNA EMPRESA PAPELERA.”

FECHA DE INICIO: _____ **FECHA DE CULMINACION:** _____

FECHA DE ENTREGA DE LOS EJEMPLARES DEFINITIVOS A DIRECCION DE LA ESCUELA: _____

SINOPSIS:

Este trabajo de grado se realiza para modernizar el proceso de suministro y dilución de la soda cáustica en la producción de papel en la empresa Kimberly-Clark Venezuela, minimizando pérdida de materia prima y tiempo por paradas en la producción, lo que se traduce en ganancias económicas. Otro factor importante es que al automatizar el proceso existirá poco riesgo de accidentes laborales al no haber manejo manual de la soda. De acuerdo a las alternativas presentadas, se selecciona la más conveniente en cuanto a costos, seguridad, disponibilidad, entre otros. La investigación es un proyecto factible y se enfoca en el diseño de un sistema de suministro de soda cáustica al 50% hasta un tanque y un sistema de dilución de soda al 10% para limpiar la malla y el fieltro de la máquina convertidora de papel. En el diseño se incluye un sistema de control para apagar y encender las bombas que suministrarán los fluidos involucrados, además de considerar dispositivos adicionales que las normas de seguridad estipulan para evitar derrames de soda cáustica y garantizar la integridad de los operadores de los sistemas.

ESTUDIANTE

C.I;
19.653.856
19.586.231

NOMBRE
Sarria Alberto
Pérez Edgar

FIRMA

JURADO

PROFESOR GUÍA

José Velásquez

Prof. Fernando Aular _____

FIRMA

Prof. Richard Rodriguez _____

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar me gustaría agradecer a Dios por haberme bendecido para llegar con vida en esta etapa de mi vida y por hacer realidad este sueño tan anhelado de convertirme en Ingeniero Mecánico de la República Bolivariana de Venezuela.

A mi madre Noemí E. Fernández A.

Por su amor incondicional y ser la persona quien estuvo conmigo en las malas y en las buenas, gracias por el apoyo en todo momento, por sus consejos, por la motivación que tuvo de educarme y convertirme en un profesional. Todo te lo debo a ti mamá, este título de ingeniero te lo dedico, gracias por darme una de las mejores satisfacciones que me pueda dar la vida, te amo mamá.

A mi padre Jesús A. Sarria.

Agradecido por darme la vida, por sus consejos y perseverancia para lograr las cosas que me han permitido ser una persona humilde, valorar las cosas que se ganan con esfuerzos y por su amor incondicional.

A mi hermano Carlos A. Sarria F.

Por estar conmigo todos los días, apoyarme en mi carrera, por sus consejos, por haberme guiado y necesitarlo en los momentos más difíciles de mi vida.

A la Universidad de Carabobo, la Facultad de Ingeniería Escuela de Mecánica por darme los conocimientos, valores, disciplina y convertirme en un profesional capaz de enfrentarse con cualquier problema para resolver.

A mi asesor de tesis, a quien considero un excelente profesional y una agradable persona, Ing. Pedro Vivas, gracias por su esfuerzo, su dedicación, sus conocimientos, sus consejos, experiencias, paciencia, motivación y apoyo incondicional que me ha permitido culminar este trabajo.

Al Ing. Johnny Quintero, jefe de mantenimiento, quien me brindó su apoyo y su experiencia para desarrollar mi trabajo de grado y darme la confianza en los momentos que me necesito para desarrollar cualquier trabajo en la empresa Kimberly Clark Venezuela.

Al Ing. José Velásquez, tutor académico por guiarnos en el desarrollo de cada capítulo del proyecto, sus conocimientos como profesional y experiencia que fueron de mucha ayuda en el trabajo de grado.

A mis familiares de Barquisimeto (tíos, tías, primos, primas), a los cuales los amo con todo mi corazón, por su apoyo y que han visto en mí un ejemplo a seguir.

Alberto J. Sarría F.

A mi madre Sara T. Parra de Pérez y a mi padre Edgar H. Pérez A.

Primero que nada les agradezco por haberme dado la vida, por el amor que me han dado desde que nací, por ser las personas quienes me han apoyado en todos mis sueños. Les agradezco por la crianza que me han dado, la educación, los principios, los valores, por ser la persona que soy en día y todo el apoyo que me han prestado para llegar hacer un gran profesional. Este título se los dedico a ustedes papa y mama, es uno de mis mayores logros que tenido y todo gracias a ustedes, LOS AMO.

A mi abuelo Norberto D. Pérez.

Por ser más como un padre para mí, por todo el apoyo que me ha dado desde que nací, por sus consejos, por ser una de las personas que me crio y me apoyo en todo. Te amo abuelo.

A mi amigo Francisco M. Lozano F.

Por estar conmigo en todo momento, en las buenas y las malas y haberme apoyado en mucho de mis sueños y poder cumplirlos y todo el apoyo que me dio en mi carrera.

A la Universidad de Carabobo, la Facultad de ingeniería escuela de Mecánica por darme los conocimientos, valores, disciplina y convertirme en un profesional capaz de enfrentarse con cualquier problema para resolver.

A mi asesor de tesis, quien es una persona con muchos conocimientos y que nos ayudó a cómo enfrentar problemas y solucionarlos en la parte laboral en una empresa. Ing. Pedro Vivas, gracias por dar su apoyo en este proyecto para así poder cumplir un logro más en mi vida.

Al Ing. José Velásquez y tutor académico por guiarnos y con sus conocimientos hacer que todo lo que se aprendiera en la universidad, nos sirviera de mucha ayuda en el desarrollo de cada capítulo del proyecto, gracias por ayudarnos a cumplir este logro en nuestras vidas.

Edgar A. Pérez P.

ÍNDICE GENERAL

	Pp
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
NOMENCLATURA.....	xiv
RESUMEN.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I EL PROBLEMA.....	4
1.1 Planteamiento del Problema.....	4
1.2 Formulación del Problema.....	8
1.3 Objetivos	
1.3.1 Generales.....	8
1.3.2 Específicos.....	8
1.4 Justificación de la Investigación.....	8
1.5 Alcance.....	9
1.6 Limitaciones.....	9
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	10
2.2 Bases Teóricas.....	11
2.2.1 Soda Cáustica.....	11
2.2.2 Precauciones de Seguridad y Medidas de Prevención para la soda cáustica.....	12
2.2.3 Dilución de la soda caustica.....	15
2.2.3.1 Precauciones para diluir solución de soda cáustica.....	16
2.2.4 Bombas.....	16
2.2.5 Bombas para productos químicos.....	19
2.2.5.1 Bombas centrifugas para productos químicos.....	20

	Pp
2.2.6 Viscosidad de un fluido.....	20
2.2.7. Gravedad específica.....	21
2.2.8 Clasificación de tuberías y accesorios.....	21
2.2.9 Número de Reynolds.....	24
2.2.10 Ecuación para el cálculo de pérdidas por fricción en tuberías.....	25
2.2.11 Pérdidas por accesorios.....	28
2.2.12 Pérdidas totales.....	29
2.2.13 Arreglo de resistencias.....	29
2.2.14 Balanceo de sistemas.....	31
2.2.15 Ecuación para el cálculo de las disponibilidad en tanques...	32
2.2.16 Potencia de accionamiento de la bomba.....	33
2.2.17 Requerimientos para la selección de una bomba.....	33
2.2.18 Cavitación en bombas.....	34
2.2.19 Concentración de soda cáustica.....	36
2.2.20 Automatización.....	37
2.2.21 Sistema de control (PLC).....	37
2.2.22 Control eléctrico.....	39
2.2.23 Contactor.....	39
2.2.24 Pulsador.....	39
2.2.25 Relé.....	39
2.2.26 Sensores.....	40
2.2.27 Interruptores de seguridad.....	40
2.2.28 Electroválvulas.....	40
2.2.29 Norma Venezolana Codificación para la identificación de tuberías que conduzcan fluidos.....	41
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO.....	42
3.1 Nivel de investigación.....	42
3.2 Tipo de Investigación.....	42
3.3 Diseño de la investigación.....	43
3.4 Recolección de datos.....	46
3.5 Procesamiento y análisis de datos.....	47
3.6 Aspectos administrativos.....	47
3.6.1 Recursos materiales.....	47

	Pp
3.6.2 Recursos humanos.....	47
CAPÍTULO IV. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	48
4.1 Determinación de las variables de operación del proceso de suministro y dilución de la soda caustica.....	48
4.1.1 Consumo de soda cáustica: (C).....	48
4.1.2 Propiedades de la soda caustica.....	59
4.1.3. Dimensionamiento del dique.....	60
4.2. Alternativa de solución.....	65
4.3. Selección y Diseño de la alternativa.....	71
4.3.1 Selección de la alternativa.....	71
4.3.2 Diseño de la alternativa.....	72
4.3.2.1 Determinación de los diámetros de las tuberías.....	72
4.3.2.2. Cálculo de pérdida.....	78
4.4 Diseño del sistema de control y protección.....	87
4.4.1 Funcionamiento del sistema de control del diseño.....	88
4.4.2 Circuito de fuerzas.....	89
4.4.3 Circuito de control.....	90
4.5 Estimación de costos de implementación.....	96
CONCLUSIONES.....	98
RECOMENDACIONES.....	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pp
N° 1.1.	Dique de Soda Caustica.....	5
N° 1.2	Paso peatonal.....	5
N° 1.3	Tanque para el suministro de soda cáustica al 50%.....	6
N° 1.4	Equipos involucrados en la dilución de la soda cáustica al 10%...	7
N° 2.1	Equipo y vestimenta para el manejo de soda caustica. The Dow Chemical, 2008.....	14
N° 2.2	Mezcla para soluciones de soda caustica. The Dow Chemical, 2008.....	15
N° 2.3	Diagrama de Moody.....	26
N° 2.4	Pérdidas por fricción en flujo laminar.....	27
N° 2.5	Pérdidas por fricción flujo turbulento.....	28
N° 2.6	Arreglo de resistencia en serie	30
N° 2.7	Curva equivalente de un arreglo en serie.....	30
N° 2.8	Arreglo de resistencia en paralelo	31
N° 2.9	Curva equivalente de un arreglo en paralelo.....	31
N° 2.10	Zona de trabajo y de cavitación.....	36
N° 2.11	Codificación para la identificación de las tuberías.....	41
N° 4.1	Mezcla para una concentración de soda caustica. The Dow Chemical, 2008.....	50
N° 4.2	Consumo diario de soda del tanque de suministro.....	54
N° 4.3	Consumo diario de soda del tanque de dilución.....	54
N° 4.4	Caudal de diseño vs Tiempo.....	58
N° 4.5	Distancia a la que puede caer el líquido dependiendo de la altura del agujero.....	60
N° 4.6	Medidas a tomar en cuenta del tanque de soda cáustica.....	61
N° 4.7	Factor para corregir la distancia donde puede caer el líquido dependiendo del agujero.....	61

	Pp
N° 4.8 Dimensiones del dique del tanque principal de soda cáustica.....	65
N° 4.9 Pedestal para las bombas de trasiego.....	66
N° 4.10 Ruta de tuberías de la alternativa n° 1.....	68
N° 4.11 Ruta de tuberías de la alternativa n° 2.....	70
N° 4.12 Tramo de tuberías de la alternativa seleccionada vista n° 1.....	73
N° 4.13 Tramo de tuberías de la alternativa seleccionada vista n° 2.....	74
N° 4.14 Tramo de tuberías de la alternativa seleccionada vista n° 3.....	75
N° 4.15 Curva de familia para la selección de la bomba.....	85
N° 4.16 H vs Q de la bomba seleccionada.....	86
N° 4.17 Bomba de trasiego seleccionada.....	86
N° 4.18 Flujograma del sistema de control.....	92
N° 4.19 Micrologix 1200.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

	Pp
N° 2.1 Unidades de la viscosidad dinámica.....	20
N° 2.2 Unidades de la viscosidad cinética.....	21
N° 4.1 Consumo máximo de soda cáustica diario.....	52
N° 4.2 Valores de caudal de diseño vs tiempo.....	58
N° 4.3 Selección de la mejor alternativa.....	71
N° 4.4 Velocidades sugeridas en tuberías de acero inoxidable.....	76
N° 4.5 Parámetros de cálculo para los tramos de tuberías.....	76
N° 4.6 Valores de diámetros para cada tramo de tubería	77
N° 4.7 Parámetros necesarios para el cálculo de pérdidas.....	78
N° 4.8 Valores de las variables y las pérdidas en cada tramo.....	81
N° 4.9 Componentes del circuito de fuerzas.....	90
N° 4.10 Entradas digitales del PLC.....	90
N° 4.11 Salidas digitales del PLC.....	93
N° 4.12 Estimación de costos de los componentes.....	96

NOMENCLATURA

A: Área de la sección transversal [m]

C_d : Consumo diario de soda cáustica al 10% de dilución [l]

C_s : Consumo diario de soda cáustica al 50% de suministro [l/días]

D: diámetro interno de la tubería a través de la cual circula el fluido [m]

f: Coeficiente o factor de fricción de Darcy [adimensional]

G_d : Gasto diario de soda cáustica al 50% [l/Ton]

GE: Gravedad específica [adimensional]

g: Aceleración de la gravedad [m/s^2]

H: Disponibilidad mecánica [m.c.f]

H_{dique} : Altura del dique [m]

H_t : Altura total del tanque [m]

h: Altura media del tanque [m]

h_f : Pérdida por fricción en tuberías [m.c.f]

$h_{f(total)}$: Pérdida total del sistema [m.c.f]

h_{fos} : pérdida en la succión de la bomba [m.c.f]

hl: Pérdidas por fricción en los accesorios [m.c.f]

K: Coeficiente de resistencia de los accesorios [adimensional]

L: Longitud total del tramo de tubería [m]

L_b : Lado de la base [m]

P: Potencia [W]

P_d : Produccion máxima [Ton/día]

P_o : Presión estática a la que está sometida el fluido [N/m^2]

P_v : Presión de saturación o vapor [N/m^2]

Q: Caudal [m^3/s]

Q_{agua} : Caudal de agua [m^3/s]

Q_{Cd} : Caudal de dilución [m^3/s]

$Q_{Conc\ al\ 50\ \%}$: Caudal de soda al 50 % [m^3/s]

Re: Número de Reynolds [adimensional]

S: distancia donde caerá el líquido [m]

t_c : Tiempo de consumo [días]

u : Energía interna específica [J/kg]

\bar{V} : Velocidad promedio de un fluido [m/s]

V_C : Proporción de volumen concentrado [%]

V_{ch} : Velocidad del chorro [m/s]

V_d : Proporción de Volumen diluido [%]

V_{dq} : Volumen del dique [l]

$V_{ocup\ agua}$: Volumen diario de agua necesario para diluir [l]

$V_{ocup50\%}$: Concentración de soda cáustica al 50% [l]

V_{rs} : Volumen de la reserva [l]

V_T : Volumen total [l]

V_{tb} : Volumen de trabajo [l]

V_{tq} : Volumen total del tanque [l]

Z : Altura del punto en consideración [m]

$\rho_{fluido\ de\ trabajo}$: Densidad de trabajo [kg/m³]

$\rho_{fluido\ de\ referencia}$: Densidad absoluta del agua [kg/m³]

ρ : Densidad absoluta [kg/m³]

μ : Viscosidad dinámica del fluido [kg/m.s]

ν : Viscosidad cinématica del fluido [m²/s]

η : Eficiencia de la bomba [%]

γ : Peso específico del fluido [N/m³]

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO Y DILUCIÓN DE SODA
CÁUSTICA EN EL PROCESO DE LA PRODUCCIÓN DE PAPEL EN UNA
EMPRESA PAPELERA.**

Autores: Edgar A. Pérez P.
Alberto J. Sarría F.

Fecha: Febrero del 2015

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es diseñar un sistema de suministro y dilución de soda cáustica en el proceso de producción de papel en la empresa Kimberly Clark Venezuela a fin de disminuir las pérdidas y los tiempos de entrega en el proceso productivo de los rubros de esta compañía. Siendo el diseño de suministro y dilución la razón de esta investigación, se realiza en primera instancia, una evaluación física del sistema, a objeto de conocer, identificar y cuantificar cuales son las variables de operación (caudal, temperatura, viscosidad, entre otros), y con ello determinar las condiciones generales del proceso actual. Una vez realizado el diagnóstico del sistema de suministro y dilución actual, se hace necesario plantear alternativas de solución que actualicen y modernicen un sistema que evite paradas en el proceso productivo, pérdidas por materias primas, riesgos por mal manejo de la soda cáustica en los operarios, pulcritud en el ambiente de trabajo, entre otros. La selección de la alternativa adecuada se realiza mediante el método de ponderación de criterios, siendo los factores considerados la construcción, durabilidad, factibilidad, resistencia a la corrosión, número de accesorios, seguridad y costo. Estos factores abarcan de manera general parámetros técnicos y económicos que inciden directamente en la elección del mejor y más adecuado sistema de suministro y dilución de la soda caustica en el proceso productivo. El diseño es realizado bajo las condiciones de operación y de ambiente en la empresa Kimberly Clark Venezuela, siendo un proyecto factible que da solución a una problemática real, permitiéndole mejorar renglones como producción, seguridad y bienestar en sus instalaciones.

INTRODUCCIÓN

En el sector industrial hay empresas que poseen procesos de producción que son delicados y requieren de una operación y control eficiente y confiable. En la actualidad, la competitividad entre las empresas se acentúa mientras el mundo se hace inevitablemente más globalizado, donde la política predominante es la de reducir los costos de operación y mantener la continuidad de servicios para optimizar la eficiencia, siendo todos los sistemas que permiten una óptima operación, un factor importante dentro de la industria actual.

La empresa Kimberly Clark Venezuela, es una organización transnacional de carácter privado, creadora de productos de consumo masivo que concentran sus actividades en tres sectores: producto para el cuidado personal, papeles suaves para el mercado de consumo y productos para la industria y la colectividad.

Para todo el proceso en la fabricación de distintos tipos de papel es utilizado el químico llamado soda cáustica para el blanqueo de la pasta. En todas sus formas, incluyendo en solución, la soda cáustica es muy corrosiva y puede causar quemaduras graves a los ojos y la piel de los trabajadores. El contacto con los ojos tan sólo en unos pocos segundos puede causar daño permanente, como la ceguera. Incluso un contacto de corta duración con la piel puede causar intensa irritación o quemaduras de tipo químico.

Debido a los riesgos del manejo de la soda cáustica, es importante que todas las personas que la manejen, bien sea directa o indirectamente, conozcan y cumplan en forma estricta los procedimientos de seguridad. De todos estos riesgos nombrados anteriormente, nace la necesidad de crear sistemas de tuberías para el manejo de la soda cáustica, evitando accidentes laborales y así trabajar de una manera más eficiente y dándoles seguridad a los operarios en su área de trabajo. Estos sistemas son

completamente automáticos y no hay necesidad de que haya contacto directo del operario con la soda cáustica para su transporte.

Aparte de los sistemas de suministro, hay sistemas para la dilución, los cuales, son una opción muy eficiente debido a que se puede tener la concentración exacta que sea necesaria para la producción, evitando así las paradas inesperadas lo que se transforma en ingresos para la empresa. Por tal motivo, el trabajo presentado va dirigido al personal operario en las zonas adyacentes a la planta de producción de papel en la empresa Kimberly Clark Venezuela. Dicha investigación ampliará los conocimientos existentes referentes al manejo y dilución de la soda cáustica.

El trabajo de grado presenta cuatro capítulos, donde se muestra la información requerida para llevar a cabo el diseño más conveniente, mostrando la secuencia de la investigación requerida para desarrollar los objetivos planteados, de manera de plantear la solución a los inconvenientes que presenta esta empresa, por el mal manejo de la soda cáustica, necesaria en su proceso productivo.

En el primer capítulo se encuentran el planteamiento del problema, el objetivo general y los objetivos específicos, justificación, alcance y limitaciones, necesarios en la elaboración del trabajo de grado.

El capítulo II muestra los antecedentes de la investigación, y las bases teóricas, donde se exponen los principios teóricos, necesarias en la comprensión del diseño a ejecutar, contando con la enunciación de conceptos, formulaciones y ecuaciones matemáticas, normas, entre otros, obligatorios en la consecución del objetivo principal.

El nivel, tipo y diseño de la investigación, la recolección, procesamiento y análisis de datos, así como los aspectos administrativos (recursos materiales y humanos), son presentados en el capítulo III, de manera que sean utilizadas las técnicas

adecuadas y seguir con ello una secuencia organizativa de los pasos a seguir en el diseño de un sistema de suministro y dilución de la soda cáustica en el proceso de la producción de papel en una empresa papelera.

En el capítulo IV se encuentra el desarrollo de la investigación que contiene la determinación de las variables involucradas en el proceso, la selección y puesta en marcha de la alternativa más idónea de manera de solucionar los problemas y fallas existente en el proceso actual de suministro y dilución de la soda cáustica y estimación de costos e implementación.

Por último, se dan a conocer las conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo del desarrollo del trabajo.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema.

La empresa KIMBERLY-CLARK Venezuela (VENEKIM C.A, Papelera Guaicaipuro C.A), está ubicada en la zona industrial la Hamaca, 2^{da} transversal, apartado N^o160-A, Maracay, Estado Aragua. Es una organización transnacional de carácter privado, creadora de productos de consumo masivo que concentran sus actividades en tres sectores: producto para el cuidado personal, papeles suaves para el mercado de consumo y productos para la industria y la colectividad.

El proceso de fabricación de papel comienza con la recolección de desechos de papelería común, documentos viejos, revistas, cheques viejos y periódicos, entre otros, los cuales se almacenan en forma de pacas. El proceso de convertir papel viejo en papel nuevo comienza con la mezcla de estas pacas con agua dentro de un desintegrador. Una vez formada la pasta; ésta pasa por distintos equipos para eliminar cualquier tipo de impureza, de allí se traslada a la planta de destintado, donde se blanquea y se eliminan las impurezas remanentes.

En el proceso de destintado se utiliza el reactivo químico soda cáustica (NaOH), el cual es empleado como blanqueador del material de reciclaje. Este químico es adquirido por la empresa con una concentración del 50% y se almacena en un tanque con su respectivo dique, el cual es un tanque con características específicas para dicho químico, tiene una capacidad de 31.643 l y está muy cercano al paso peatonal, tal como se muestra en las figuras 1.1 y 1.2.



Figura 1.1 Dique de soda cáustica



Figura 1.2 Paso peatonal

De acuerdo a las Normas COVENIN, y Normas Corporativas de la Empresa, que dictaminan las Normas básicas de Prevención de Riesgos Laborales, este químico debería estar ubicado en una zona donde no implique riesgos. En este proceso, el fluido (soda) es trasladado prácticamente en forma manual a partir del dique, mediante un trasegado se llena un varitanque por gravedad, que luego un operario se encarga de,

con la ayuda de un monta carga, transportarlo a dos puntos de entrega (suministro y dilución), lo que produce retraso en la producción, pérdidas de materia prima, accidentes como quemaduras en los operarios del líquido, derrame en áreas de trabajo o en el paso peatonal, lo que se traduce en pérdidas de capital de la empresa, por lo que es necesario modernizar el proceso, que permita que los inconvenientes ya mencionados sean minimizados.

En el primer punto de suministro, el cual es el tanque 1, se utiliza una concentración de soda al 50% (véase figura 1.3), ésta es depositada en dicho tanque y mediante un sistema de bombeo el fluido es llevado al punto de dosificación para el destintado de papel, siendo este flujo continuo, para ir eliminando las impurezas en el proceso de la elaboración de las pacas.



Figura 1.3 Tanque para el suministro de soda cáustica al 50%

En el segundo punto de suministro, se realiza una dilución de la soda cáustica con agua para llevarla a una concentración del 10%. Este proceso lo realiza un operario, el cual debe conectar una manguera desde la parte inferior del varitanque

hasta la parte superior del tanque 2, permitiendo así que la concentración del 50% pueda descargarse por gravedad. Asimismo debe conectar una toma de agua a la parte superior de dicho tanque, para que permita llevar a cabo la dilución. En este procedimiento, con frecuencia ocurre que la manguera se desconecta del sitio por error humano, el valor requerido por producción en la dilución es inexacto, las conexiones de la manguera no son las indicadas de acuerdo al producto manejado ya que con el tiempo las roscas se aíslan, entre otras, todo ello conduce a paradas en la producción, pérdidas de materia prima y accidentes laborables por mal manejo de material peligroso, entre otras; por lo que es necesario un cambio radical en el proceso antes mencionado. En la figura 1.4 se muestran los equipos involucrados en el proceso de dilución.



Figura 1.4. Equipos involucrados en la dilución de la soda cáustica al 10%

1.2 Formulación.

¿Cómo se disminuirían las pérdidas y los tiempos de entrega en el proceso de suministro y dilución de soda cáustica en la producción de papel?

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general.

Diseñar un sistema de suministro y dilución de soda cáustica en el proceso de la producción de papel en una empresa papelera.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Determinar las variables de operación del proceso de suministro y dilución de la soda cáustica.
- Plantear alternativas de solución para el suministro y dilución de la soda cáustica.
- Seleccionar y diseñar la propuesta seleccionada.
- Diseñar el sistema de control y protección de la propuesta seleccionada.
- Determinar los costos de la implementación del sistema de diseñado.

1.4 Justificación.

Este proyecto se realiza con la finalidad de modernizar el proceso de suministro y dilución de la soda cáustica en la producción de papel, tomando en cuenta la seguridad industrial, debido a que han ocurrido accidentes laborales, así como también afecta en lo económico, ya que con la pérdida de materia prima se generan altos costos

a la empresa. También es importante resaltar que el derrame de soda cáustica contamina el ambiente de trabajo y todo aquello que lo rodea, por lo cual es necesaria la implementación de un sistema de suministro y dilución de soda cáustica. Este proyecto sirve de ejemplo para corregir fallas similares en áreas similares y/o otras empresas de manufacturas.

1.5 Alcance.

En esta investigación se hará el diseño de un sistema de suministro de soda cáustica al 50% hasta el tanque 1, la dosificación de dicha soda se hará con el sistema actual de la planta para el destintado del papel, la cual no se contempla en este trabajo. Por otro lado también se hará el diseño del sistema de dilución de soda al 10 % para posteriormente limpiar la malla y el fieltro de la máquina.

En ambos diseños se incluye el sistema de control que permita apagar y encender las bombas que suministrarán los fluidos involucrados, además de considerar dispositivos adicionales que las normas de seguridad estipulan para evitar derrames de soda cáustica y garantizar la integridad de los operadores de los sistemas.

1.6 Limitaciones.

-Poco espacio físico disponible para la ubicación de tuberías.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.

YIBIRIN, (2007), publicó un trabajo fundamental, el cual consistió en el diseño de un sistema para preparar soda cáustica con aditivo, donde fue necesario hacer un levantamiento de información del proceso anterior, para fundamentar y plantear distintas soluciones. La medida tomada en este caso fue colocar una nueva recepción de soda y preparar la mezcla en el tanque que surte al departamento de elaboración. Luego se realizó el diseño del proceso, en el cual se hicieron cálculos para la selección de bombas y dimensiones de tuberías.

MACERO, (2011), realizó una propuesta de un sistema de control automatizado de agua y soda cáustica agregados a los tanques de una lavadora de botellas de vidrio retornable de una planta productora de refresco, para ello, se recopiló información de las fallas del proceso, de las variables operacionales y los procedimientos de control. La propuesta establecida de automatización, basada en la inclusión de un PLC e incluyendo medidores de las variables de cada uno de los tanques, controlará el error ocasionado por las fluctuaciones de concentración de soda a lo largo del tiempo, permitiendo que en todo momento el proceso se mantenga en control, aumentando su capacidad.

TAPIA, (2013), realizó un diseño e instalación de los servicios de funcionamiento para la rectificación del metanol mediante columna de destilación en el proceso de biodiesel de la empresa LA FABRIL S.A. de Manta, utilizando vapor de agua y destilando el metanol captado de la producción de biodiesel con una pureza del 94%; la manera de destilar el alcohol fue calentándolo progresivamente hasta llegar a los 65°C, punto de evaporación, mediante el uso de recalentadores, separando el producto de sus contaminantes entre ellos biodiesel, glicerina y agua, cuyos puntos de evaporación son más elevados. El diseño fue realizado con tuberías de vapor y de aire comprimido y un sistema de bombeo. Este tipo de proyecto es viable tanto ambiental, técnica como económicamente, y proporcionan el reciclaje del alcohol necesario para la producción de biodiesel (biocombustible amigable con el ambiente).

2.2 Bases teóricas.

2.2.1 Soda Cáustica.

La soda cáustica o hidróxido de sodio (NaOH) es químicamente reactiva con una amplia variedad de productos químicos orgánicos e inorgánicos. En todas sus formas, incluyendo en forma de solución, la soda cáustica es altamente corrosiva y puede causar quemaduras graves en ojos y piel. El contacto ocular durante sólo unos segundos puede causar daño permanente, incluso ceguera. El contacto breve con la piel puede causar marcada irritación o quemadura química.

El hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido sódico, también conocido como soda cáustica, es un hidróxido cáustico usado en la industria (principalmente como una base química) en la fabricación de papel, tejidos, y detergentes.

Debido a los peligros que presenta el trabajo con soda cáustica es importante que todas las personas que manipulen soda cáustica, directa o indirectamente,

conozcan y sigan estrictos procedimientos de seguridad. Se recomienda expresamente a las compañías que utilizan soda cáustica informar y capacitar a sus empleados sobre prácticas de seguridad adecuadas y primeros auxilios.

La soda cáustica es un importante producto químico para la industria de la pasta y el papel. Sus usos principales en la producción de pasta y papel incluyen la cocción/elaboración de pasta Kraft, el blanqueado de la pasta, y la fabricación de hipoclorito de sodio sobre el terreno. El procedimiento general para el blanqueado de la pasta tiene como función eliminar las impurezas y las materias de color presentes en la pasta. Las etapas de extracción casi siempre usan soda cáustica.

2.2.2 Precauciones de seguridad y medidas de prevención para la soda cáustica.

La solución de soda cáustica es un producto químico industrial muy corrosivo. Si bien no parece ser peligrosa y tiene la apariencia del agua, el contacto ocular durante sólo unos pocos segundos puede causar daño permanente, incluso ceguera.

La soda cáustica es inodora, por lo tanto, el olor no puede servir de advertencia. Además, la soda cáustica no causa dolor inmediato cuando entra en contacto con la piel, pero sí causa daño inmediato. El contacto breve con la piel puede causar irritación o quemadura química.

En caso de contacto corporal, la soda cáustica continuará atacando y penetrando los ojos o piel (a diferencia de los ácidos que coagulan proteínas para formar una barrera). Esto significa que:

- En caso de contacto ocular, debe comenzar de inmediato a lavarse con agua para evitar daño permanente. Por lo tanto, deben instalarse fuentes para enjuague ocular cerca de toda área de manipulación de soda cáustica.

- En caso de contacto con la piel, debe comenzar de inmediato a lavarse con agua para evitar quemaduras químicas de lenta cicatrización.

Todo el personal que manipule soda cáustica debe utilizar la vestimenta de protección adecuada. Las cuales son:

1. Las personas que manipulan soda cáustica siempre deben utilizar gafas de seguridad ajustadas para personal que trabaja con productos químicos y guantes resistentes a productos químicos.
2. Puede requerirse vestimenta y equipo adicional, según el trabajo. Es responsabilidad de la instalación en la que se utiliza solución de soda cáustica realizar un análisis de seguridad laboral para determinar el equipo de protección personal (EPP) para la tarea que se realiza. Estas opciones pueden incluir:
 - Casco.
 - Delantal resistente a productos químicos.
 - Máscara de cara completa (además de gafas de seguridad para personas que trabajan con productos químicos).
 - Botas resistentes a productos químicos.
 - Traje de protección contra productos químicos (chaqueta y pantalones). La chaqueta debe estar cerrada hasta el cuello, los pantalones deben utilizarse fuera de las botas, y las mangas de la camisa deben colocarse por debajo de los guantes, salvo un análisis determine que es aceptable usar las mangas sobre el guante.
 - Traje completo de protección contra productos químicos con capucha y respirador con suministro de aire.
3. Los trabajadores deben estar completamente capacitados sobre los riesgos de la soda cáustica antes de comenzar cualquier trabajo con este material (descarga, almacenamiento, transferencia, producción, mantenimiento, pruebas de laboratorio,

entre otros.). Todas estas actividades deben planearse en detalle por anticipado, y todos los procedimientos planeados deben seguirse cuidadosamente.

En la figura 2.1 se puede observar el tipo de vestimenta y equipo de protección que deben usar los trabajadores cuando se manipula soda cáustica.



Figura 2.1. Equipo y vestimenta para el manejo de soda cáustica. The Dow Chemical, 2008.

2.2.3. Dilución de la soda cáustica.

Hay un gráfico de mezcla, que se emplea para estimar el volumen de agua necesario para diluir soluciones de soda cáustica concentradas hasta concentraciones deseadas, o volúmenes de soluciones de soda cáusticas de diferentes concentraciones para mezclar y producir soluciones de concentraciones intermedias deseada. En la figura 2.2 se representa el gráfico de mezcla para soluciones de soda cáustica.

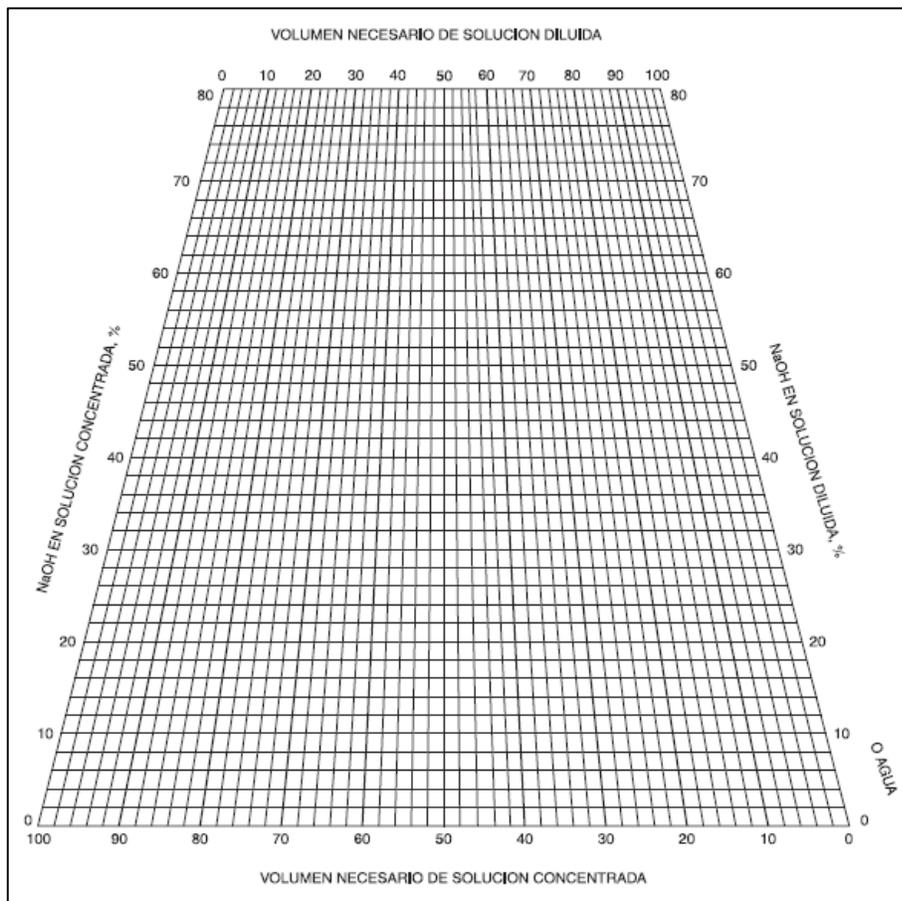


Figura. 2.2. Mezcla para soluciones de soda cáustica. The Dow Chemical, 2008.

2.2.3.1 Precauciones para diluir solución de soda cáustica.

- Siempre agregar la solución de soda cáustica al agua con agitación constante. Nunca agregar el agua a la solución de soda cáustica.
- El agua debe estar tibia a 27° – 38°C (80° – 100°F). Nunca comenzar con agua caliente o fría. La adición de soda cáustica a un líquido causará un aumento de temperatura. Si la soda cáustica se agrega demasiado rápido, o si se agrega a un líquido caliente o frío, un rápido aumento de temperatura puede crear rocío, hervor o salpicadura peligrosa, que puede causar una erupción violenta inmediata.

2.2.4. Bombas.

Las bombas son dispositivos empleados para elevar, transferir o comprimir líquidos y gases, en definitiva son máquinas que realizan un trabajo para mantener un líquido en movimiento. Consiguiendo así aumentar la presión del fluido.

Básicamente, las bombas están compuestas en dos partes, un impulsor, que imparte un movimiento giratorio al líquido y la carcasa de la bomba, que dirige el flujo hacia la región del impulsor y lo transporta hacia la salida a alta presión.

Existen infinidad de formas de clasificación de bombas pero fundamentalmente se pueden dividir en dos grandes grupos:

- ***Bombas volumétricas o de desplazamiento positivo.***

En las bombas de desplazamiento positivo existe una relación directa entre el movimiento de los elementos de bombeo y la cantidad de líquido movido, pudiendo decir a modo de síntesis que son bombas de pistón, cuyo funcionamiento básico consiste en recorrer un cilindro con un vástago.

Existen diversos tipos de bombas de desplazamiento positivo, pero todas suelen constar de una pieza giratoria con una serie de aletas que se mueven en una carcasa muy ajustada. El líquido queda atrapado en los espacios entre las aletas y pasa a una zona de mayor presión. Un dispositivo corriente de este tipo es la bomba de engranajes, formada por dos ruedas dentadas engranadas entre sí. En este caso, las aletas son los dientes de los engranajes.

- ***Bombas dinámicas o de energía cinética.***

Fundamentalmente consisten en un rodete que gira acoplado a un motor. Entre ellas se sitúan las regenerativas, las especiales, las periféricas o de turbinas y una de las más importantes, las centrífugas.

- ***Bombas centrífugas.***

Las bombas centrífugas tienen un rotor de paletas giratorio sumergido en el líquido. El líquido entra en la bomba cerca del eje del rotor, y las paletas lo arrastran hacia sus extremos a alta presión. El rotor también proporciona al líquido una velocidad relativamente alta que puede transformarse en presión en una parte estacionaria de la bomba, conocida como difusor.

En bombas de alta presión pueden emplearse varios rotores en serie, y los difusores posteriores a cada rotor pueden contener aletas de guía para reducir poco a poco la velocidad del líquido.

En las bombas de baja presión, el difusor suele ser un canal en espiral cuya superficie transversal aumenta de forma gradual para reducir la velocidad. El rotor debe ser cebado antes de empezar a funcionar, es decir, debe estar rodeado de líquido cuando se arranca la bomba. Esto puede lograrse colocando una válvula de retención en el

conducto de succión, que mantiene el líquido en la bomba cuando el rotor no gira. Por lo general, las bombas centrífugas tienen una válvula en el conducto de salida para controlar el flujo y la presión.

Estas turbo-máquinas hidráulicas generadoras pueden subdividirse en:

- ***Radiales o centrífugas.***

Cuando el movimiento del fluido sigue una trayectoria perpendicular al eje del rodete impulsor.

- ***Axiales.***

Cuando el fluido pasa por los canales de los álabes siguiendo una trayectoria paralela al eje del rodete.

- ***Diagonales o helicentrífugas.***

Cuando la trayectoria del fluido se realiza en otra dirección entre las anteriores, es decir, en un cono coaxial con el eje del rodete.

En otro orden de ideas cabe destacar que para la implementación del uso de una bomba hay ciertos factores que se deben tomar en cuenta como los siguientes:

- La naturaleza del líquido a bombear.
- La capacidad requerida.
- La condición en el lado de succión de la bomba.
- La condición en el lado de descarga.
- Altura de máquina de la bomba.
- El tipo de fuente de alimentación (motor eléctrico, motor diésel, turbina).
- Limitaciones de espacio, peso y posición.
- Las condiciones ambientales.

- Costo de la operación de la bomba.
- Códigos estándares que rigen a las bombas.

Luego de haber considerado los parámetros anteriores, la selección de la bomba debe llevarse a cabo utilizando las curvas de los manuales de los fabricantes; esto quiere decir que necesitan realizarse los cálculos, tanto de la potencia para la bomba como la del motor a emplear.

2.2.5 Bombas para productos químicos.

Debido a la gran expansión en el uso de los productos químicos en años recientes, el uso de bombas especiales para ellos se está haciendo más común en todas las industrias. Los productos químicos pueden tener alta o baja viscosidad, y pueden ser materiales tales como fertilizantes líquidos, ácidos, solventes y resinas plásticas.

Si los productos químicos son usados en la forma de líquidos, usualmente serán combinados con otro agente químico llamado catalizador durante el mezclado final.

Los productos químicos menos viscosos pueden ser manejados por bombas rotativas o centrífugas sólo se debe tomar como primera consideración al seleccionar estas bombas, que los materiales de la caja de la bomba y los impulsores puedan resistir el producto químico que va a ser bombeado y se debe seleccionar los sellos apropiados.

Muchas armaduras o cajas de bombas, además de ser hechas de aleaciones resistentes a la corrosión, también se hacen con materiales plásticos tales como teflón, polipropeno, y otros materiales similares. Sin embargo, se debe tener cuidado de asegurarse que los materiales seleccionados para un sistema de manejo de productos químicos sean compatibles con el fluido y no vayan a corroerse o sufrir erosión debido a la acción del producto que corre por el sistema.

2.2.5.1 Bomba centrífuga para productos químicos.

Una bomba centrífuga especial para químicos aunque se parece a una centrífuga común, su construcción es diferente, ya que toda la caja de la bomba está forrada con un revestimiento protector interior para obtener una alta resistencia a los ácidos, solventes y otros productos químicos.

2.2.6 Viscosidad de un fluido.

Propiedad de los fluidos que ofrece resistencia al movimiento relativo de sus moléculas. La pérdida de disponibilidad debida a la fricción en un fluido que fluye se debe en parte a su viscosidad. La viscosidad se clasifica en:

- **Viscosidad Dinámica (μ).**

De un flujo, es la relación del esfuerzo cortante a la razón de deformación. También se puede decir, que es la fuerza tangencial por unidad de área, de los planos paralelos por unidad de distancia. Las unidades de la viscosidad dinámica se muestran en la tabla 2.1:

Tabla 2.1. Unidades de la viscosidad dinámica o aparente. Cengel 2006

Sistema de unidad	Unidad de viscosidad dinámica
Internacional	$N \cdot s / m^2 = Pa \cdot s = kg / m \cdot s$
Ingles	$lbf \cdot s / pie^2$
Métrico	Poise = $dina \cdot s / cm^2$; 100 cP = Poise

- **Viscosidad Cinemática (ν).**

De un fluido, es su viscosidad dinámica entre su densidad. Las unidades de la viscosidad cinética se muestran en la tabla 2.2:

Tabla 2.2. Unidades de la viscosidad cinética.

Sistema de unidad	Unidad de viscosidad cinética
Internacional	m^2 / s
Ingles	pie^2 / s
Métrico	Stoke = cm^2 / s ; 100 cSt = Stoke

2.2.7 Gravedad específica.

Es una propiedad que relaciona la densidad de un fluido con la densidad de otro fluido de referencia, tal como lo expresa la ecuación 2.1:

$$GE = \frac{\rho_{fluido\ de\ trabajo}}{\rho_{fluido\ de\ referencia}} \quad (2.1)$$

Dónde:

GE : Gravedad específica (Adimensional).

$\rho_{fluido\ de\ trabajo}$: Densidad de trabajo (kg/m^3).

$\rho_{fluido\ de\ referencia}$: Densidad absoluta del agua (kg/m^3).

2.2.8 Clasificación de tuberías y accesorios.

- **Tuberías.**

Una tubería es un conducto que cumple la función de transportar agua u otros fluidos. Las tuberías se identifican por su diámetro y su espesor. A continuación, se mencionan o identifican los números de lista con el peso específico de la tubería: 1) número de cédula 40 = peso estándar. 2) número de cédula 80 = peso extra fuerte. 3) número de cédula 160 = peso doble extra fuerte. Para la selección de tubería se toma en cuenta una serie de variables que pueden influir en el comportamiento de la misma según el fluido a circular por ella y el ambiente en el cual está expuesta. Las variables

más importantes y consideradas al momento de un diseño son: la corrosión, la temperatura, la presión, costo y selección de material, entre otros.

- ***Clasificación de las tuberías de acuerdo a su material.***

- ***No metálicos.***

Policloruro se usa para tuberías de desagües de residuos residenciales, tuberías pequeñas de agua potable y tuberías de conductos eléctricos.

Polietileno se usa, para baja densidad, en tuberías de riego. Para alta densidad, en tuberías para gas, tuberías para telefonía, tuberías para agua potable, tuberías para minería y tuberías para drenaje y uso sanitario.

Concreto se usa en tuberías para agua potable y para alcantarillado.

- ***Metálicos.***

Cobre se usa para sanitario (calefacción y agua caliente), refrigeración (aire acondicionado) e instalaciones de gas y vapor.

Níquel se usa para tuberías con servicios tales como la corrosión y tratamiento térmico, petróleo, gas, pulpa, papel y farmacéutica.

Plomo se usa para instalaciones para agua potable, gas, vapor, oxígeno y lubricantes.

Aluminio se usan para aplicaciones marítimas y generación de energía.

Hierro fundido es para uso doméstico, uso industrial y para transporte de grandes caudales de agua.

Acero inoxidable es para tuberías de plantas de tratamiento de agua y en la industria para químico corrosivo, entre otras.

- ***Accesorios para un sistema de tuberías.***

Todo sistema donde circula fluido está compuesto por los siguientes elementos principales como son:

- ***Bridas.***

Son accesorios para conectar tuberías con equipos (Bombas, intercambiadores de calor, calderas, tanques, entre otros) o accesorios (codos, válvulas, entre otros). La unión se hace por medio de dos bridas, en la cual una de ellas pertenece a la tubería y la otra al equipo o accesorio a ser conectado. Las ventajas de las uniones bridadas radican en el hecho de que por estar unidas por espárragos, permiten el rápido montaje y desmontaje a objeto de realizar reparaciones o mantenimiento.

- ***Válvulas.***

Una válvula se define como un aparato mecánico con el cual se puede detener o regular la circulación del paso de líquido o gases mediante una pieza movable que abre y cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos, las válvulas constituyen uno de los instrumentos de control más esenciales en la industria.

- ***Codos.***

Son accesorios de forma curva que se utilizan para cambiar la dirección del flujo de las líneas, tanto en grados como las especificaciones en los planos o dibujos de tubería.

- ***Tee.***

Este accesorio se fabrica de diferentes tipos de materiales y aleaciones, diámetros y espesor, los cuales se utilizan para efectuar conexiones a tres bandas.

- **Reducciones.**

Son accesorios de forma cónica fabricada de diversos materiales y aleaciones. Se utilizan para disminuir el volumen de fluido a través de tuberías.

2.2.9 Número de Reynolds.

El número de Reynolds (Re) es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido. Es decir la transición de flujo laminar a turbulento depende de la geometría, la rugosidad de la superficie, la velocidad del flujo, la temperatura de la superficie y el tipo de fluido. El número de Reynolds se expresa para un flujo interno en una tubería circular con la ecuación 2.2:

$$N_{Re} = \frac{\text{Fuerzas inerciales}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{\bar{V} x D}{\nu} = \frac{\rho \cdot \bar{V} D}{\mu} \quad (2.2)$$

Dónde:

N_{Re} : Número de Reynolds (adimensional).

ρ : Densidad del fluido (kg/m³).

\bar{V} : Velocidad promedio del fluido (m/s).

D: Diámetro interno de la tubería a través de la cual circula el fluido (m)

μ : Viscosidad dinámica del fluido (kg / m.s).

ν : Viscosidad cinemática del fluido (m²/s).

Una vez obtenidos los valores del Reynolds se clasifica el flujo de la siguiente manera:

Flujo laminar: se presenta cuando la velocidad del flujo es relativamente baja. El principal factor de caída de presión en este régimen es la viscosidad del líquido. Las partículas no tienen movimientos cerca de las paredes del tubo y el movimiento se realiza en cilindros concéntricos.

Si $Re \leq 2000$, el flujo es laminar. Cengel (2006)

Zona de transición: el fluido puede comportarse indistintamente como laminar o turbulento dependiendo de muchos factores.

Si $2000 < Re < 4000$, está en zona de transición. Cengel (2006)

Fluido turbulento: se presenta cuando la velocidad del flujo es relativamente alta. El principal factor de caída de presión se debe a la rugosidad del tubo. Las partículas se mueven de forma indeterminada, sin embargo, en la pared del fluido hay una subcapa que se mueve en régimen laminar.

Si $Re \geq 4000$, el flujo es turbulento. Cengel (2006)

2.2.10 Ecuación para el cálculo de pérdidas por fricción en tuberías.

Hay varias ecuaciones que permiten evaluar las pérdidas de disponibilidad debidas a fricción. A continuación se muestra la ecuación 2.3 de Darcy – Weisbach:

$$hf = f * \frac{L}{D} * \frac{Q^2}{2 * A^2 * g} = f * \frac{L}{D} * \frac{\bar{v}^2}{2 * g} \quad (2.3)$$

Dónde:

hf . Pérdidas por fricción en tuberías (m.c.f).

- L: Longitud total del tramo tubería (m).
- f : Coeficiente o factor de fricción (adimensional).
- g : Aceleración de gravedad (m/s²).
- \bar{V} : Velocidad promedio del fluido (m/s).
- D: Diámetro interno de la tubería (m).
- Q : Caudal (m³/s).
- A: Sección transversal interna de la tubería (m²).

El diagrama de Moody se utiliza para determinar el valor del factor de fricción f, como se muestra en la figura 2.3, es decir, indica si el flujo es laminar o turbulento mediante el número de Reynolds con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa.

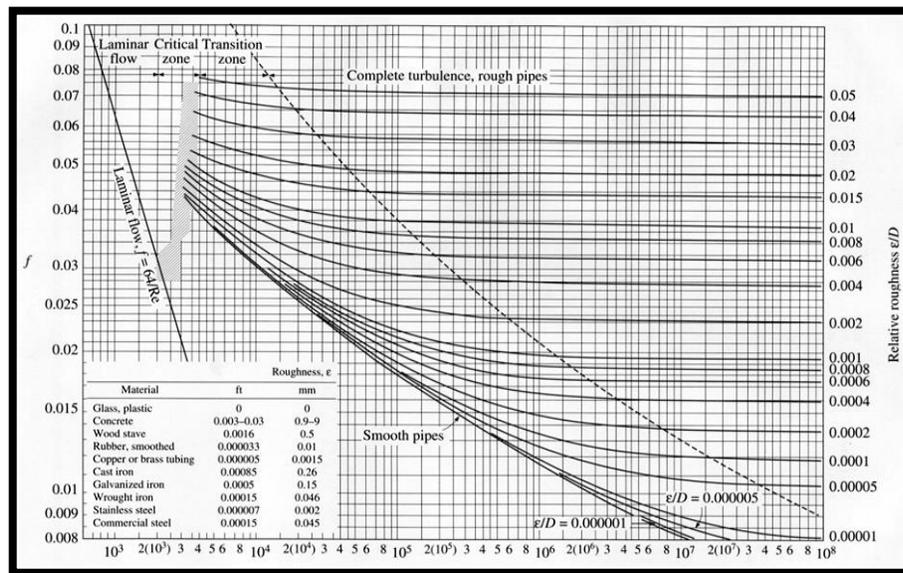


Figura. 2.3 Diagrama de Moody. Potter, 1998.

También se puede calcular el factor de fricción, para un flujo laminar mediante la ecuación 2.4:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.4)$$

Donde:

f = Coeficiente o factor de fricción (adimensional).

Re = Número de Reynolds (adimensional).

Las pérdidas por fricción dependen del tipo de flujo, si es laminar o turbulento, sin embargo básicamente depende del caudal, el fluido (viscosidad) y la tubería (diámetro, longitud y rugosidad). A bajos caudales se tiene una característica lineal y al incrementar el flujo se llega a una curva parabólica. A continuación se muestran las figuras 2.4 y 2.5, donde se observan cómo se representan las pérdidas por fricción:

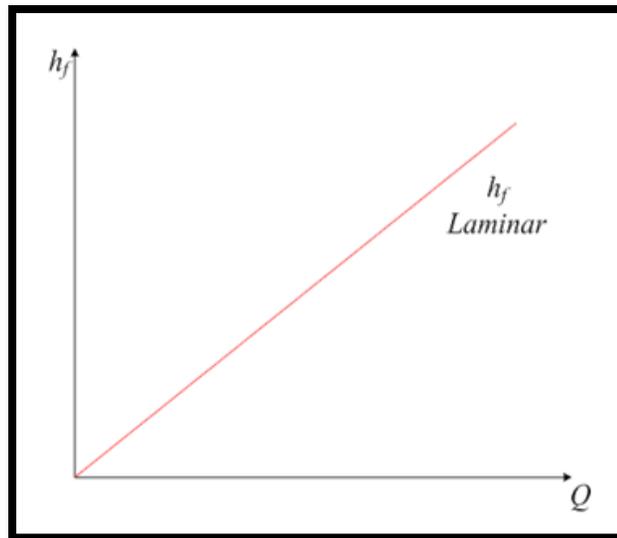


Figura. 2.4 Pérdidas por fricción en flujo laminar. Cengel, 2006.

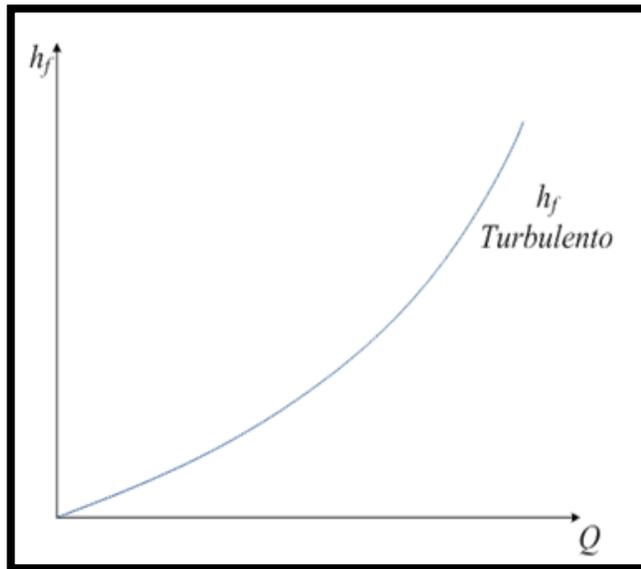


Figura. 2.5 Pérdidas por fricción en flujo turbulento. Cengel, 2006.

2.2.11 Pérdidas por accesorios.

La pérdida de carga en accesorios tales como, válvulas, tees, codos, expansiones, entre otros, habitualmente son llamados pérdidas de carga por forma. Las pérdidas por fricción en accesorios se obtienen mediante la ecuación 2.5:

$$hl = k * \frac{\bar{v}^2}{2 \times g} \quad (2.5)$$

Dónde:

hl : Pérdidas por fricción en accesorios (m.c.f)

k : Coeficiente de resistencia de los accesorios (adimensional).

g : Aceleración de gravedad (m/s^2)

\bar{v} : Velocidad promedio del fluido (m/s)

2.2.12 Pérdidas totales.

Las pérdidas totales en el sistema se calculan mediante la ecuación 2.6.

$$hf(total) = hf + hl \quad (2.6)$$

Dónde:

$hf_{(total)}$: Pérdida Total del sistema (m.c.f)

hf . Pérdidas por fricción en tubería (m.c.f)

hl : Pérdidas por fricción en accesorios (m.c.f).

2.2.13 Arreglo de resistencias.

La mayoría de los sistemas de tuberías incluyen conexiones en serie o en paralelo. Un proyecto de tuberías puede implicar el diseño de un nuevo sistema o la expansión de uno existente, con el objetivo de diseñar un sistema de tuberías que entre las razones de flujos especificadas a presiones confiables a un costo total mínimo. Los arreglos se realizan de dos maneras:

- **Arreglo de resistencia en serie.**

De acuerdo a la ecuación 2.6, cuando las tuberías se conectan en serie, la razón de flujo a través de todo el sistema permanece constante sin importar los diámetros de las tuberías en el sistema. En un arreglo en serie las pérdidas totales son la suma de las pérdidas en cada tramo parcial y las pérdidas por accesorios, tal como se observa en la figura 2.6:

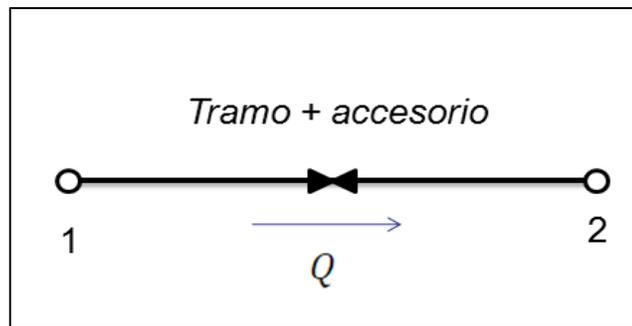


Figura 2.6 Arreglo de resistencia en serie. Cengel, 2006.

Además se puede observar de manera gráfica en la figura 2.7, como se representa la curva equivalente de un arreglo en serie, sumando a caudal constantes las pérdidas del tramo y las pérdidas de accesorios:

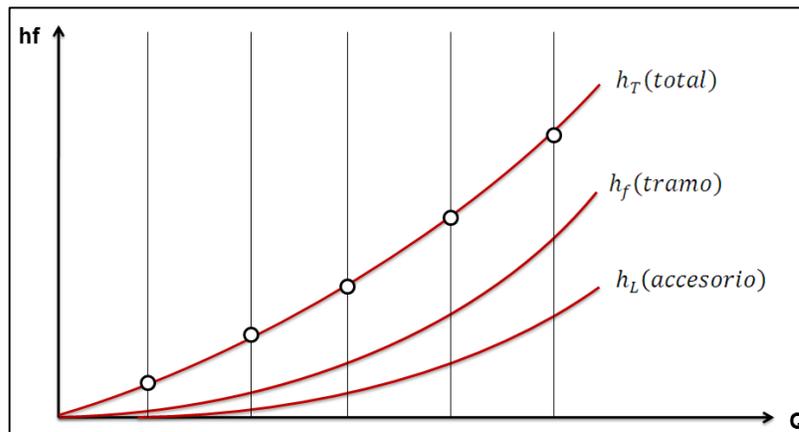


Figura 2.7 Curva equivalente de un arreglo en serie. Cengel, 2006.

- **Arreglo de resistencia en Paralelo.**

La pérdida de carga en cada tubería individual conectada en paralelo debe ser la misma. Es decir en un arreglo en paralelo la pérdida total es igual a las pérdidas de cualquiera de los tramos del paralelo, en cambio los caudales son diferentes por cada tramo de tuberías, en la siguiente figura 2.8, se observa un arreglo en paralelo:

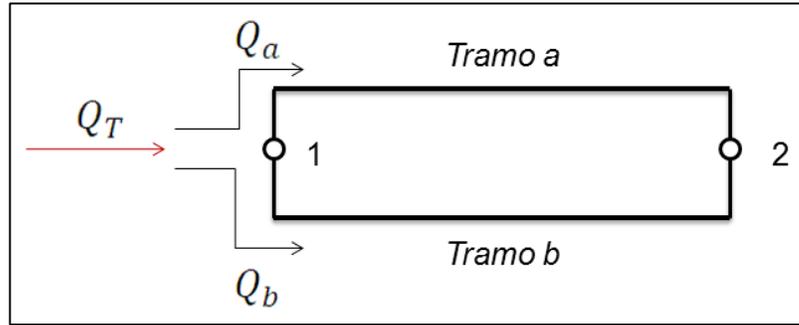


Figura 2.8 Arreglo de resistencia en paralelo. Cengel, 2006.

Además se representa la curva equivalente para un arreglo en paralelo, tal como se observa en la figura 2.9, como las pérdidas son iguales a disponibilidad constante se obtiene la curva total del tramo:

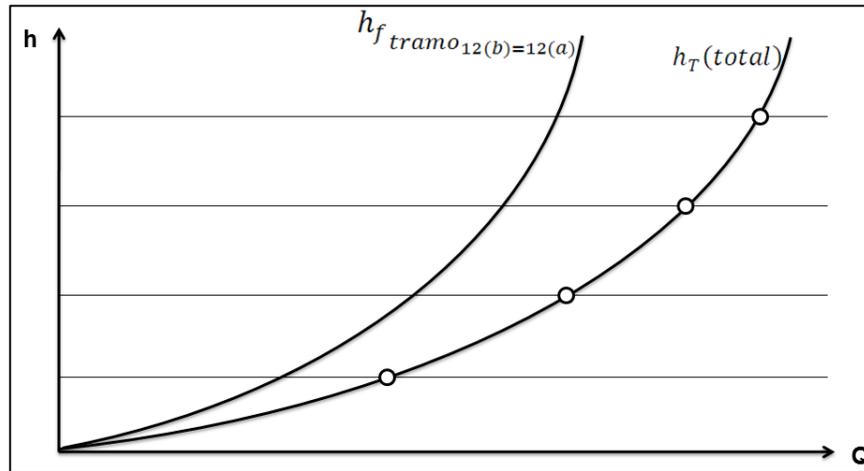


Figura 2.9 Curva equivalente de un arreglo en paralelo. Cengel, 2006.

2.2.14 Balanceo de sistemas.

El balanceo de sistemas se realiza cuando es necesario tener un determinado caudal pasando por una tubería.

Cuando se tiene un sistema de bombeo el cual envía caudal a una red, ésta se auto balancea y para poder tener el caudal que se quiera en una tubería es necesario agregar pérdidas o aumentar la energía del flujo, es decir, si se desea hacer circular por el tramo, un caudal menor al definido naturalmente por el sistema, se debe agregar resistencias (pérdidas) en el mismo. Si por el contrario se desea aumentar el caudal, se debe aumentar la energía del fluido.

2.2.15 Ecuación para el cálculo de las disponibilidades en tanques.

Es una ecuación que agrupa los tres tipos de energía que se consideran en los fluidos en movimiento y se expresa en términos de disponibilidad del fluido, a continuación se expresa la ecuación 2.7, donde se obtiene el cálculo de la disponibilidad de los tanques:

$$H_o = \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2.g} + Z \quad (2.7)$$

Dónde:

H_o : Disponibilidad mecánica (m.c.f).

P : Presión estática a la que está sometido el fluido (N/m^2).

γ : Peso específico del fluido (N/m^3).

\bar{V} : Velocidad promedio del fluido (m/s).

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2).

Z : Altura del punto en consideración (m).

2.2.16 Potencia de accionamiento de la bomba.

La potencia consumida por la bomba, es la potencia adsorbida en el eje o el acoplamiento, y se calcula con la ecuación 2.8:

$$P = \frac{\gamma \times Q \times H}{\eta} \quad (2.8)$$

Dónde:

P : Potencia de accionamiento de la bomba (W).

H: Altura de máquina de la bomba (m.c.f).

η : Eficiencia total de la bomba (%).

Q: Caudal de trabajo de la bomba (m^3/s).

γ : Peso específico del fluido (N/m^3).

2.2.17 Requerimientos para la selección de una bomba.

La selección de una bomba para una aplicación se basa en dos condiciones importantes, el caudal requerido (Q_{mr}) y la altura de trabajo requerido (H_{mr}) y depende del sistema donde va a estar el equipo.

Los requerimientos de potencia de accionamiento de la bomba dependen de la cantidad y viscosidad del líquido a ser bombeado.

La velocidad de rotación del eje de la bomba es otro factor que determina la capacidad de la misma, mientras que muchas bombas pequeñas se conectan directamente a motores eléctricos, con las grandes se toman precauciones y la conexión a los motores se hace mediante transmisión por acoplamiento, correas o cadenas, o

mediantes reductores. Esto significa que la velocidad de la bomba puede ser ajustada dentro de una pequeña escala de requerimientos.

La altitud a la cual opera la bomba tiene un efecto definitivo sobre la capacidad y su desempeño. En los lugares situados a mucha altura sobre el nivel del mar se obtiene una reducida altura de succión, debido a la presión atmosférica. Se debe recordar que la bomba normalmente lo que hace es ayudar a que la presión atmosférica eleve la columna de fluido.

La eficiencia de la bomba es también parte del desempeño de la misma, y es un factor determinante cuando se selecciona su capacidad.

La temperatura del fluido o material a ser bombeado, es un factor determinante cuando se selecciona la bomba, los fluidos bombeados a baja temperatura manifestarán una receptividad al bombeo, diferente a la que mostrarían si se encontrarán a una temperatura elevada. Además de la temperatura y la viscosidad del fluido, la densidad específica del material que es bombeado tiene una influencia directa en la altura neta positiva de aspiración.

Para finalizar se debe tomar en cuenta el tipo de fluido con el cual se está trabajando, ya que si es un químico deben tener requerimientos especiales, es decir, las cajas e impulsores y la coraza interna deben ser de tipo anticorrosivas y los sellos especiales.

2.2.18 Cavitación en bombas.

La cavitación se define como la formación del vapor de agua a causa del descenso local de la presión por debajo de la presión de saturación del líquido y la condensación brusca subsiguiente.

Para saber si en una bomba no ocurre la cavitación, se deben explicar dos términos:

- ***NPSHD***

Se denomina altura neta positiva de aspiración disponible a la cantidad de energía con el que el líquido llegará a la boca de aspiración de la bomba, es decir representa la energía disponible que puede utilizarse para pasar el fluido desde la brida de succión hasta el ojo del impulsor, y la cual está dada por el sistema.

El NPSHD es una característica de la instalación donde la bomba opera, representa una disponibilidad (exceso de energía) en la succión, tal que la presión del fluido en ese punto esté por encima del valor de presión de saturación del fluido a la temperatura del trabajo, de tal forma de garantizar que no ocurra cavitación. Mediante la ecuación 2.9, se obtiene el NPSHD:

$$\text{NPSHD} = \frac{P_o - P_v}{\gamma} + z - hf_{os} \quad (2.9)$$

Donde:

P_v = Presión de saturación o de vapor (N/m²).

P_o = Presión estática a la que está sometido el fluido (N/m²).

γ = Peso específico del fluido (N/m).

z = Altura entre el nivel del fluido y la brida de succión de la bomba (m).

hf_{os} = Pérdida de carga en la succión de la bomba (m.c.f).

- **NPSHR.**

Se denomina altura neta positiva de aspiración requerida por la bomba, representa la energía mínima, en la brida de succión de la bomba, por sobre la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, es decir, representa la energía requerida por la bomba para vencer las pérdidas que ocurren entre la brida de succión y el ojo del impulsor. La curva Q-NPSHR la establece el fabricante mediante ensayos de laboratorio.

A continuación se muestra en la figura 2.10, una gráfica que representa la condición para que no ocurra cavitación la cual para que haya una operación segura el NPSH disponible debe ser mayor al NPSH requerido.

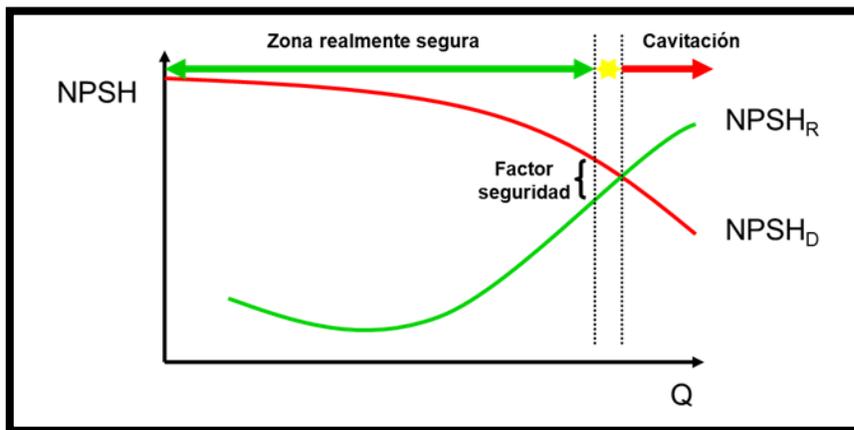


Figura. 2.10 Zona de trabajo y de cavitación. Potter, 1998.

2.2.19 Concentración de soda cáustica.

La concentración de soda cáustica se hace mediante la utilización del manual de soda cáustica para las distintas concentraciones a las que se quiere llevar. Se calcula con la ecuación 2.10 que se muestra a continuación:

$$V_{ocup\ 50\%} = \frac{V_c}{V_d} \times V_t \quad (2.10)$$

Dónde:

V ocup 50%: Concentración de soda cáustica al 50 (l).

Vc: volumen concentrado (%).

Vd= volumen diluido (%).

Vt: volumen total (l).

2.2.20 Automatización.

Según Kuo (1996) explica que “La automatización Industrial es el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales substituyendo a operadores humanos”.

Se puede decir que la automatización posee un enlace que va más allá de la simple mecanización de los procesos ya que está provee a operadores humanos mecanismos para asistirlos en los esfuerzos físicos del trabajo, la automatización es ampliamente la necesidad sensorial y mental del humano. La automatización como una disciplina de la ingeniería amplia, que abarca la instrumentación industrial, incluye los sensores y transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales.

2.2.21 Sistema de control (PLC).

Los PLC están adaptados para un amplio rango de tareas de automatización. Los PLC contienen todo lo necesario para manejar altas cargas de potencia; se requiere poco diseño eléctrico y el problema de diseño se centra en expresar las operaciones y secuencias en la lógica de escalera (o diagramas de funciones).

Así mismo las aplicaciones de PLC, son normalmente hechos a la medida del sistema, por lo que el costo del PLC es bajo comparado con el costo de la contratación del diseñador para un diseño específico que sólo se va a usar una sola vez. Por otro lado, en caso de productos de alta producción, los sistemas de control a medida se amortizan por sí solos rápidamente debido al ahorro en los componentes, lo que provoca que pueda ser una buena elección en vez de una solución “genérica”. Sin embargo, se debe notar que algunos PLC ya no tienen un precio alto. Los PLC actuales tienen todas las capacidades por algunos cientos de dólares. Diferentes técnicas son utilizadas para un alto volumen o una simple tarea de automatización, por ejemplo, una lavadora de uso doméstico puede ser controlada por un temporizador CAM electrodoméstico costando algunos cuantos de dólares en cantidades de producción.

Un diseño basado en un micro controlador puede ser apropiado donde cientos o miles de unidades deben ser producidas y entonces el costo de desarrollo (diseño de fuentes de alimentación y equipo de entradas y salidas) puede ser dividido en muchas ventas, donde el usuario final no tiene necesidad de alterar el control. Aplicaciones automotrices son un ejemplo, millones de unidades son vendidas cada año, y pocos usuarios finales alteran la programación de estos controladores. (Sin embargo, algunos vehículos especiales como camiones de pasajeros para tránsito urbano utilizan PLC en vez de controladores de diseño propio, debido a que los volúmenes son pequeños y el desarrollo no sería económico). Algunos procesos de control complejos, como los utilizados en la industria química, pueden requerir algoritmos y características más allá de la capacidad de un PLC de alto nivel. Controladores de alta velocidad también requieren de soluciones a la medida.

2.2.22 Control Eléctrico.

Según Kuo (1996) explica que “Es aquel que funciona en base a una corriente eléctrica. Se define como mando, gobierno y regulación”. De esta forma cuando se habla de control de motores, equipos o máquinas, se refiere al gobierno, mando y

regulación de las funciones de dichos equipos, cada elemento del sistema utilizado para gobernar una máquina se denomina componente de control.

2.2.23 Contactor.

Un contactor es un elemento conductor que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se energice la bobina (en el caso de ser contactores instantáneos). Un contactor es un dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación, con la posibilidad de ser accionado a distancia, que tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando, y otra inestable, cuando actúa dicha acción. Este tipo de funcionamiento se llama “todo o nada”. En los esquemas eléctricos, su simbología se establece con las letras KM seguidas de un número de orden.

2.2.24 Pulsador.

Es el elemento que permite el paso o interrupción de la corriente mientras es accionado. Cuando ya no se actúa sobre él vuelve a su posición de reposo.

2.2.25 Relé.

El relé o relevador, es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar circuitos eléctricos independientes. Fue inventado por Joseph Henry en 1835. Ya que el relé es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, puede considerarse, en un amplio sentido, una forma de amplificador eléctrico. Como tal se emplearon en telegrafía, haciendo la función de repetidores que generaban una nueva

señal con corriente procedente de pilas locales a partir de la señal débil recibida por la línea. Se les llamaba “relevadores”.

2.2.26 Sensores.

Un sensor es un dispositivo capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. Las variables de instrumentación dependen del tipo de sensor y pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, PH. Una magnitud eléctrica obtenida puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en termopar), una corriente eléctrica (como una fototransistor), entre otros.

2.2.27 Interruptores de seguridad.

Son dispositivos para enclavamiento de puertas que ofrecen una interacción entre el circuito eléctrico de la máquina y la guarda, de forma que cuando la guarda se abre el dispositivo de seguridad da la orden de parada a la máquina.

2.2.28 Electroválvulas.

Una electroválvula es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería. La válvula está controlada por una corriente eléctrica a través de una bobina solenoidal. No se debe confundir la electroválvula con válvulas motorizadas, que son aquellas en las que un motor acciona el cuerpo de la válvula.

2.2.29 Norma Venezolana. Codificación para la identificación de tuberías que conduzcan fluidos.

La norma COVENINN 253:1999 (ver anexo 3), tiene como objeto establecer la codificación que debe tener las tuberías con el fin de identificar el fluido que circula por ellas. A continuación en la figura 2.11, se representara los colores de las tuberías dependiendo del fluido a utilizar:

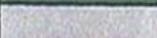
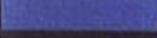
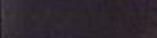
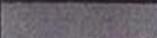
FLUIDO	COLOR BÁSICO DE IDENTIFICACIÓN	MUESTRA DEL COLOR
AGUA	VERDE	
OTROS VAPORES	GRIS PLATEADO	
ACEITES VEGETALES, ANIMALES Y MINERALES LÍQUIDOS COMBUSTIBLES INFLAMABLES	MARRÓN	
GASES INERTES E INFLAMABLES	AMARILLO	
ACIDO	ANARANJADO	
ALCALIS	VIOLETA	
AIRE	AZUL	
RESIDUOS EN FERMENTACION Y AGUAS NEGRAS	NEGRO	
PRODUCTOS FERMENTABLES	GRIS OSCURO	
VACIO	GRIS CLARO	
AGUA PARA EL COMBATE DE INCENDIOS	ROJO	
FLUIDO ELECTRICO	NEGRO	

Figura. 2.11 Codificación para la identificación de las tuberías. Covenin, 1999.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Nivel de la Investigación.

La modalidad de esta investigación es de proyecto tipo factible y respaldado en una investigación de campo y documental, porque tiene como objetivo principal solventar la problemática y alcanzar un diseño adecuado para un sistema de dilución y suministro de soda cáustica en el proceso de producción de papel para la empresa Kimberly Clark C.A., ubicada en el Estado Aragua, donde se presentarán los métodos, técnicas y los procedimientos que se utilizarán para alcanzar los objetivos que se trazaron.

3.2 Tipo de Investigación.

Se trata de una investigación de campo puesto que se tomarán los datos necesarios en el área en estudio, en este caso en el sistema de suministro y de dilución en el sistema actual de la soda cáustica. De la misma manera se detallarán y se estudiarán los pasos a seguir para llegar a la consolidación del diseño más adecuado.

También, este trabajo es considerado una investigación documental, ya que se tomarán en cuenta la recaudación de datos a través de libros, revistas, trabajos de grado, documentales, entrevistas, informes y otros cursos, que faciliten la comprensión del tema. Al igual serán revisados los principios teóricos contenidos en los libros y/o publicaciones de: mecánica de fluidos, dinámica de gases, termodinámica y manejo de fluidos, entre otros.

3.3 Diseño de la Investigación.

Para realizar el diseño se describe el desarrollo de cada una de las fases y procedimientos de todas las actividades planteadas, que a continuación se detallan para desplegar y llevar a cabo los objetivos específicos, logrando así una solución a la problemática existente.

Fase I: Determinación de las variables de operación del proceso de suministro y dilución de la soda cáustica.

En la fase I se van a evaluar las condiciones actuales para el sistema de suministro y de dilución a fin de establecer cuales son y que valores tienen las variables de operación.

1.- Caudal (Q): la determinación de esta variable se hará mediante los datos suministrados por el departamento de producción y calidad de la empresa, conociendo el gasto de soda por toneladas y la producción máxima diaria por toneladas, tanto para el tanque de suministro como para el tanque de dilución. Con estos datos se puede obtener el consumo diario máximo de soda cáustica en cada tanque.

El tanque de suministro, debe ser llenado con la misma concentración del tanque principal de soda, el cual se encuentra al 50% de concentración, esto quiere decir, que la soda será trasladada directamente sin ningún otro proceso adicional antes de llegar a su destino. Con respecto al tanque de dilución se debe bajar la concentración de soda cáustica de un 50 % a un 10 %, debido a que en este proceso se limpia el fieltro y la malla de la máquina convertidora de papel, la cual se hace con una concentración exacta exigida por la empresa, del 10%. Se procederá a realizar el cálculo para bajar la concentración de soda cáustica mediante un manual, llamado THE CHEMICAL DOW (2008), a través de una gráfica de mezcla para soluciones, la cual se utiliza para estimar el volumen de agua necesario para diluir soluciones de soda cáustica hasta obtener concentraciones deseadas.

También por exigencias de la empresa se debe calcular el tiempo de consumo del tanque principal de soda cáustica, para llevar un buen control, de cómo es el gasto con respecto al consumo diario máximo.

Así mismo, se determinan los tiempos de consumo para los tanques de suministro y dilución, con el fin de obtener el tiempo más conveniente de reposición de cada tanque e igualmente se calcularán los días que dura cada tanque para su nueva reposición y así fijar una reserva. A partir de allí se establecerá un volumen de trabajo (volumen de diseño), el cual se determinará mediante la diferencia del volumen total de cada tanque y el volumen de la reserva de cada uno, obteniendo el cálculo del caudal a utilizar.

Una vez conocidos los tiempos de consumo, se obtiene el caudal para la reposición de cada tanque, donde se representarán mediante una gráfica Q vs t para seleccionar el caudal más adecuado a utilizar en el diseño.

2.- Propiedades de la soda cáustica: las propiedades de la soda cáustica tales como la viscosidad del fluido, la temperatura, la densidad, forma, color, olor, presión de vapor y la gravedad específica, son datos suministrados por el departamento de higiene y seguridad industrial de la empresa.

3.- Dimensionamiento del dique: se debe de realizar el nuevo dimensionamiento del dique para el tanque principal, según las normas corporativas de la empresa; los cuales son procedimientos, ya establecidos por la misma, debido a que hoy en día su volumen no cumple con lo estipulado en éstas.

Fase II. Planteamiento de alternativas de solución para el suministro y dilución de la soda cáustica.

En esta fase se proponen diversas alternativas de solución, con el fin de trasegar el fluido para el tanque de suministro y dilución de la soda cáustica, ya que lo que se busca, es una alternativa que genere las menores pérdidas y a su vez que el sistema trabaje con las condiciones necesarias. Como el fluido es soda cáustica, es decir, un químico corrosivo, el material a usar en las tuberías y accesorios será un material capaz de soportar la soda cáustica. Las alternativas a plantear se basan en los siguientes aspectos:

- La primera ruta de las tuberías pasarán por lugares, donde la empresa ya tiene espacios creados, por donde recorren las mayorías de las tuberías.
- La segunda ruta será más extensa, pasará por nuevos espacios confinados, donde se deben realizar soportes para la ubicación de las tuberías.

Fase III. Selección y diseño de la propuesta seleccionada.

El método de ponderación de criterios se realiza a través de evaluaciones para la toma de decisiones, basadas en una valoración cualitativa, tomando en consideración los parámetros que definen un proceso, es decir, se deben seleccionar las variables con mayor influencia en el diseño de este sistema, siendo sus valores comprendidos en una ponderación del 1 al 5, siendo el 5 el valor mayor y el 1 el menor.

Seguidamente se debe crear un cuadro comparativo señalando las variables a seleccionar vs las diferentes alternativas de solución, y realizando un proceso de ponderación subjetivo de cada alternativa de solución con respecto a cada variable, se puede tomar la mejor decisión dando como resultado la alternativa de solución que tenga la mayor ponderación.

Se hará la realización de un diseño para eliminar el procedimiento actual de la dilución y suministro de soda cáustica en el proceso de producción de papel para la empresa Kimberly Clark C.A.

Fase IV. Diseño del sistema de control y protección de la propuesta seleccionada.

En esta etapa se va a elaborar un sistema de seguridad para evitar derrames de la soda cáustica, en las áreas de llenado de los tanques, tanto para el suministro y la dilución, la finalidad es controlar el caudal de descarga de la bomba.

Para el sistema de control se tendrá:

- Dispositivo de apertura y cierre (válvula proporcional).
- Dispositivo de medición (sensores).
- Calibración de cuanto se va a trasegar (calibrar las válvulas).
- Control secuencial por cada tanque.

Fase V. Determinación de los costos de la implementación del sistema diseñado.

Se hará un estimado de los costos de elaboración e implementación del sistema diseñado, mediante un análisis de mercado y la investigación de precios actuales en el mercado nacional

3.4 Recolección de datos.

Para la obtención de los datos necesarios de la planta se deben seguir protocolos estipulados por el departamento de producción y calidad, el cual permite el acceso a la planta en el área de destintado para extraer datos reales del consumo diario máximo de soda cáustica, junto con todas las evaluaciones e informes realizados en los últimos

años relacionados con el área, así como también la búsqueda de información existente en el departamento de mantenimiento de Kimberly Clark Venezuela.

3.5 Procesamiento y análisis de datos.

Una vez realizada la recolección de datos a través de las diferentes fuentes experimentales y documentales antes mencionadas comienza una fase esencial para la investigación, referida a la clasificación y agrupación de los datos referentes a cada variable de objeto de estudio. Luego posterior a esta fase de procesamiento, comienza el proceso de análisis de los datos obtenidos una vez clasificados el cual consiste en convertir dichos datos en información manejable para su interpretación.

3.6 Aspectos administrativos.

3.6.1 Recursos materiales.

- Un computador de alto rendimiento.
- Hoja de seguridad de la soda cáustica.
- Impresora.
- Manual de soda cáustica.

3.6.2 Recursos humanos.

- Autores del presente trabajo de grado.
- Tutor académico.
- Tutor empresarial.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Determinación de las variables de operación del proceso de suministro y dilución de la soda cáustica.

Se procede a calcular las variables de operación y los valores de las mismas, para cumplir con los requerimientos de la planta con la información suministrada del consumo semanal de soda.

4.1.1 Consumo de soda cáustica (C):

Suministro:

Sabiendo que la producción máxima diaria de pasta es de 76 ton y el gasto diario del tanque de soda cáustica al 50% es de 12 l/ton, se obtiene el consumo de soda cáustica mediante la ecuación 4.1:

$$C_s = P_d * G_d \quad (4.1)$$

Donde:

Cs: Consumo diario de soda cáustica al 50 % de suministro (l / día).

Pd: Producción máxima (ton/día).

Gd: Gasto diario de soda al 50% (l / ton).

Sustituyendo valores en la ecuación 4.1, se obtiene:

$$C_s = 9121$$

Dilución:

El departamento de producción y calidad, suministró el consumo máximo (Cd), que es de 466,66 l/día, es decir, esto representa el consumo de soda al 10%. Este consumo es una mezcla, por lo que se necesita calcular cuánto de soda al 50% está contenido en este valor, para obtener el volumen de consumo total.

El cálculo de esta dilución se basa en la figura 4.1, la cual permite estimar el volumen de agua necesaria para diluir soluciones concentradas, para obtener concentraciones deseadas, mediante el manual de solución de soda cáustica (The Dow Chemical), debido a que la empresa se rige por dicho manual, para tener una exactitud en la concentración deseada.

Procedimiento del cálculo:

Como se muestra en la figura 4.1, se obtiene una línea uniendo el 50% en la escala de la izquierda (solución concentrada) con 0% (agua) en la escala de la derecha (solución diluida). Luego se intercepta tal línea con la escala al 10% y desplazándose verticalmente se obtienen los resultados, los cuales están expresados como una proporción de volumen, es decir, valores con respecto a la capacidad total de un tanque (100 %), de manera de establecer equivalencia, con lo cual se puede obtener la mezcla exacta para una concentración al 10% con la ayuda de la ecuación 2.10.

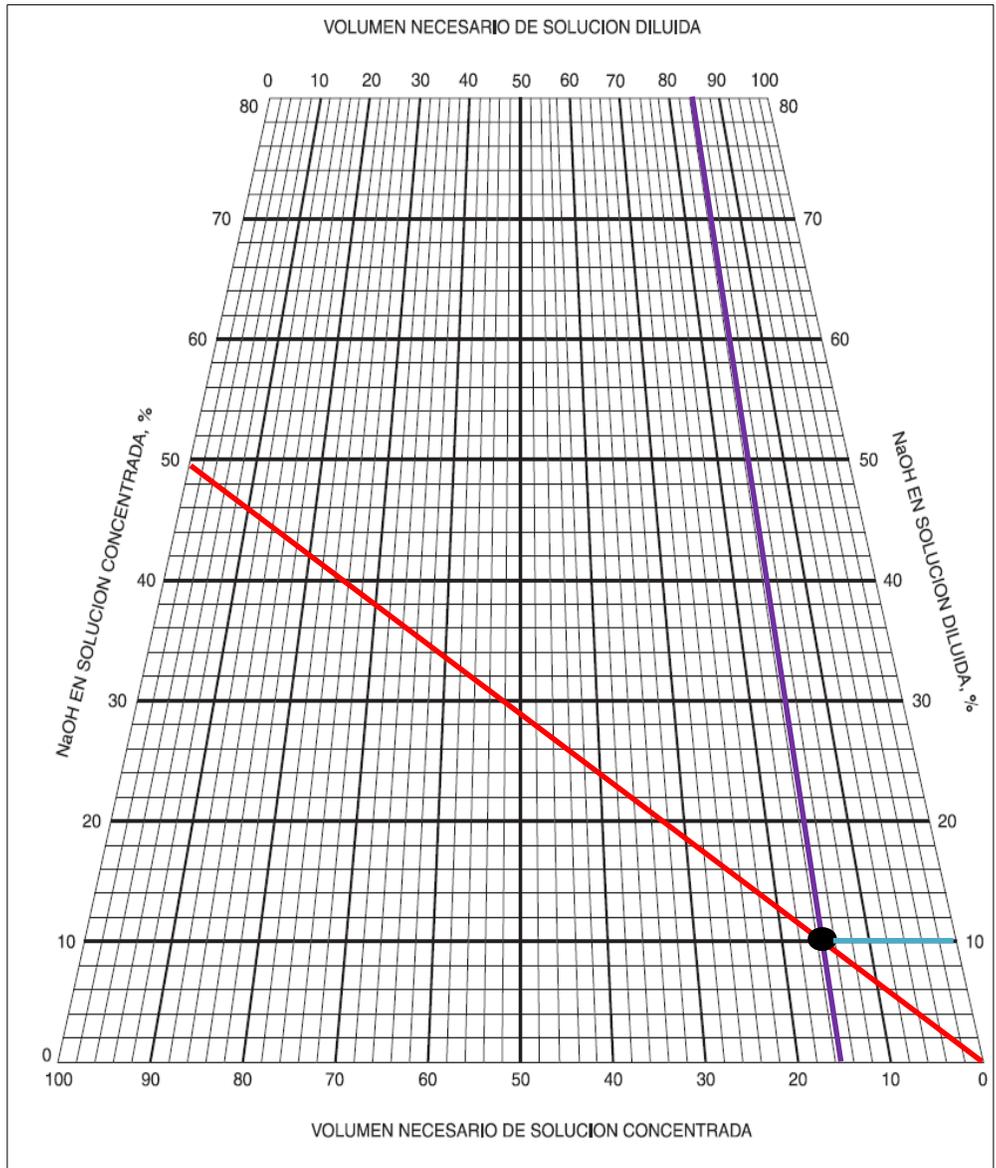


Figura 4.1. Mezcla para una concentración de soda cáustica al 10%. The Dow Chemical, 2008.

Con el procedimiento antes descrito, se obtienen los siguientes resultados de la figura 4.1:

$$\% V_c (\text{soda al } 50\%) = 14,3$$

$$\% V_d (\text{agua}) = 85,7$$

Sustituyendo los valores en la ecuación 2.10, se obtiene:

$$V_{ocup\ 50\%} = \frac{14,3\ \%}{85,7\ \%} \times 466,66\ l/día$$

$$\mathbf{V_{ocup\ 50\%} = 77,86\ l/día} \quad (\text{para preparar soda al 10\%})$$

Conociendo que el consumo máximo diario de dilución de soda al 10 % es de 466,66 l (Cd) y que el volumen del tanque ocupado por la soda cáustica al 50% es de 77,86 l, se obtiene el volumen de agua diario para diluir, mediante la diferencia entre estos dos volúmenes, tal como se muestra en la ecuación 4.2:

$$V_{ocup\ agua} = Cd - V_{ocup\ 50\%} \quad (4.2)$$

Donde:

Cd: Consumo diario de soda cáustica al 10 % de dilución (l).

$V_{ocup\ 50\%}$: Volumen diario de soda cáustica al 50% concentración (l).

$V_{ocup\ agua}$: Volumen diario de agua necesario para diluir (l).

Sustituyendo valores en la ecuación 4.2, se obtiene:

$$V_{ocup\ agua} = 466,66\ l - 77,86\ l$$

$$\mathbf{V_{ocup\ agua} = 388,8\ l/día}$$

De acuerdo a los resultados obtenidos de los volúmenes de dilución y suministro de soda cáustica al 50%, se puede obtener el consumo diario total, tal como se muestra en la tabla 4.1:

Tabla 4.1. Consumo máximo de soda cáustica diario.

Tiempo	Consumo de soda cáustica (l)
1 día (suministro) 50% (Cs)	912
1 día (dilución) 50% (Vocup)	77,86
Total diario	989,86

Con el valor del volumen de consumo diario total de soda cáustica, obtenido en la tabla 4.1, se va a realizar el diseño que solvente las necesidades de la empresa, logrando compensar cualquier gasto excesivo que se pueda tener en un caso exagerado.

Mencionado lo anterior, se procede a calcular el tiempo de consumo del tanque principal de soda cáustica, así como también de los tanques de dilución y suministro en un caso crítico a través de la ecuación 4.3, la cual se presenta a continuación:

$$t_c = \frac{V}{Q_c} \quad (4.3)$$

Donde:

t_c : Tiempo de consumo (días).

V : Volumen del tanque (l).

Q_c : Caudal de consumo (l/día)

- **Tiempo de consumo de los tanques (t_c).**

Por datos suministrados por el departamento de producción y calidad, el volumen total del tanque principal de soda es de 31.643 l, el volumen del tanque de suministro es 3.416,3 l y el volumen del tanque de dilución es de 785 l. Con estos valores y el consumo máximo diario de soda de cada tanque, se obtiene el tiempo que tardará en

vaciarse cada uno de ellos. Sustituyendo estos valores en la ecuación 4.3, se obtienen los siguientes resultados:

- **Tanque principal (t_{cp}):**

$$t_{cp} = \frac{31.643 \text{ l}}{989,86 \text{ l/día}}$$

$$t_{cp} = 31,96 \text{ días} \approx \mathbf{31 \text{ días}}$$

- **Tiempo de suministro(t_{cs}):**

$$t_{cs} = \frac{3.416,3 \text{ l}}{912 \text{ l/día}}$$

$$t_{cs} = 3,74 \text{ días} \approx \mathbf{3 \text{ días}}$$

- **Tiempo de dilución (t_{cd}):**

$$t_{cd} = \frac{785 \text{ l}}{466,66 \text{ l/día}}$$

$$t_{cd} = 1,68 \text{ días} \approx \mathbf{1 \text{ día}}$$

A continuación en las figuras 4.2 y 4.3, se aprecia cómo va bajando el nivel de fluido con respecto al consumo diario de cada tanque, esto se hará mediante las diferencias del volumen total del tanque y el consumo diario máximo del mismo con el fin de obtener la reserva de cada tanque.

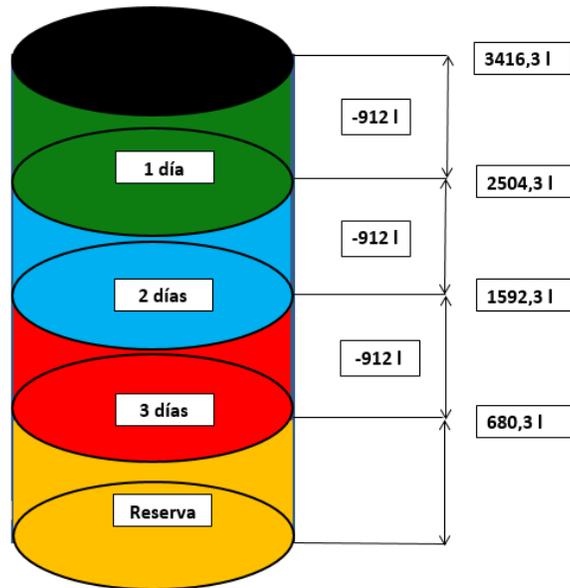


Figura 4.2. Consumo diario de soda del tanque de suministro.

La reserva obtenida es de 680,3 l para el tanque de suministro.

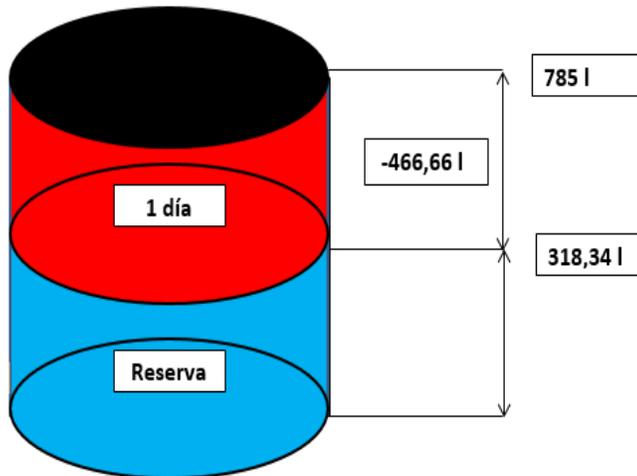


Figura 4.3. Consumo diario de soda del tanque de dilución.

La reserva obtenida es de 318,34 l para el tanque de dilución.

Luego de obtener las reservas de cada tanque, se procede a calcular el volumen de trabajo (volumen de diseño) a través de la ecuación 4.4:

$$V_{tb} = V_{tq} - V_{rs} \quad (4.4)$$

Donde:

V_{tb} : Volumen de trabajo (l).

V_{tq} : Volumen total del tanque (l).

V_{rs} : Volumen de la reserva (l).

- **Volumen de trabajo de los tanques (V_{tb}).**

Como se explicó anteriormente, los volúmenes totales de los tanques fueron suministrados por el departamento de producción y calidad. Con estos datos y los volúmenes de las reservas de cada tanque, se obtienen los volúmenes de diseño para dicho sistema. Sustituyendo estos valores en la ecuación 4.4, se consiguen los siguientes resultados:

- **Volumen de trabajo de suministro (V_{tbs}):**

$$V_{tbs} = (3.416,3 - 680,3) \text{ l}$$

$$V_{tbs} = \mathbf{2.736 \text{ l}}$$

- **Volumen de trabajo de dilución (V_{tbd}):**

$$V_{tbd} = (785 - 318,34) \text{ l}$$

$$V_{tbd} = \mathbf{466,66 \text{ l}}$$

- **Cálculo del caudal:**

Se asumirán tiempos para el cálculo del caudal y así escoger el más adecuado para dicho diseño. Este cálculo se realiza mediante la ecuación 4.5:

$$Q_c = \frac{V_{tb}}{t} \quad (4.5)$$

Donde:

Q_c : Caudal de consumo (*l/día*)

V_{tb} : Volumen de trabajo (l).

t : Tiempo (s).

A continuación se presenta un cálculo tipo de caudal tanto de suministro como de dilución:

- **Caudal de suministro (Q_{cs}):**

Considerando un tiempo de 15 min (900 s), y sustituyendo el valor de volumen de trabajo, se obtiene:

$$Q_{cs} = \frac{2.736 \text{ l}}{900 \text{ s}} = \mathbf{0,00304} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (48,184 \text{ gpm})$$

- **Caudal de dilución (Q_{cd}):**

El cálculo del caudal de dilución se hará mediante la sumatoria de los caudales de la mezcla, como se muestra en la ecuación 4.6

$$Q_{cd} = Q_{conc \text{ al } 50 \%} + Q_{agua} \quad (4.6)$$

Donde:

Q_{cd} : Caudal de dilución (m^3/s)

$Q_{conc \text{ al } 50 \%}$: Caudal de soda al 50 % (m^3/s)

Q_{agua} : Caudal de agua (m^3/s).

A continuación se calcularán los caudales de la mezcla:

Para el cálculo del caudal de agua, el volumen de trabajo, es el volumen de agua para diluir ($V_{ocup \text{ agua}}$). Sustituyendo en la ecuación 4.5, se obtiene:

$$Q_{agua} = \frac{388,8 \text{ l}}{900 \text{ s}} = \mathbf{0,000432} \frac{m^3}{s} \quad (6, 8472 \text{ gpm})$$

Para el cálculo del caudal de soda al 50 %, el volumen de trabajo, es el volumen diario de soda ($V_{ocup \text{ 50\%}}$). Sustituyendo en la ecuación 4.5, se obtiene:

$$Q_{conc \text{ al } 50 \%} = \frac{77,86 \text{ l}}{900 \text{ s}} = \mathbf{0,0000865} \frac{m^3}{s} \quad (1, 371 \text{ gpm})$$

Sustituyendo valores en la ecuación 4.6, se obtiene:

$$Q_{dil} = (0,0000865 + 0,000432) \frac{m^3}{s}$$

$$\mathbf{Q_{dil} = 0,000518} \frac{m^3}{s} \quad (8, 21 \text{ gpm})$$

Este valor representa el caudal necesario para que la mezcla tenga una exacta combinación de fluidos para tener soda al 10% en un tiempo de 15 minutos.

A continuación se muestra la tabla 4.2, donde se observan los distintos caudales con diferentes tiempos para escoger el caudal más conveniente, con que se va a diseñar el sistema.

Tabla 4.2. Valores de caudal de diseño vs tiempo.

Tiempo	Q suministro (m^3/s)	Q dilución al 50 % (m^3/s)	Q dilución agua (m^3/s)	Q total (sumis + dil 50 %) (m^3/s)
15 min	$3,04 \times 10^{-3}$	$8,64 \times 10^{-5}$	$4,32 \times 10^{-4}$	$3,13 \times 10^{-3}$
30 min	$1,33 \times 10^{-3}$	$4,29 \times 10^{-5}$	$2,16 \times 10^{-4}$	$1,37 \times 10^{-3}$
1 hora	$7,6 \times 10^{-4}$	$2,14 \times 10^{-5}$	$1,08 \times 10^{-4}$	$7,81 \times 10^{-4}$
2 hora	$3,8 \times 10^{-4}$	$1,08 \times 10^{-5}$	$5,4 \times 10^{-5}$	$3,91 \times 10^{-4}$
3 hora	$2,53 \times 10^{-4}$	$7,20 \times 10^{-6}$	$3,6 \times 10^{-5}$	$2,59 \times 10^{-4}$
4 hora	$1,90 \times 10^{-4}$	$5,39 \times 10^{-6}$	$2,70 \times 10^{-5}$	$1,94 \times 10^{-4}$
5 hora	$1,51 \times 10^{-4}$	$4,29 \times 10^{-6}$	$2,15 \times 10^{-5}$	$1,55 \times 10^{-4}$

En la figura 4.4 se muestra la representación de los valores de la tabla 4.2.

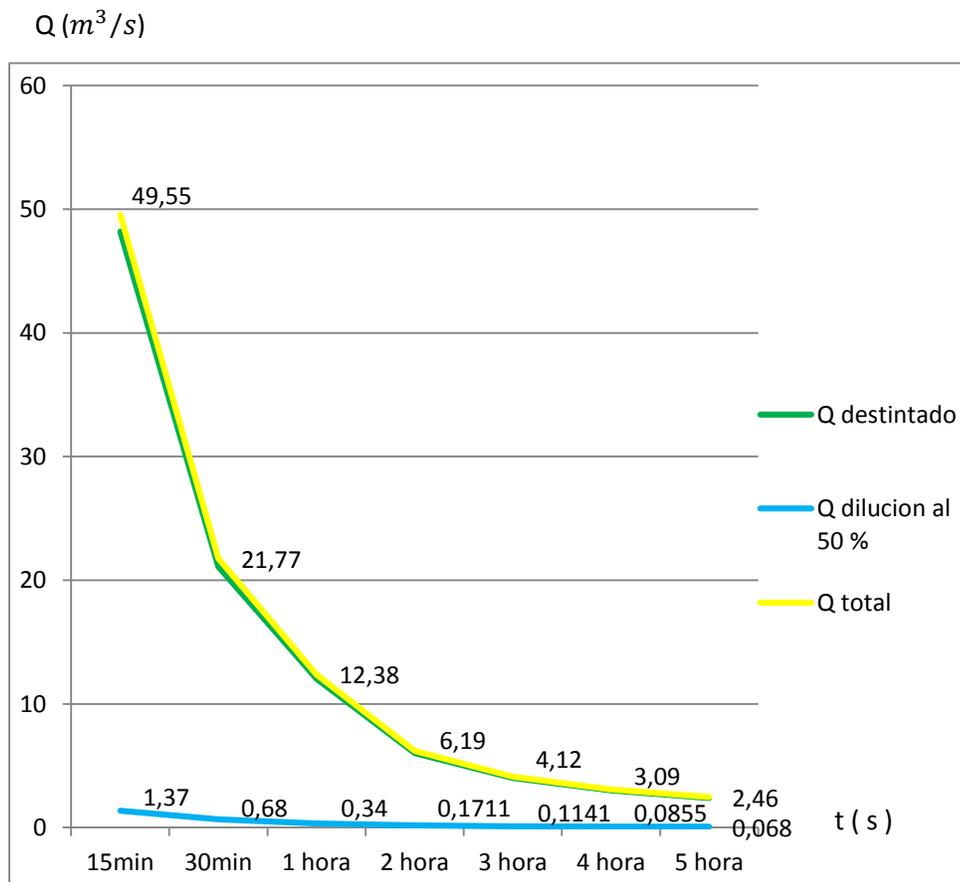


Figura 4.4. Caudal de diseño vs tiempo.

El tiempo seleccionado fue de 30 min, debido a que se trabaja con un químico especial si se toma un tiempo menor de reposición implica mayores costos, es decir, una bomba que maneje un gran caudal y por ende una tubería de mayor diámetro. Esto quiere decir que no es necesario utilizar una bomba con estas condiciones, ya que el tiempo de consumo de los tanques en el caso más crítico es de 1 día, por lo cual tomar un tiempo de llenado muy pequeño no es de gran utilidad en este proceso. En otro caso tomar un tiempo muy alto para la reposición de los tanques no es conveniente, ya que implicaría mayores costos, debido al mantenimiento que deberá realizarse a la bomba por aumento de sus horas de uso.

Entonces el caudal y el tiempo más adecuado en el sistema a diseñar son los siguientes:

$$Q_c = 1,37 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \quad (21,71 \text{ gpm})$$

$$t = 30 \text{ min}$$

4.1.2 Propiedades de la soda cáustica:

A continuación se presentan las principales propiedades de la soda cáustica a temperatura ambiente de 25 °C. The Dow Chemical, 2008.

- Forma: Líquida
- Color: Incoloro
- Olor: Inodoro
- Punto de ebullición : 143 °C
- Presión vapor: 0,8399 kPa
- Densidad: (1.525-1.543) kg/m³
- Viscosidad: 0,05 kg./m.s (50 cPs)
- pH: > 12
- Solubilidad en el agua: infinita
- Gravedad específica: 1,02-1,12

Se debe estar al tanto que la viscosidad del agua es muy aproximada a la de la soda cáustica.

4.1.3. Dimensionamiento del dique.

Es necesario conocer el dimensionamiento del dique, para calcular su volumen donde se contendrá el líquido soda cáustica, en caso de derrame. A través de una guía metodológica de cálculo llamada “Proposed Standard For Spill Containment”, suministrada por la empresa Kimberly Clark C.A, la cual es utilizada por el personal de diseño de dicha empresa, se procede a obtener las medidas para el diseño del muro de contención.

A continuación se describe paso a paso los detalles de las medidas a obtener:

En la figura 4.5, se observa que para un agujero ubicado en la altura media del tanque, se encuentra la mayor distancia del chorro (en caso de una grieta o ruptura); lo cual es observado explícitamente, por las distancias que presentan las caídas de los otros chorros por encima o por debajo de la altura media.

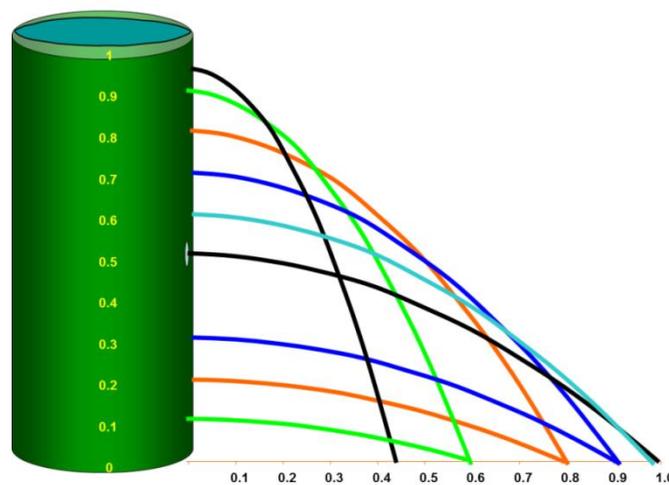


Figura 4.5. Distancia a la que podría caer el líquido dependiendo de la altura del agujero. Ponce, 2006.

A partir de lo señalado en la figura 4.5, se observan los parámetros tales como: altura total del tanque (H_t), diámetro (D) y la altura media del tanque (h) en la figura 4.6, con que se va a calcular la máxima distancia de caída y velocidad del líquido.

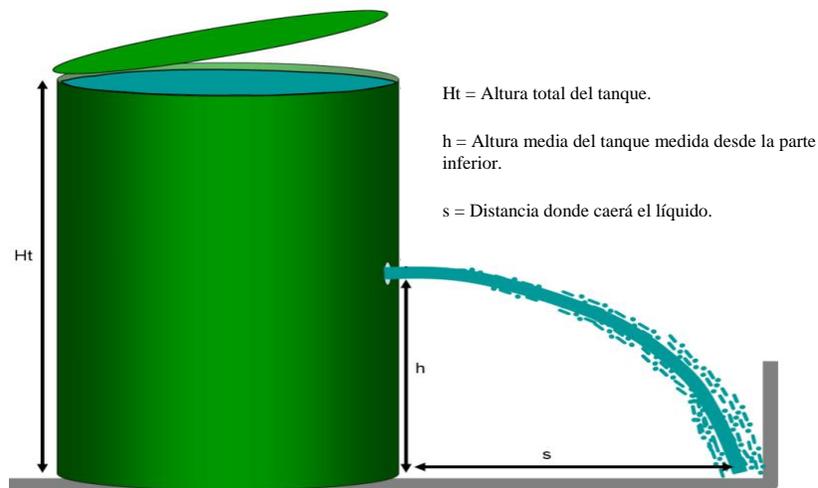


Figura 4.6. Medidas a tomar en cuenta del tanque. Ponce, 2006.

Debido a los errores en las mediciones, la distancia expresada puede tener un intervalo de inexactitud en el punto de caída del chorro; es por ello que hay un factor de corrección que de acuerdo a la figura 4.7, es de 0,8 para la altura media del tanque de 0,5.

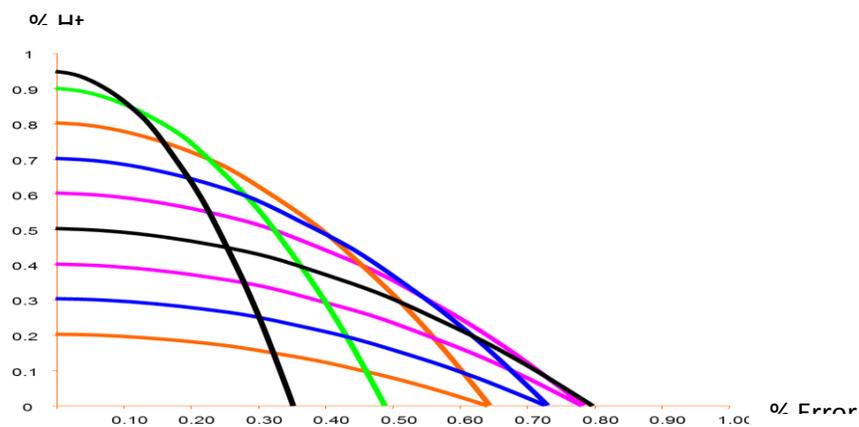


Figura 4.7. Factor para corregir la distancia donde puede caer el líquido dependiendo del agujero. Ponce, 2006

Ya establecidos los parámetros, se procede a calcular la velocidad y la distancia máxima de caída del chorro, de acuerdo a las ecuaciones 4.7 y 4.8

$$V_{ch} = \sqrt{2 * g * h} \quad (4.7)$$

Donde:

V_{ch} : Velocidad del chorro (m/s).

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2)

h : Altura media del tanque (m).

El tanque presente para almacenar la soda cáustica tiene una altura (H_t) de 4,2 m, por lo cual, su altura media es de 2,1 m y el valor de la aceleración de gravedad es de $9,8 \frac{m}{s^2}$. Sustituyendo los valores en la ecuación 4.7, se obtiene:

$$V_{ch} = \sqrt{2 * 9,8 \frac{m}{s^2} * 2,1 m}$$

$$V_{ch} = 6,42 \frac{m}{s}$$

Con la altura total del tanque y la altura media del mismo, se conseguirá la mayor distancia de llegada del chorro de soda cáustica, por consiguiente se aplica la ecuación 4.8:

$$s = 2 \sqrt{H_t * h} \quad (4.8)$$

Donde:

S : Distancia donde caerá el líquido (m).

H_t : Altura total del tanque (m).

h : Altura media del tanque (m).

Sustituyendo los valores ya conocidos en la ecuación 4.8, se obtiene:

$$s = 2 \sqrt{4,20 * 2,10}$$

$$s = 5,94 \text{ m}$$

Se multiplica la máxima distancia de caída del chorro (s), por el valor del factor de corrección (0,8) y se obtiene:

$$s = 4,75 \text{ m}$$

De acuerdo a los resultados anteriores, la longitud de los lados del dique, viene expresado por la sumatoria de dos veces la distancia máxima del chorro (s) más el diámetro del tanque, dando un total de 12,5 m. Para el cálculo de la altura del dique, se debe tomar en cuenta la norma CISTEMA- ARL SURA (Centro de información de sustancias químicas, emergencias y medio ambiente), mostrada en el anexo 2, donde estipula que el volumen del dique, debe ser 1,2 del volumen del tanque principal de soda cáustica. Dicho de otro modo este volumen viene expresado por la siguiente ecuación 4.9:

$$V_{dq} = 1,2 * V_p \quad (4.9)$$

Donde:

V_{dq} : Volumen del dique (l).

V_p : Volumen del tanque principal de soda cáustica (l).

Sustituyendo valores en la ecuación 4.9, se obtiene:

$$V_d = 1,2 * 31.643 \text{ l}$$

$$V_d = 37.971,6 \text{ l}$$

Se plantea entonces el cálculo de la altura del dique a través del volumen de un prisma (lados de la base igual con una altura diferente), con la ayuda de la ecuación 4.10:

$$H_{dique} = \frac{V_d}{L_b^2} \quad (4.10)$$

Donde:

H_{dique} : Altura del dique (m).

V_{dq} : Volumen del dique (l).

L_b : Lado de la base (m).

Sustituyendo los valores en la ecuación 4.10, se tiene:

$$H_{dique} = \frac{47.464,5 \text{ l}}{(12,5 \text{ m})^2} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}}$$

$$H_{dique} = 0,304 \text{ m}$$

De acuerdo al cálculo realizado anteriormente, la altura del dique es de 0,304 m, pero de acuerdo a la norma de CISTEMA- ARL SURA, mostrada en el anexo 2, la altura mínima del dique por seguridad debe ser 1,20 m sobre el nivel de piso terminado.

Finalmente las dimensiones del dique son:

- Largo = 12,5 m
- Ancho = 12,5 m
- Altura = 1,20 m (por normativa)

En la figura 4.8, se aprecian las medidas ya establecidas de las dimensiones del dique:

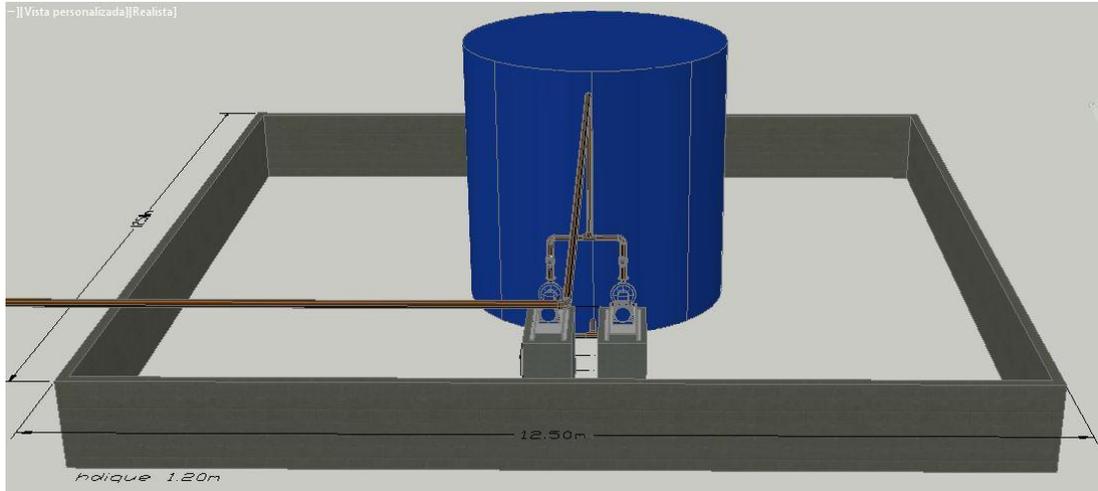


Figura N° 4.8 Dimensiones para el diseño del dique.

4.2. Alternativas de solución.

A continuación se presentan dos alternativas de solución para el trasegado de la soda cáustica del tanque principal que la contiene hacia los tanques de suministro y dilución de la empresa Kimberly Clark.

Antes de explicar las alternativas de solución se tomó en cuenta las medidas a considerar tanto en una como en la otra. El tanque principal de soda cáustica, se moverá a un espacio libre que posee la empresa para alguna construcción adicional, donde se evitan riesgos y se cumple con las normas que rigen el dimensionamiento del dique. Los tanques de suministro y de dilución quedarán ubicados en el mismo sitio, debido a que se encuentran bajo norma y con sus respectivos diques.

El diseño de las alternativas contendrá dos bombas de trasiego, las cuales son las que van a enviar el fluido para el tanque de suministro y dilución, una de carácter principal y la otra auxiliar, es decir, la bomba auxiliar será el respaldo de la principal cuando ésta falle o requiera servicio de mantenimiento. Las uniones para conectar las

bombas serán roscadas para sus montajes y desmontajes. Las bombas estarán montadas verticalmente con las bases en un pedestal horizontal, donde las dimensiones de sus agujeros de sujeción dependerán del tipo de bomba a seleccionar, es decir, la base o fundamento para la fijación de la bomba debe construirse de forma que se evite las vibraciones y se garantice la estabilidad y debe dejarse el espacio libre necesario, para que estas piezas pueden ser desmontadas fácilmente en caso de necesidad, tal como se muestra en la figura 4.9.

Además las tuberías van hacer de color anaranjado, según la norma COVENIN 253: 1999, ver anexo 3, la cual identifica el fluido que circula por la tubería, por ser un ácido (soda cáustica).

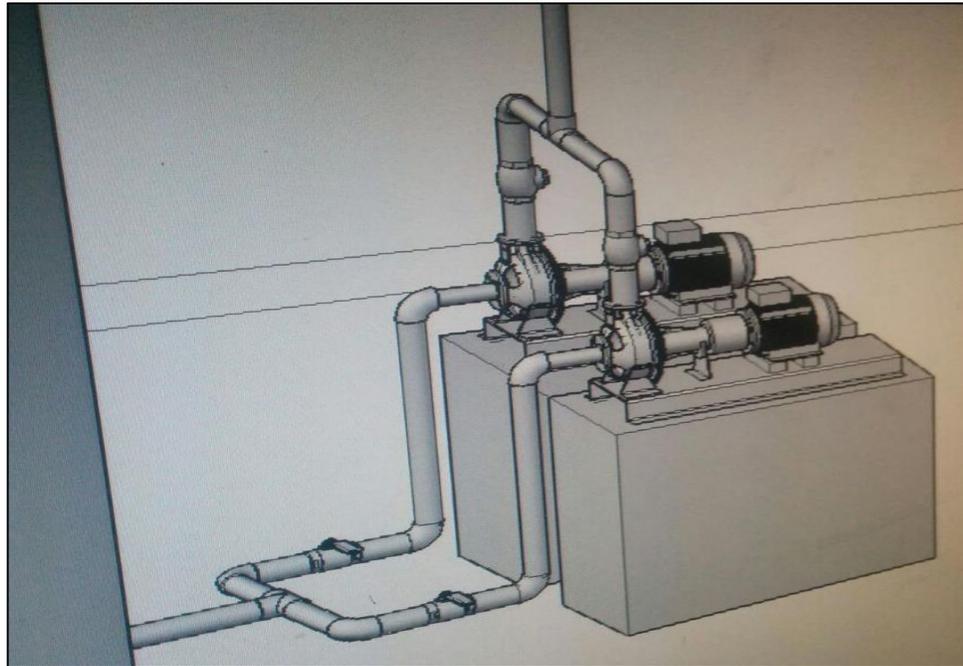


Figura 4.9. Pedestal para las bombas de trasiego.

Alternativa N° 1

El sistema consiste en trasegar soda cáustica mediante tuberías de acero inoxidable sin costura, ya que es la más utilizada en los procesos químicos, porque presenta alta resistencia a la corrosión, debido a su composición. Las tuberías estarán canalizadas en forma aérea con soportes de hierro, los cuales ya se encuentran ubicados en la empresa, porque son los sitios por donde están colocadas todas las tuberías que transportan los diferentes fluidos, necesarios en el proceso productivo. Estas tuberías se unirán con anillos de acero inoxidable, tipo soldadura de encaje (socket weld), con una soldadura a tope, es decir, las tuberías se acoplan en el anillo a una distancia y son soldadas alrededor del anillo. Los accesorios (codos y tee), igualmente serán soldados y del mismo material, las válvulas serán unidas con bridas de soldadura de encaje (socket weld), de manera que permitan su montaje y desmontaje. El electrodo a utilizar es de revestimiento rutílico de manera que presente gran estabilidad del arco con fácil encendido y reencendido de modo de garantizar la seguridad del diseño. Todo lo nombrado anteriormente es con la finalidad de transportar la soda cáustica al tanque de suministro y el tanque de dilución, de una manera más segura y que genere menores pérdidas de tiempo y materia prima para el proceso de producción.

Esta alternativa, incluye un sistema de control, que será comandado por un contador lógico programable (PLC), básicamente es el cerebro que recibe la información de las entradas provenientes de distintos dispositivos, como lo son: pulsadores, sensores capacitivos, medidores de caudal, electroválvulas, entre otros, con la finalidad de controlar y comandar las tareas del diseño.

Esta alternativa proporcionará una reducción de accidentes laborales y pérdida de materia prima, su construcción y montaje es de una forma sencilla, debido a que en la empresa posee los espacios para su ubicación, al igual que todos los materiales necesarios si se quisiera implementar. En la figura 4.10 se muestra la ruta a seguir.

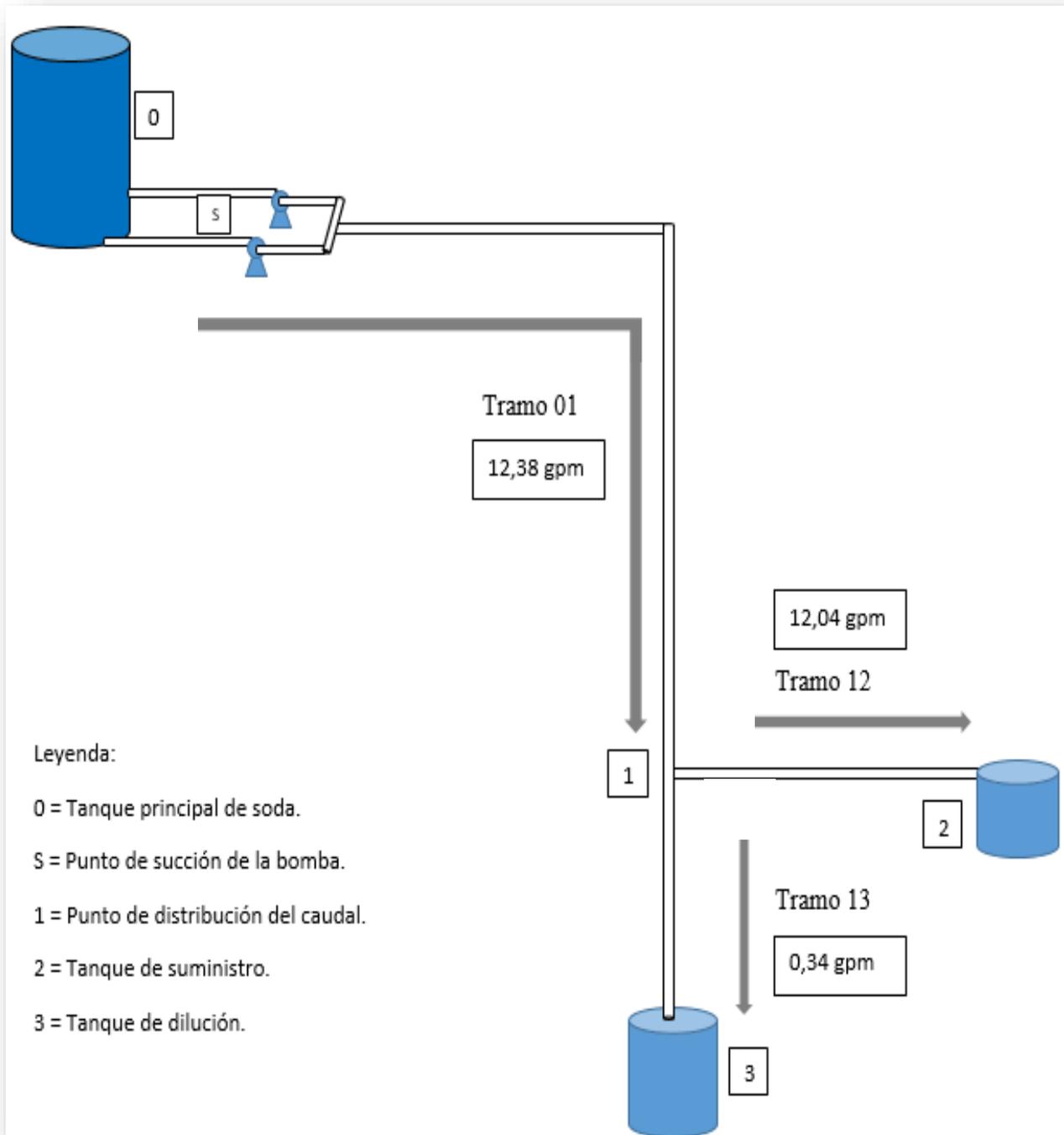


Figura N° 4.10. Ruta de tuberías de la alternativa N °1.

Alternativa N° 2:

El fluido de la soda cáustica para esta alternativa, será dirigido con tuberías cuyo material de construcción es de plástico reforzado con fibra de vidrio y sus uniones serán mediante juntas elásticas con sello hidráulico de aro, de manera que a la hora de su instalación sea más fácil su montaje, se plantea construir nuevos espacios para la ubicación de estas. Esta nueva ruta es un poco más extensa que la alternativa 1, por lo que llevará mayor cantidad de accesorios y tuberías, lo que implica mayores costos a la hora de su montaje. Sus accesorios, codos y tees, son del mismo material. Los soportes de las tuberías serán de hierro y la forma de éstos, serán adaptadas de acuerdo a las curvas y desniveles en el recorrido de la nueva ruta.

Este diseño estará controlado, a través de un relé inteligente, que actuará en la automatización del proceso, ya que su tamaño y facilidad de ajuste hacen de él, una alternativa a las soluciones basadas en lógica de cableado o tarjetas específicas. Este dispositivo estará acompañado por temporizadores cableados, pulsadores, pilotos luminosos, sirenas, manipuladores necesarios para la puesta en marcha, parada, señalizaciones de estado, entre otros. Estos equipos son simple de instalar, robustos, fiables, ergonómicos, actos para las condiciones ambientales y fáciles de identificar.

En la figura 4.11 se muestra un ejemplo para la ruta de la alternativa N° 2.

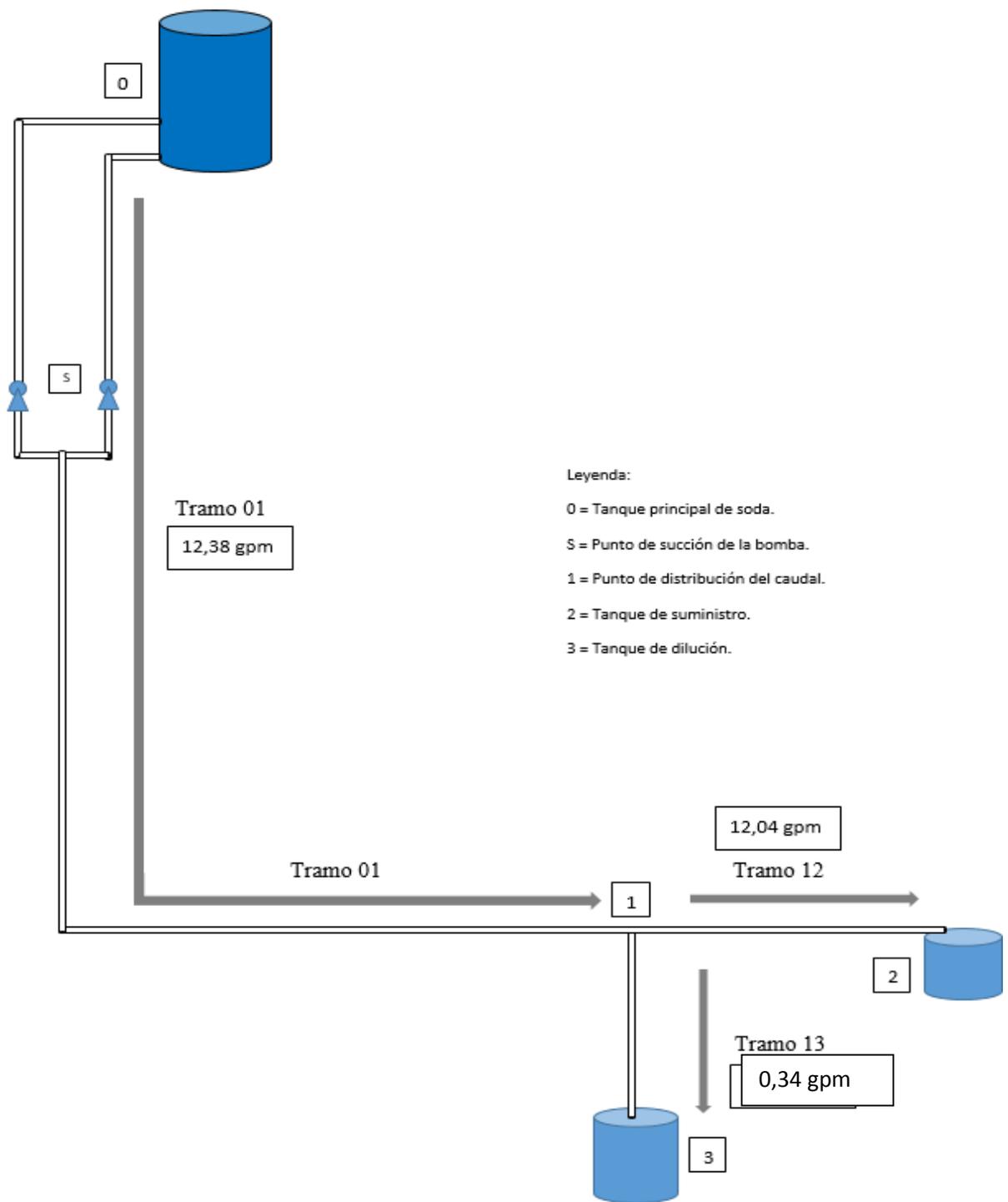


Figura N° 4.11. Ruta de tuberías de la alternativa N °2.

4.3. Selección y diseño de la alternativa.

4.3.1 Selección de la alternativa.

Se procede a realizar la selección de la mejor alternativa basándose en el método de ponderación de criterios de acuerdo a un cuadro comparativo mostrado en la tabla 4.3. Seleccionando la mejor alternativa de acuerdo a las anteriormente planteadas, sometiénolas a un análisis de criterios tomando en cuenta patrones de comparación como lo son: confiabilidad, tiempo de ejecución, durabilidad, efectividad, facilidad de construcción, número de accesorios, resistencia a la corrosión y automatismo, entre otros.

Tabla 4.3 Selección de la mejor alternativa.

Variables	Alternativas	
	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2
Construcción	3	4
Durabilidad	5	4
Factibilidad	4	4
Resistencia a la corrosión	5	5
Número de accesorios	4	3
Seguridad	5	3
Tiempo de ejecución	2	4
Requerimientos de la empresa	5	3
Costo	3	4
Total	36	34

En la tabla 4.3 mostrada anteriormente, de acuerdo a las variables estipuladas por la investigación se obtuvo la siguiente puntuación:

Alternativa N° 1: 37 puntos

Alternativa N° 2: 33 puntos

Por lo que la mejor alternativa de solución seleccionada es la alternativa 1.

4.3.2 Diseño de la alternativa.

Para realizar el diseño de la alternativa seleccionada, se va a ejecutar mediante un procedimiento, el cual abarcará los parámetros necesarios que estén implicados en el diseño. Estos parámetros se presentan a continuación:

4.3.2.1 Determinación de los diámetros de las tuberías.

La longitud total de los tramos de tuberías es:

- Tramo 01 : 108,7 m
- Tramo 12 : 47,2 m
- Tramo 13 : 40,2 m

Los tramos de tuberías de la alternativa seleccionada se representan en las figuras 4.12, 4.13 y 4.14.

La determinación del diámetro de las tuberías, se basará en la tabla 4.4, la cual muestra valores de velocidades sugeridas, de ciertas sustancias, en tuberías de aceros inoxidables.

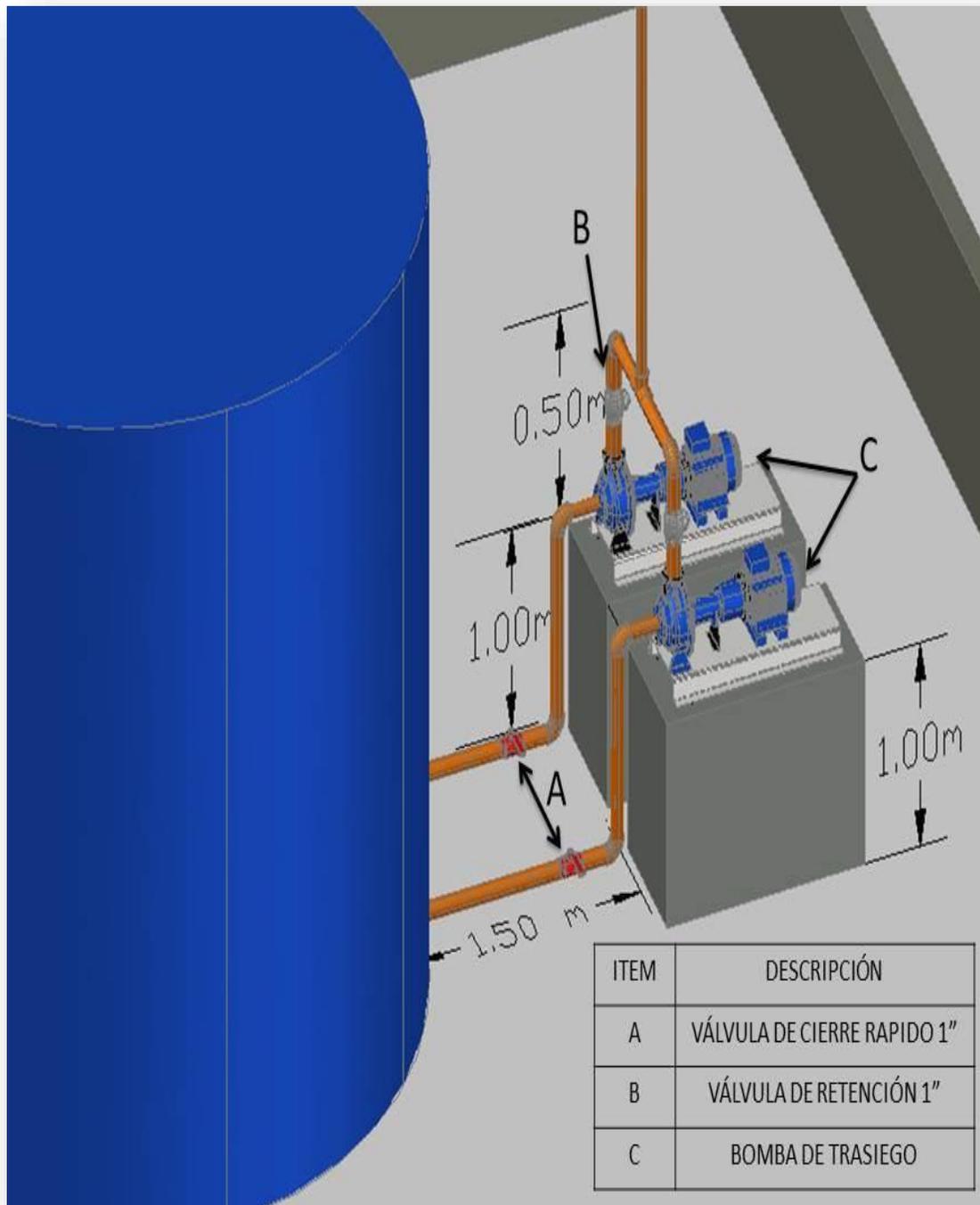


Figura 4.12. Tramo de tuberías de la alternativa seleccionada vista N° 1.

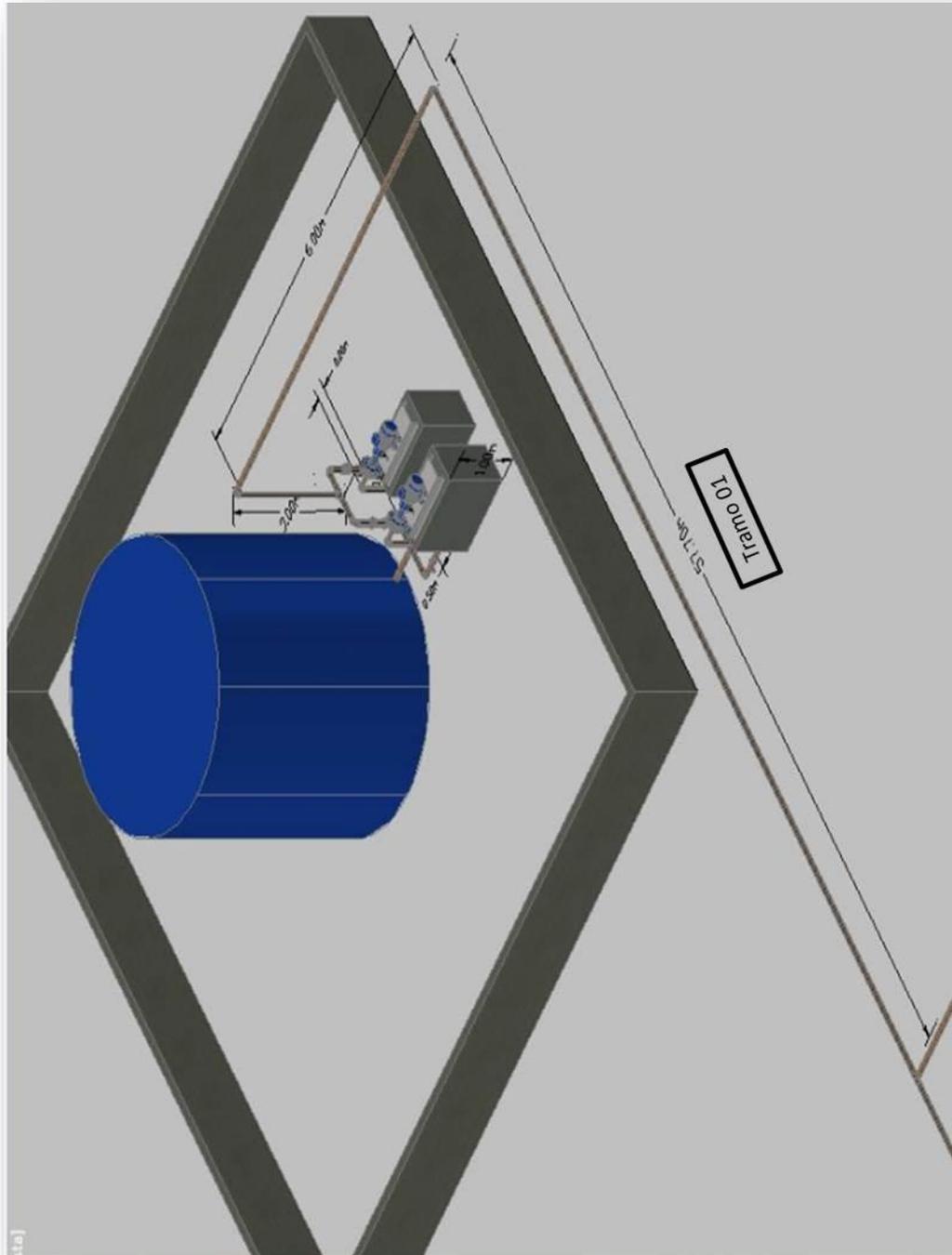


Figura 4.13. Tramo de tuberías de la alternativa seleccionada vista N° 2.

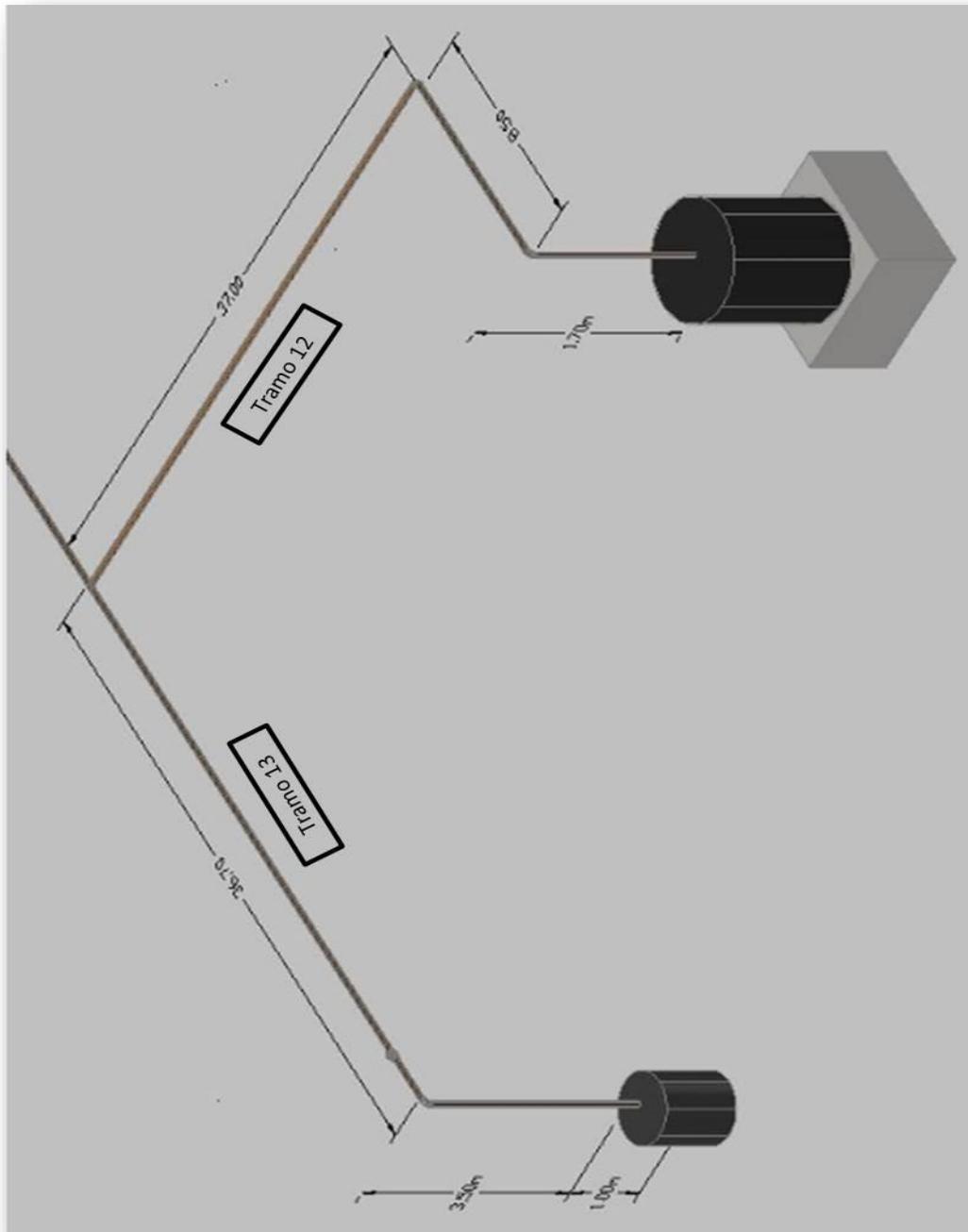


Figura 4.14. Tramo de tuberías de la alternativa seleccionada vista n° 3.

Tabla 4.4. Velocidades sugeridas en tuberías de acero inoxidable. Olivero (2009)

Fluido	Velocidad sugerida(m/s) (V_s)	Material de la tubería
Amoníaco líquido	1,83	Acero inoxidable
Cloruro de calcio	1,22	Acero inoxidable
Tetracloruro de Carbono	1,83	Acero inoxidable
Propilenglicol	1,524	Acero inoxidable
Hidróxido de sodio (Soda cáustica)	1,83 (0-30 % NaOH) 1,524 (30-50 % NaOH) 1,22 (50-73 % NaOH)	Acero inoxidable y Níquel

A continuación se muestran los parámetros de cálculo para cada tramo de tubería del sistema en la tabla 4.5:

Tabla 4.5. Parámetros de cálculo para los tramos de tubería.

Tramo	Caudal (m^3/s)	Longitud (m)	Viscosidad ($kg/m.s$)
0S	$1,37 \times 10^{-3}$	2,5	0,05
01	$1,37 \times 10^{-3}$	108,7	0,05
12	$1,33 \times 10^{-3}$	47,2	0,05
13	$4,29 \times 10^{-5}$	40,2	0,05

Conociendo los parámetros de cada tramo se hará un cálculo tipo y luego se presentarán todos los valores de diámetros de las tuberías en la tabla 4.6. Dicho esto, se procede realizar el cálculo tipo, tomando como referencia el tramo 01.

- **Tramo 01.**

Con la velocidad sugerida (V_s) para la soda cáustica al 50%, tomada de la tabla 4.4 y el caudal seleccionado en la sección 4.1.1, se calcula el diámetro de la tubería, por medio de la ecuación 4.11:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V_s}} \quad (4.11)$$

Donde:

Q = Caudal de diseño ($\frac{m^3}{s}$).

V_s = Velocidad sugerida de la tubería para la soda cáustica ($\frac{m}{s}$).

D = diámetro obtenido del diseño (m).

Sustituyendo valores en ecuación 4.11, se obtiene lo siguiente:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times (1,37 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s})}{\pi \times 1,524 \frac{m}{s}}}$$

$$D = 0,033 \text{ m} \approx 0,0381 \text{ (} 1\frac{1}{2}\text{")}$$

En la tabla 4.6, se muestran los valores de diámetros para cada tramo de tubería.

Tabla 4.6. Valores de diámetros para cada tramo de tubería.

Tramos	Diámetros m (in)
01	0,0381 (1 _{1/2})
12	0,0381 (1 _{1/2})
13	0,0127 (½)

En este sistema no hay la posibilidad de dilatación térmica de las tuberías, debido a que estarán bajo techo.

4.3.2.2. Cálculo de pérdidas.

Las pérdidas por fricción de los tramos de tuberías son determinadas mediante la ecuación 2.3 y las pérdidas por accesorios, mediante la ecuación 2.5, ya descritas en el CAPÍTULO II.

Se debe tener en cuenta que los cálculos que se van a realizar se basaron tomando como referencia el agua, debido a que la viscosidad de la soda cáustica es aproximadamente igual a la del agua.

A continuación se presenta la tabla 4.7, con los parámetros necesarios para el cálculo de pérdidas:

Tabla 4.7. Parámetros necesarios para el cálculo de pérdidas.

Tramos	Longitud (m)	Velocidad (m/ s)	Viscosidad dinámica (kg./m.s)	Densidad (kg/m³)
01	108,7	1,524	0,05	1.534
12	47,2	1,1665	0,05	1.534
13	40,2	0,33	0,05	1.534
0s	1	1,524	0,05	1.534

Se procede a realizar el cálculo tipo, tomando como referencia el tramo 01.

- **Tramo 01.**

Para el cálculo de pérdidas se toma en cuenta la determinación del número del Reynolds, para ver en que régimen se encuentra el flujo. Éste se calcula sustituyendo valores en la ecuación 2.2, obteniéndose:

$$Re = \frac{1.534 \times 1.524 \times 0.0381}{0.05}$$

$$Re = 1.781,42$$

Es flujo laminar debido a que el $Re \leq 2000$

A continuación se va a realizar el cálculo del factor de fricción mediante la ecuación 2.4, la cual es para un flujo laminar.

Sustituyendo valores en la ecuación 2.4, se obtiene lo siguiente:

$$f_{tuberia} = \frac{64}{1.781,42} = 0,0359$$

- ***Pérdida por tramo de tubería.***

Sustituyendo valores en la ecuación 2.3, se obtiene las pérdidas por tubería:

$$hf_{tramo\ 01} = 0,0359 \times \frac{108,7m}{0,0381} \times \frac{1,524^2}{2 \times (9,8)}$$

$$hf_{tramo\ 01} = 12,13 \text{ m.c.f}$$

- ***Pérdida por accesorios.***

En las pérdidas por accesorios, se debe tomar en cuenta que el factor de fricción (f_t), va hacer seleccionado mediante el compendio de cartas CRANE, para un flujo en la zona de total turbulencia.

El factor de fricción es de 0.021 para este caso debido a que el diámetro del tramo de tubería es de $1_{1/2}$ in (ver anexo 5).

- ***Codos:***

Los codos son de 90° soldados a tope y la relación de $\frac{r}{d} = 1$. Según el compendio de cartas CRANE (ver anexo 6), se obtiene el coeficiente de resistencia (K):

$$K_{codo01} = 30x f_t$$

En este tramo son 6 codos

$$K_{codo01} = 3,78$$

- **Tee :**

Las conexiones estándar en T en este tramo se toman en ramal, según el compendio de cartas CRANE (ver anexo 7), se obtiene:

$$K_{Tee01} = 60x f_t$$

En este tramo hay 2 tees:

$$K_{Tee01} = 2,52$$

- **Válvula:**

El coeficiente de resistencia de la válvula se toma del compendio de cartas CRANE (ver anexo 8), se obtiene:

- Válvula de cierre rápido:

$$K_{valv\ cierre\ 01} = 340x f_t$$

En este tramo hay sólo una válvula.

$$K_{valv\ cierre\ 01} = 7,14$$

- Válvula de retención:

$$K_{valv\ reten\ 01} = 200x f_t$$

En este tramo hay solo una válvula.

$$K_{valv\ reten\ 01} = 4,2$$

Sustituyendo valores en la ecuación 2.5, se obtiene las pérdidas por accesorios:

$$h_{L01} = (3,78 + 2,52 + 7,14 + 4,2) \times \frac{1,524^2}{2 \times 9,8}$$

$$h_{L01} = 2,09 \text{ m. c. f}$$

Sustituyendo los valores de pérdidas por tuberías que son 12,13 m.c.f y las pérdidas por accesorios son 2,09 m.c.f, se obtiene las pérdidas totales del tramo 01, mediante la ecuación 2.6:

$$h_{total\ 01} = 14,22 \text{ m. c. f}$$

En la tabla 4.8, se muestran los valores de las variables y las pérdidas que se generan en los distintos tramos de tubería del sistema.

Tabla 4.8 Valores de las variables y pérdidas en cada tramo.

Tramo	Diámetro (m)	Reynolds (Re)	Factor de fricción	hf (m.c.f)	h _L (m.c.f)	h _{total} (m.c.f)
01	0,0381	1.781,42	0,0359	12,13	2,09	14,22
12	0,0381	1.363,53	0,0469	4,033	0,1749	4,208
13	0,0127	128,58	0,4977	8,75	0,0075	8,75
0S	0,0381	1.781,42	0,0359	0,12	0,99	1,2

A continuación se va a calcular las disponibilidades requeridas:

- Disponibilidad en el punto 0:

Se refiere al tanque principal de soda cáustica, el cual está abierto a la atmósfera, sustituyendo valores en la ecuación 2.7, se obtiene:

$$H_0 = \frac{101.300}{15.033,2} + 3 \text{ m}$$

Los 3 m, es la máxima altura del fluido en el tanque principal de soda cáustica que garantiza un flujo máximo.

$$H_0 = 9,74 \text{ m. c. f}$$

- Disponibilidad en el punto 3:

Se refiere al tanque de dilución de soda cáustica, el cual está abierto a la atmósfera, sustituyendo valores en la ecuación 2.7, se obtiene:

$$H_3 = \frac{101.300}{15.033,2} + 1$$

$$H_3 = 7,74 \text{ m. c. f}$$

- Disponibilidad en el punto 2:

Se refiere al tanque de suministro de soda cáustica, el cual está abierto a la atmósfera, sustituyendo valores en la ecuación 2.7, se obtiene:

$$H_2 = \frac{101.300}{15.033,2} + 1,70$$

$$H_2 = 8,44 \text{ m.c.f}$$

- Disponibilidad en el punto 1:

A continuación se va a calcular la disponibilidad en un mismo punto (nodo), y se realiza mediante la ecuación 4.12.

$$Hb_{(a-b)} = H_a + hf_{ab} + hl_{ab} \quad (4.12)$$

Donde:

$Hb_{(a-b)}$ = Disponibilidad del fluido en el punto b para que el fluido pase de a hacia b (m.c.f).

H_a : Disponibilidad en el punto a (m.c.f).

hf_{ab} : Pérdidas por fricción en el tramo ab (m.c.f).

hl_{ab} : Pérdidas por accesorios en el tramo ab (m.c.f).

Sustituyendo valores de disponibilidad y los de pérdidas (ver tabla 4.8), en la ecuación 4.12, se obtienen los siguientes resultados:

Tramo 13

$$H1_{(1-3)} = H3 + hf_{13} + hl_{13}$$

$$H1_{(1-3)} = 11,95 \text{ m.c.f}$$

Tramo 12

$$H1_{(1-2)} = H2 + hf_{12} + hl_{12}$$

$$H1_{(1-2)} = 20,41 \text{ m.c.f}$$

En el punto 1, se realiza un balanceo del sistema, debido a que cuando se calcula la disponibilidad por distintos caminos, arroja valores de disponibilidades diferentes y por ende se deben compensar las pérdidas en alguno de los tramos, agregando algún accesorio que genere pérdidas.

Balance en el punto 1:

Una vez obtenida las dos disponibilidades en el punto 1, se realiza un balanceo en el sistema, y se toma como referencia el de mayor disponibilidad (tramo 12), y la resta de disponibilidades generadas por cada camino, da como resultado, que se debe colocar una válvula en el tramo 13, para compensar las pérdidas y regular el caudal de soda cáustica a una concentración del 50%.

Las pérdidas que debe generar la válvula son:

$$hf_{V_{1-3}} = 8,46 \text{ m.c.f}$$

Con las disponibilidades obtenidas en cada punto del sistema y las pérdidas de cada tramo, se va a conseguir el punto de trabajo requerido por el sistema para luego seleccionar el equipo de bombeo que satisfaga tal punto de trabajo.

Para el cálculo del Hmr se hará mediante la ecuación 4.13, la cual se muestra a continuación:

$$Hmr = H1 - H0 + ht_{01} \quad (4.13)$$

Donde:

Hmr : Altura de trabajo requerido (m.c.f).

H1 : Disponibilidad en el punto 1 (m.c.f).

H0 : Disponibilidad en el punto 0 (m.c.f).

ht_{01} : Pérdidas totales del tramo 01 (m.c.f).

Se hace un balance de energía, desde el punto 1 hasta el punto 0 y sustituyendo los valores en la ecuación 4.13, se obtiene:

$$Hmr = H1 - H0 + ht_{01} \quad (4.13)$$

$$Hmr = 24,89 \text{ m.c.f}$$

Con el resultado obtenido el punto de trabajo de la bomba es:

$$Q = 4,93 \text{ m}^3/\text{h} \quad (21, 71 \text{ gpm})$$

$$H_{mr} = 24,89 \text{ m.c.f} \quad (81,66 \text{ ft})$$

Obtenido el punto de trabajo del sistema, a continuación se va a seleccionar la bomba mediante un catálogo

En la figura 4.15 se muestra la familia de curvas para la selección de la bomba.

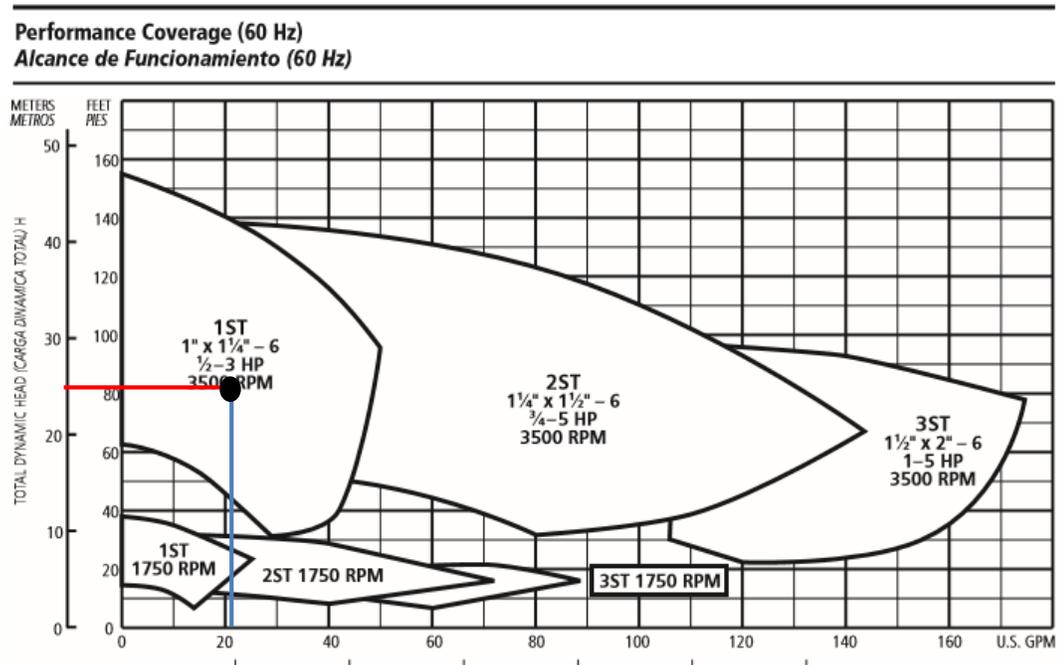


Figura 4.15. Curva de familia para la selección de la bomba.

Ya graficado el punto de trabajo en la curva de familia, fue selecciona la bomba con las siguientes características, mostrada en la figura 4.14:

Bomba centrífuga de succión final serie NPE:

Marca: Goulds Pumps.

Modelo: NPE/ 1ST Tamaño 1* 1 ¼ -6.

Caudal: 11.356,46 l/h.

Presión max: 9 bar

Disponibilidad max: 50 m.c.f.

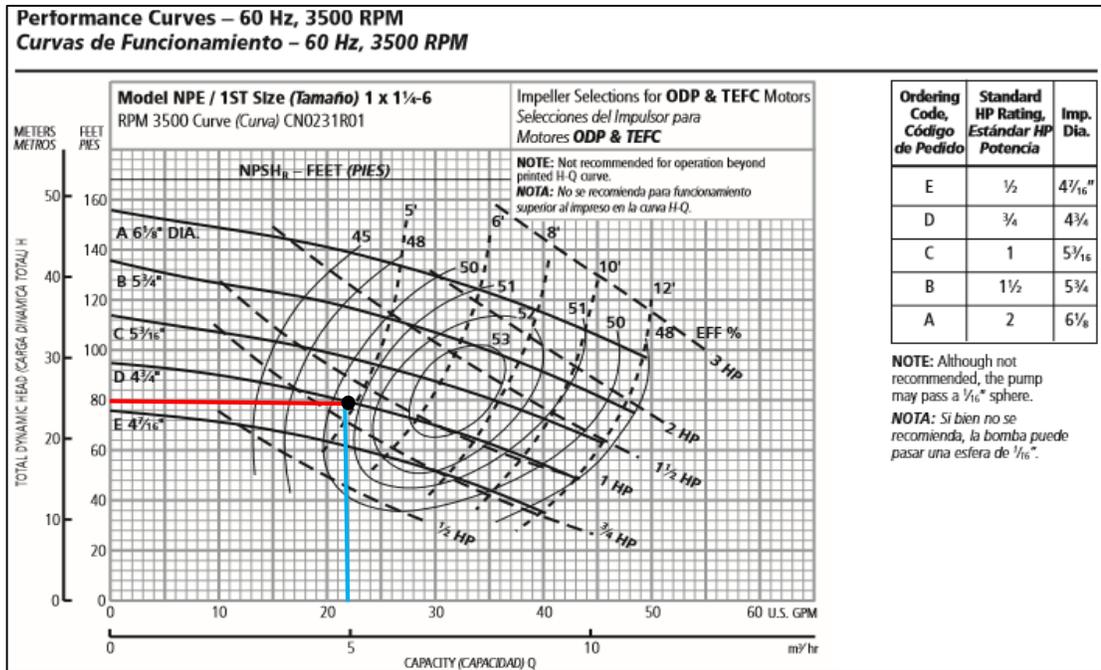


Figura 4.16. H vs Q de la bomba seleccionada

Este punto es aceptable, tomando en cuenta que la eficiencia está cercana a la máxima, aunque el caudal de trabajo está algo por debajo del máximo y podría existir tendencia a recircular; pero se debe acotar que el fluido con que se está trabajando es soda cáustica, lo que requiere una bomba especial y no son comunes para manejar un caudal pequeño como el del sistema en cuestión.

Figura 4.17. Bomba de trasiego seleccionada.



- **Verificación de la cavitación de la bomba.**

Se debe verificar mediante lo descrito en el CAPITULO 2 en la sección 2.2.18. En este caso se realiza a la condición de máxima altura del fluido en el tanque, lo que garantiza mayor flujo y por ende máxima pérdida en la succión.

Sustituyendo valores en la ecuación 2.14, se obtiene:

$$\text{NPSHD} = \frac{101.325 - 839.931}{15033,2} + 3 - 1,2$$

$$\text{NPSHD} = \mathbf{8,48 \text{ m}}$$

Ya conocido el NPSHD se va a la curva de la bomba del fabricante, con los datos de caudal, rpm, entre otros y se obtiene el NPSHreq presentado a continuación:

$$\text{Se compara } 8,48 \geq 1,46$$

Como el $\text{NPSHD} \geq \text{NPSHreq}$ la bomba no cavita.

4.4 Diseño del sistema de control y protección.

Un sistema de control y protección es un esquema que muestra los componentes, su relación mutua y la secuencia de cómo deben estar conectados, de manera que se puedan seguir las distintas ramas y analizar la forma en que funciona. En forma general, en este trabajo se controlará el suministro de soda cáustica al 50% hasta el tanque 1 y hasta la dilución de soda al 10 % que se utiliza para limpiar la malla y el fieltro de la máquina. En ambos diseños se apagan y se encienden las bombas que suministrarán los fluidos involucrados, y se dispondrán de dispositivos adicionales para evitar derrames de soda cáustica y garantizar la integridad de los operadores de los sistemas.

Con respecto al tanque de dilución, la empresa cuenta con la tubería de agua y una bomba centrífuga, que es la encargada de enviar el agua para la mezcla, es decir, sólo se controlará la cantidad de agua necesaria en ese tramo de tubería para obtener el valor exacto de soda cáustica al 10%.

4.4.1 Funcionamiento del sistema de control del diseño.

En el diseño están comprendidos tres tanques, para empezar el proceso, el operador presiona un pulsador de arranque, para dar inicio al funcionamiento a la bomba de trasiego (B1), que envía soda cáustica a una concentración del 50% al tanque de dilución y a su vez al tanque se suministró. Con respecto al tanque de dilución un

sensor de nivel de reserva (S3) envía una señal a un PLC para aperturar una válvula, de tal manera obtener la cantidad adecuada necesaria para la mezcla.

A medida que se eleva el nivel de soda en el tanque de dilución, hasta llegar al sensor de nivel de soda (S2), este sensor envía una señal al PLC, para que cierre la válvula de soda al 50% (V1) y luego active la bomba centrífuga (B2) y la válvula de agua (V2) que controlan la entrada de agua, se eleva a nivel de la mezcla diluyéndola al 10% , hasta que el sensor de nivel de agua (S1) detecta que la mezcla está lista, y a su vez el mismo sensor dirige una señal al PLC, para cerrar la válvula de agua (V2) y apaga la bomba centrífuga.

Cabe destacar que a medida que baje el nivel de la mezcla en el tanque de dilución, el sensor de nivel de soda (S2) quedará bloqueado a nivel de programación y se repetirá el ciclo único y exclusivamente cuando se active el sensor de nivel de la reserva (S3) del tanque.

El tanque de suministro tendrá dos sensores, el primer sensor (S4) controla el nivel de reserva del tanque de suministro, y a su vez envía una señal al PLC para que encienda la luz de advertencia de bajo nivel. El segundo sensor (S5) controla el nivel máximo del tanque de suministro, que en conjunto con el sensor de nivel de agua (S1) del tanque de dilución controla el encendido y apagado de la bomba de trasiego (B1).

En caso de falla, el operador puede presionar el pulsador de parada, mandando una señal que detiene por completo el proceso.

Si la bomba de trasiego principal falla, el operador moverá un selector para iniciar el proceso con la bomba de respaldo, ya que estas bombas pueden sufrir sobre cargas, por algún desperfecto que se presente en el interruptor magnético (Breaker) que

tiene la función de desconectar el circuito de alimentación al elevarse la corriente de funcionamiento normal de la bomba.

En la figura 4.16 se muestra el flujograma del sistema de control del diseño.

4.4.2 Circuito de fuerzas.

Comprende el funcionamiento y protección de los equipos, tal como se expresa en el apéndice 1, entre ellos, está un breaker principal de protección trifásico, contadores individuales para cada motor con su respectivo térmico de protección. Funcionan selectivamente, dependiendo de los tiempos de disparos de cada uno. A continuación se especifican todos los componentes, mediante la tabla 4.9.

Tabla 4.9 Componentes del circuito de fuerzas

Accesorios	Función	Datos técnicos	Cantidad
Breaker trifásico	Cortar o dar paso a la corriente	3x20 A, 15 kA, Westinghouse	1
Contactores trifásico	Establecer o interrumpir el paso de corriente.	3x20 A, 10 kA, Westinghouse	1
Térmico Protección trifásica	Corta sobre corrientes	3x20 A, 10 kA, Westinghouse	1

4.4.3 Circuito de control.

Comprende las entradas y las salidas de un PLC tal como se observa en el apéndice 2 y 3, controlando a su vez las diferentes señales para poner en funcionamiento los distintos dispositivos que conforman el proyecto, los cuales se presentan en las tablas 4.10 y 4.11.

Tabla 4.10 Entradas digitales del PLC.

Tipo de entrada	Función	Datos técnicos	Cantidad
Pulsador de parada	Apagado	Marca: RECHNER. Voltaje: 110 V.	01
Pulsador de emergencia	Parada	Marca: RECHNER. Voltaje: 110 V.	01
Pulsador de arranque	Encendido	Marca: RECHNER. Voltaje: 110 V.	01
Sensor nivel de agua (S1)	Detecta la cantidad de agua necesaria para la mezcla en el tanque de dilución.	Marca: RECHNER. Voltaje: 110 V.	01

Sensor nivel soda del tanque de dilución (S2)	Detecta la cantidad de soda a una concentración del 50% necesario para la mezcla en el tanque de dilución.	Marca: RECHNER. Voltaje: 110 V.	01
Sensor nivel Reserva dilución (S3)	Detecta la cantidad en la reserva que se debe mantener en el tanque de dilución.	Marca: RECHNER. Voltaje: 110 V.	01
Sensor nivel reserva suministro (S4)	Detecta la cantidad en la reserva que se debe mantener en el tanque de suministro.	Marca: RECHNER. Voltaje: 110 V.	01
Sensor de nivel de soda del tanque de suministro (S5)	Detecta que el tanque de suministro esté completamente lleno.	Marca: RECHNER. Voltaje: 110 V.	01

FLUJOGRAMA DE SUMINISTRO Y DILUCIÓN DE SODA CÁUSTICA EN EL PROCESO DE LA PRODUCCIÓN DE PAPEL EN UNA EMPRESA PAPELERA.

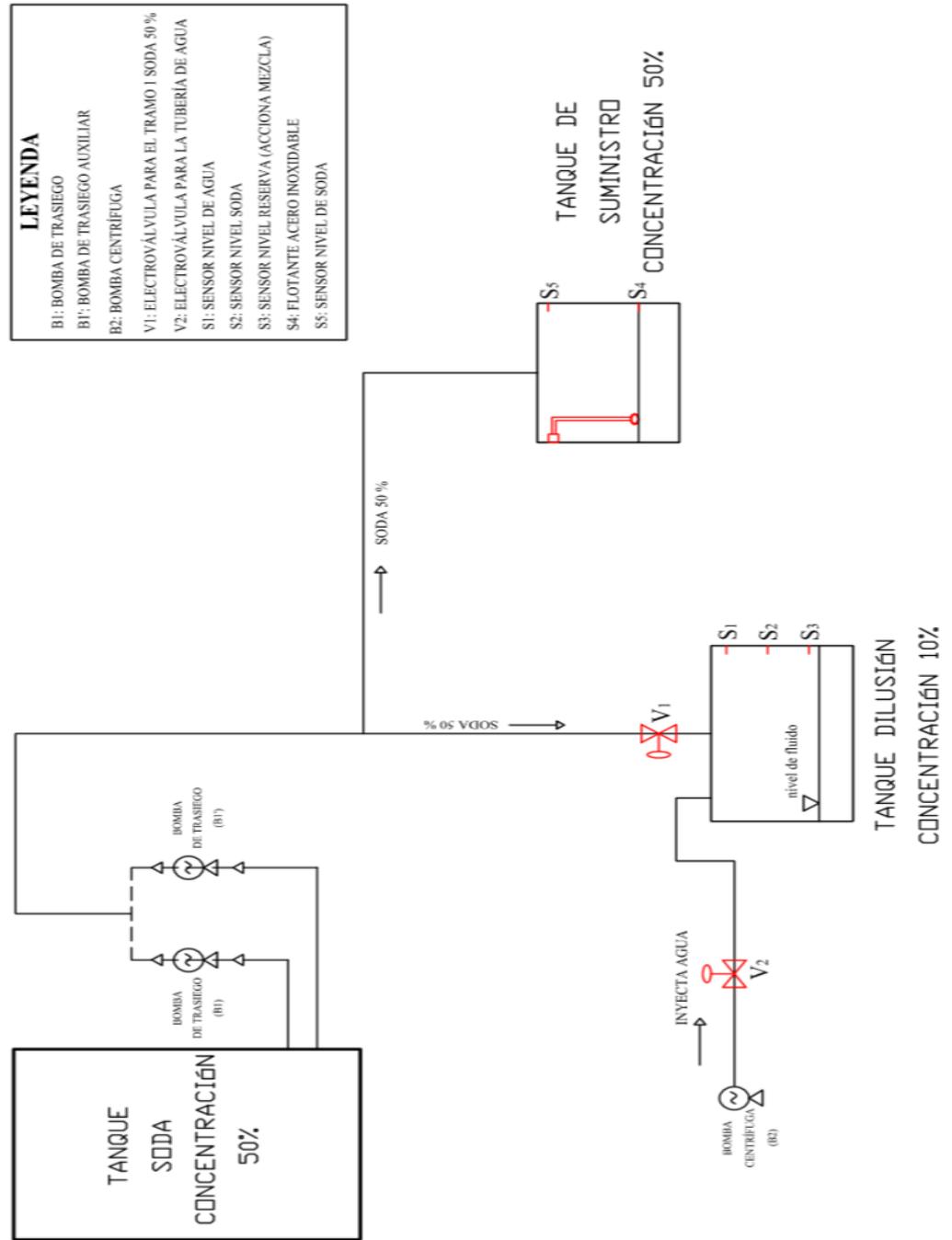


Figura 4.18. Flujoograma del sistema de control.

Tabla 4.11 Salidas digitales del PLC.

Tipo de salidas	Función	Datos técnicos	Cantidad
Relé para la bomba de trasegado (K1)	Controlar el encendido y apagado de la bomba de trasiego y a su vez protege la salida del PLC.	Voltaje: 120 V. Corriente alterna. Amperios : 1 A.	01
Bomba de trasegado (B1)	Trasiega soda al 50% hacia el tanque de suministro y tanque de dilución.	Marca: .Goulds Pumps Potencia: 1,5 HP. Amperios: 15,6 A Voltaje: 230/460 V. Conexión: trifásica. Presión: 9 bar Caudal : 11.356,46 l/h	01
Relé para la bomba centrífuga (K2)	Controlar el encendido y apagado de la bomba centrífuga y a su vez protege la salida del PLC.	Voltaje: 120 V. Corriente alterna. Amperios : 1 A.	01
Tipo de salidas	Función	Datos técnicos	Cantidad
Bomba centrífuga (B2)	Extraer el agua y llevarla hacia el tanque de dilución para la mezcla.	Marca : bombagua Potencia: 350 W. Amperios: 3 A. Voltaje: 230/440 V. Conexión: trifásica. Presión: 9 bar. Caudal: $6,66 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$	01
Relé para la válvula soda al 50% (K3)	Controla el paso de corriente para abrir y cerrar la válvula.	Voltaje: 120 V. Corriente alterna. Amperios : 1 A	01

Válvula soda al 50% (V1)	Abrir y cerrar el paso de la soda cáustica a una concentración del 50%.	Marca: Festo. Dimensión : 0.0254 m Solenoides : 120 V. Amperios : 1 A.	01
Relé para la válvula agua (K4)	Controla el paso de corriente para abrir y cerrar la válvula.	Voltaje: 120 V. Corriente alterna. Amperios : 1 A	01
válvula agua (V2)	Abrir y cerrar el paso de agua para la mezcla.	Marca: Festo. Dimensión : 1 pulg Solenoides : 120 V, 1 A	01
Luz indicadora	Luz de advertencia que indica que el nivel está bajo.	Voltaje: 120 V. Corriente alterna.	01

PLC seleccionado.

Para el PLC se seleccionó un MICROLOGIX 1200, marca Allen Bradley, de procesador 5561 ideal y muy versátil para mejoras y/o adiciones futuras. Al igual que un Panel View 1000, el cual será la interfaz entre el hombre-máquina, ya que será el tablero donde el operador podrá controlar el proceso en forma manual o automática. Las plataformas LOGIX de Allen-Bradley proporcionan una única arquitectura de control integrada por el control discreto de procesos, movimientos y variadores.

Dichas plataformas proporcionan una máquina de control, un entorno de software de programación y compatibilidad para comunicaciones comunes a través de varias plataformas de hardware. Todos los controladores LOGIX funcionan con un sistema operativo multitarea y multiprocesamiento y aceptan el mismo conjunto de instrucciones en varios lenguajes de programación.

CONTROLLOGIX, proporciona una amplia gama de módulos E/S, que abarcan muchas aplicaciones de E/S discretas hasta el control de procesos. La arquitectura de CONTROLLOGIX está basada en una tecnología de productor-consumidor, la cual permite que la información de entrada y el estado de salida se compartan entre varios controladores CONTROLLOGIX, como se muestra en la figura 4.17:



Figura. 4.19 MICROLOGIX 1200. Schneider Electric, 2009.

El módulo de entrada seleccionado del PLC, tiene las siguientes características de operación:

- Número de entradas: 9
- Voltaje de entrada de estado activo nominal: 12 a 24 Vdc.
- Voltaje de operación: 10 a 31,2 Vdc.

- Corriente de estado activo min: 5 mA.
- Retardo de tiempo de entrada: $\pm 200 \mu\text{s}$.
- Corriente de estado activo máxima: 16 mA.
- Disposición de energía máxima: 5,8 W a 60 °C

4.5 Estimación de costos de implementación.

La descripción de los costos de los componentes del sistema diseñado fueron suministrados por las empresas Suplidora Segovia C.A. y JB Ingeniería C.A. Estos costos se describen a continuación mediante la tabla 4.12:

Tabla 4.12 Estimación de costos de los componentes del sistema de suministro y dilución.

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Total
Tubería de acero inoxidable 1"	156,1 m	5.000 Bs/6m	780.500 Bs
Tubería de acero inoxidable 1"	36,70 m	4500 Bs/6m	165.150 Bs
Bomba centrífuga trasiego	2	160.000Bs	320.000Bs
Codos tipo socketweld para soldar de acero inoxidable a 90° 1"	10	600 Bs	6.000 Bs
Codos tipo socketweld para soldar de acero inoxidable a 90° 1/2"	1	350 Bs	350 Bs
T tipo socketweld para soldar de acero inoxidable 1"	3	600 Bs	1.800 Bs
Unión tipo socketweld para soldar de acero inoxidable 1"	24	600 Bs	14.400 Bs
Unión tipo socketweld para soldar de acero inoxidable 1/2"	6	450 Bs	2700 Bs
Electroválvula Festo acero inoxidable 1"	1	2.000 Bs	2.000 Bs
Electroválvula Festo acero inoxidable 1/2"	1	1500 Bs	1500 Bs
PLC	1	45.000 Bs	45.000 Bs
Relé 1A	5	130 Bs	650 Bs
Contactador 3x20A	3	1.000 Bs	3.000 Bs
Sensor capacitivo	5	3.000 Bs	15.000 Bs
Flotante genebre de acero inoxidable 1"	1	9.000 Bs	9.000 Bs
Resistencias térmicas	6	5 Bs	30 Bs
Válvula de retención 1"	2	4.434 Bs	8.868 Bs
Válvula de cierre rápido 1"	4	800 Bs	3.200 Bs
TOTAL			1.339.148 Bs

Para realizar la propuesta, el costo por instalación es de 200.000 Bs por la empresa JB Ingeniería C.A.

El costo total entre los componentes del sistema de suministro y dilución de la soda cáustica más el costo por instalación viene expresado por la ecuación 4.15:

$$\text{Costo total} = \text{Costo de los componentes} + \text{costo por instalación} \quad (4.15)$$

Sustituyendo valores en la ecuación 4.15, se obtiene:

$$\text{Costo total} = 1.339.148\text{Bs} + 200.000\text{Bs} = 1.539.148 \text{ Bs.}$$

CONCLUSIONES

Las variables de operación utilizadas en el diseño fueron caudales de reposición para el consumo diario de soda cáustica, tiempos de consumo y los volúmenes de trabajo.

El dimensionamiento normalizado del dique realizado evita el derrame de soda cáustica.

La alternativa de solución seleccionada cumple con los criterios de confiabilidad de funcionamiento, tiempo de ejecución, exigencias de la empresa, durabilidad y seguridad en la operación del sistema de suministro y dilución de soda cáustica para la producción de papel.

Con el sistema de control y protección diseñado se garantiza el funcionamiento del proceso, se evita derrame de soda cáustica y se protege a los operarios y equipos.

Los costos de la implementación del sistema de suministro y dilución diseñado, para la fecha de presentación de este trabajo de grado ascienden a 1.539.148 Bs.

RECOMENDACIONES

En el presente trabajo de grado se otorga un preámbulo importante para la realización de temas futuros de investigación o temas relacionados con el diseño de suministro y dilución de la soda cáustica. Para ello se encomienda estudiar y analizar bajo las siguientes recomendaciones:

Adiestrar al personal con charlas o talleres para la mejor manipulación de la soda cáustica.

Realizar un estudio de la durabilidad de la tubería con respecto al envejecimiento, ya que aumenta de manera significativa con un químico altamente corrosivo.

A través de la incorporación de la automatización del sistema de suministro y dilución de la soda cáustica, la empresa contará con una herramienta que le servirá de guía en el mejoramiento de sistemas similares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- André, Simón (1992). *Electricidad Industrial Aplicada*. Editorial Paraninfo, Segunda Edición. Madrid, España.
- Arias, F. (2007). *El Proyecto de investigación. Guía para su elaboración*. Caracas. Editorial Episteme.
- Ballestrini, M. (2001). *Metodología de la Investigación*. México. Editorial Trillas
- Cengel, Y (2006). *Mecánica de fluidos , fundamentos y aplicaciones*. Editorial Mc Graw Hill.
- CISTEMA – ARL SURA, (2014). Centro de información de sustancias, emergencias y medio ambiente.
- Creus A. (1998), *Manual de Instrumentación Industrial*. 5ta. Edición, Caracas. Alfa-omega
- Compendio de cartas CRANE (2000).
- Dorf. Svoboda (2004). *Circuitos Eléctricos*. Barcelona. Editorial Alfaomega.
- Enciclopedia Encarta (2008).
- Giles (1969). *Mecánica de Fluidos*. 2da. Edición México.
- Irvin H. Shames (1958). *Mecánica de los Fluidos*. Interamericana S.A. Edición Colombia.
- Kuo, Benjamín C. (1996). *Sistemas de Control Automático*. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. México.
- Manual de Trabajos de Grado, Especialización y Maestrías y Tesis Doctorales de La Universidad Pedagógica Experimental Libertador, (2008).

Manual The Chemical Dow. (2008). EEUU.

Merle C. Potter y David C. (1988). *Mecánica de Fluidos*. 2da. Edición México.

M Y CE (2009). Manual y catálogo del electricista. Schneider Electric.

Ponce (2006). Guía para el dimensionamiento de un dique “Proposed Standard For Spill Containment”.

Potter, M (1998). *Mecánica de fluidos*. Editorial Pearson. Segunda edición

Sabino (2007). *El proceso de investigación*. Caracas: Editorial Panapo

APÉNDICES

APÉNDICE "1"
CIRCUITO DE FUERZAS.

APÉNDICE "2"
CIRCUITO DE CONTROL. PARTE 1.

APÉNDICE "3"
CIRCUITO DE CONTROL. PARTE 2.

APÉNDICE "4"

ANEXOS

ANEXO “1”

**NORMA SISTEMA- ARL SURA (CENTRO DE INFORMACIÓN
DE SUSTANCIAS QUÍMICAS, EMERGENCIAS Y MEDIO
AMBIENTE).**

ANEXO “2”

**NORMA VENEZOLANA. CODIFICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN
DE TUBERÍAS QUE CONDUZCAN FLUIDOS.**

ANEXO “3”

**PLANO ISOMÉTRICO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO Y DILUCIÓN DE
SODA CÁUSTICA EN LA EMPRESA KIMBERLY CLARK VENEZUELA.**

ANEXO “4”

**FACTOR DE FRICCIÓN PARA UN FLUJO EN LA ZONA DE TOTAL
TURBULENCIA. COMPENDIO DE CARTAS CRANE.**

ANEXO “5”

**COEFICIENTE DE RESISTENCIA PARA CODOS DE 90°. COMPENDIO DE
CARTAS CRANE.**

ANEXO “6”

**COEFICIENTE DE RESISTENCIA PARA TEE. COMPENDIO DE CARTAS
CRANE.**

ANEXO “7”

**COEFICIENTE DE RESISTENCIA PARA VÁLVULAS. COMPENDIO DE
CARTAS CRANE.**